ВНИТО СИЛИКАТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

БИБЛИОТЕКА СТЕКЛОТЕХНИКА

Под общей редакцией
проф. Б. С. Швецова, инж. М. З. Воловика,
инж. Н. Н. Добровольского

ТОМ VII

1936

Государственное издательство
ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Москва — Ленинград

ВНИТО СИЛИКАТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Д. Б. ГИНЗБУРГ Доцент МХТИ им. Менделеева и МИХМ

9 239/86

ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

ЧАСТЬ I

Под редакцией
проф. Б. С. ШВЕЦОВА

1936

Государственное издательство
ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Москва—Ленинград

Государственная
БИБЛИОТЕКА
СССР
им. В. И. Ленина
11560-36

2011036233

Редактор А. А. Сержпинская. Оформление И. А. Стрелец
Переплет худ. В. И. Смирнова

...жебн.
№

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

От редактора XI
От автора XIII

Введение . . . . . **1—6**

1. Преимущества и применение генераторного газа 1
2. Виды и классификация применяемых в промышленности газов. 2
3. Применение генераторного газа в комбинации с другими видами газов

. 61

Общие соображения (61). Расчет количества разлагаемого пара и состава газа (63).

8. Регенерирование газов 64

Общие соображения (64). Расчет количества разлагаемой углекислоты (65).

Замеченные опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
4	табл., графа 4, стр. 1 сверху	7,93	16,18
4	табл., графа 3, стр. 3 сверху	0,78	50,78
25	заголовок таблицы	значения $=\lg K \frac{p^2_{CO}}{p_{CO_2}}$	значения $\lg K = \lg \frac{p^2_{CO}}{p_{CO_2}}$
73	Заголовок таблицы	$\lg K_p = \lg \frac{p_{CH_4}}{p_{H_2}}$	$\lg K_p = \lg \frac{p_{CH_4}}{p^2_{H_2}}$
230	3 сверху	содержание колебалось	содержание CH_4 колебалось
312	14 снизу	водяного пара	водяного газа (30°)
384	14 „	°C [9]	°C [109]

Государственная
БИБЛИОТЕКА
СССР
им. В. И. Ленина
11560-36

2011036233

Редактор А. А. Сержпинская. Оформление И. А. Стрелецкого
Переплет худ. В. И. Смирнова

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

От редактора XI
От автора XIII

Введение . . . . . **1—6**

1. Преимущества и применение генераторного газа 1
2. Виды и классификация применяемых в промышленности газов. 2
3. Применение генераторного газа в комбинации с другими видами газов 6

Глава первая

Получение генераторного газа и процессы, протекающие в генераторах 7—81

1. Сущность генераторного процесса 7
2. Зона подсушки и сухой перегонки 10
3. Реакционная зона 13
4. Получение воздушного газа . . . . . —

Реакция $C + O_2 \rightleftarrows CO_2$ (19). Реакция $CO_2 + C \rightleftarrows 2CO$ (21). Реакция $2C + O_2 \rightleftarrows 2CO$ (27). Реакция $2CO + O_2 \rightleftarrows 2CO_2$ (28). Исследования процесса получения воздушного газа (28). Соображения о ходе и ведении процесса получения воздушного газа (33). Расчеты к процессу получения воздушного газа (34).

5. Получение водяного газа 36

Реакция $H_2O + C \rightleftarrows CO + H_2$ (38). Реакция $2H_2O + C \rightleftarrows CO_2 + 2H_2$ (38). Реакция $CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$ (38). Реакция $2H_2 + O_2 \rightleftarrows 2H_2O$ (40). Состав водяного газа и соображения о ведении и ходе процесса получения водяного газа (40). Расчеты к процессу получения водяного газа (46).

6. Получение смешанного газа 51

Исследования процесса получения смешанного газа (52). Расчет количества разлагаемого пара и состава газа (57). Соображения о ходе и ведении процесса получения смешанного газа (58).

7. Газификация с помощью кислорода 61

Общие соображения (61). Расчет количества разлагаемого пара и состава газа (63).

8. Регенерирование газов 64

Общие соображения (64). Расчет количества разлагаемой углекислоты (65).

Стр.

9. Теоретические расчеты состава газа 67
10. Газификация под давлением 71
11. Процессы, протекающие в верхней части генератора и в газопроводах 74
12. Графическое представление процессов газификации 75

Глава вторая

Устройство и классификация генераторов . . . . . 82—230

1. Генераторы с естественной тягой и искусственным подводом дутья 82
2. Значение материала, формы и расположения генераторов . . . 84
3. Генераторы с разложением смол . . . . . —
4. Генераторы с использованием смол 89
5. Генераторы для получения водяного газа 94

Свойства и получение водяного газа (94). Высота слоя топлива (96). Продолжительность циклов и отдельных стадий и последовательность последних (96). Загрузка топлива и удаление золы (99). Данные о работе генераторов водяного газа и использовании тепла топлив в них (102). Получение водяного газа из топлив с высоким содержанием летучих (104). Получение водяного карбюрированного газа (106). Данные о работе установок для получения водяного карбюрированного газа и использовании тепла в них (109). Получение карбюрированного водяного газа из топлив с высоким содержанием летучих (110). Непрерывное получение водяного газа (111).

6. Генераторы для получения двойного водяного газа и на кислородном дутье 114

Принцип устройства (114). Данные о работе установок двойного газа и использовании тепла в них (116). Генераторы тройного газа (119). Получение карбюрированного газа (121), Подвод дополнительного тепла в швельшахту (125). Особые конструкции установок двойного газа (128). Использование тепла в установках двойного газа (128). Способы повышения теплотворной способности двойного водяного газа (129). Непрерывное получение двойного водяного газа (130). Кислородное дутье (132). Газогенераторы, работающие под высоким давлением (134).

7. Генераторы с выпуском жидких шлаков 137

Принципы работы (137). Состав и свойства шлака (138). Процессы в горне (139). Применение подогретого дутья (140). Использование металла и шлака (140). Генераторы Эбельмана (141). Генераторы SFH (141). Генератор Вюрта (142). Опыты Смита (145). Генераторы з-да «Georgs-Marienhütte»(145). Генераторы Пинча (146). Генераторы, работающие на подогретом дутье (147). Генератор Ремана (150). Генератор фирмы «Kohle und Erz» (150). Генератор фирмы «Koppers» (151). Применение генераторов с выпуском жидких шлаков при получении цветных металлов (151). Опыты комбинирования процессов газификации и доменного в СССР (153). Опыты в СССР по плавке чугуна на торфе с дутьем, обогащенным кислородом (155). Грануляция шлака (157). Область применения и преимущества генераторов с выпуском жидких шлаков (158).

Стр.

8. Классификация генераторов в зависимости от устройства колосниковой решетки и пода 159

Генераторы с газификацией на поду (159). Генераторы с неподвижной решеткой (160). Генераторы с вращающимися решетками (169). Генераторы высокой производительности (178).

9. Устройство шахты генератора 184

Основание, стены и своды (184). Огнеупорный материал (187). Устройство кожуха и крышки (188). Устройство железобетонного кожуха (190). Охлаждение стен и сводов шахт (191). Затворы шахты (192).

10. Загрузочные приспособления 193

Назначение (193). Коробки с одним клапаном (193). Коробки с двумя клапанами (194). Значение загрузочного конуса (197). Автоматические непрерывные питатели (198). Питатели для генераторов водяного газа (201). Предупреждение пропуска газа загрузочными приспособлениями (205). Поддержание постоянного уровня слоя топлива и предупреждение уноса пыли при питании (206).

11. Затворы смотровых и шуровочных отверстий 207
12. Механические шуровочные приспособления 209

Устройство и преимущества (209). Шуровочный лом Вельмана (210). Мешалка Чапмана (211).

13. Генераторы для пылевидного и мелкозернистого топлива . . 214

Преимущества применения мелкозернистого топлива и пыли (214). Применение мелкого топлива в обычных конструкциях генераторов (214). Специальные конструкции генераторов для пыли или мелкого топлива (216). Генератор Геллера (217). Газогенератор Винклера (219).

14. Подземная газификация угля 225

Сущность и преимущества (225). Способы подземной газификации (225). Данные о проведенных опытах (228).

Глава третья

Подача газа . . . . . 231—272

1. Газопроводы и транспорт газа 231

Кирпичные газопроводы (232). Металлические газопроводы (233). Очистка газопроводов (236). Скорости в газопроводах низкого давления (238). Компенсаторы (238). Расположение газопроводов (239). Подача газа на большое расстояние и при разветвленной сети (240). Газодувки и компрессоры (248).

2. Клапаны и затворы 249

Классификация клапанов (249). Обычные конструкции клапанов для включения и регулирования количества газа (250). Клапаны высокого давления (258). Предохранительные клапаны (258). Клапаны для чистки (260). Клапаны и трубы для пуска, продувки и выжига газа (261). Клапаны установок водяного газа (262). Управление работой клапанов в установках водяного газа (265). Дистанционное управление клапанами (270).

Глава четвертая

Стр.

Подача воздуха и пара в генераторы . . . . . 273—312

1. Подача воздуха 273

Общие соображения (273). Инжекторы (274). Центробежные вентиляторы (279). Ротационные вентиляторы и компрессоры (281). Привод вентиляторов (284). Распределение давлений в воздухопроводе (285). Конструкция и оборудование воздухопроводов (287).

2. Подогрев воздуха 289

Конструкция воздухоподогревателей (289). Расчет воздухоподогревателей (290).

3. Получение и подача пара для газификации 292

Общие соображения о получении и потреблении пара (292). Котлы-утилизаторы в установках смешанного газа (295). Котлы-утилизаторы в установках водяного газа (297). Перегрев пара и подогрев питательной воды в установках водяного газа (299). Охлаждающие кожухи генераторов (300). Получение пара за счет охлаждения верхней части генератора (304). Регенеративные испарители (305). Использование тепла охлаждающей воды (306). Испарители Бендера и Фрембса (309). Получение пара за счет тепла отходящих газов тепловых установок (310). Оборудование парового хозяйства (310).

Глава пятая

Свойства топлива для газогенераторов . . . . . 313—355

1. Топливо, его состав и свойства 313

Классификация топлив (313). Состав топлива (316). Минеральная часть топлива (318). Сера угля (319). Азот угля (321). Сухая перегонка топлива (322). Спекание угля (324). Состав и свойства продуктов полукоксования (326). Состав и свойства продуктов коксования (327). Реакционная способность кокса и полукокса (327). Тепловой эффект процесса разложения (330). Окисление и самовозгорание угля (331).

2. Применимость различных топлив для газификации 332

Размер кусков топлива (332). Влажность топлива (335). Зольность топлива (336). Свойства топлива при нагревании (340).

3. Теплотворная способность топлива 351
4. Обозначения и пересчеты 353

Глава шестая

Очистка и осушка газа . . . . . 356—471

1. Общие соображения 356
2. Сухая очистка газа 358

Случаи применения (358). Схемы установок (358). Пылеуловители (359). Выделение пыли из газа (361). Циклонные пылеуловители (363). Вязкость газа (367).

Стр.

3. Осушка и охлаждение газа 368

Способы осушки (368). Охлаждение газа (368). Поверхностные холодильники (370). Скрубберы (375). Заполнение скрубберов (376). Распределительные приборы для воды (378). Распылители-пульверизаторы (379). Протекание процесса охлаждения газа и расход воды в скруббере (382). Скрубберы с насадкой (384). Скрубберы с пульверизаторами-форсунками (389). Каскадные холодильники (393). Другие конструкции скрубберов (395). Сухие скрубберы (396). Сопротивление скрубберов (396). Практические данные о размерах скрубберов и расходе воды (397).

4. Мокрая очистка бессмольного газа 399

Схемы установки (399). Тонкая очистка (402). Выделение пыли из промывной воды (405).

5. Улавливание смолы 405

Аппараты для отделения смолы механическим путем (408). Электрическая очистка газа (417).

6. Мокрая очистка смолистого газа 427

Температура генераторного газа (427). Выделение из газа взвешенных частиц до и после смолоотделителя (427). Схема установок (428). Двухступенчатая очистка газа (432). Хранение смолы и отделение смолы от воды (433). Очистка сточных вод (436).

7. Выделение из газа уксусной кислоты и фенолов 437

Улавливание уксусной кислоты при сухой перегонке древесины (438). Улавливание уксусной кислоты и фенолов в газогенераторных установках (439). Предупреждение преждевременного выделения уксусной кислоты (446).

8. Улавливание аммиака 447

Установки Монда (447). Данные о работе установок Монда (449).

9. Очистка газа от сероводорода 451

Содержание сернистых соединений в газе (451). Способы очистки газа от сероводорода (452). Сухая очистка газа (452). Мокрая очистка газа (458).

10. Удаление из генераторного газа углекислоты и других газов 468

Указатель литературы 473
Именной указатель 481
Предметный указатель 485

ОТ РЕДАКТОРА

До Октябрьской революции русские газогенераторные установки, применявшиеся исключительно в стекольной и металлургической промышленности, отличались крайней примитивностью. Газогенератор представлял собою простую кирпичную шахту, работавшую на естественной тяге. Продукты сухой перегонки топлива, являющиеся очень ценным химическим сырьем, не улавливались, а частью оседали в каналах, вызывая их загрязнение, частью же сжигались вместе с газом и бесполезно пропадали для народного хозяйства. После прихода советской власти автор этих строк еще в 1918 г. указывал на ненормальность такого положения и предлагал ряд конкретных мероприятий для улучшения газогенераторного хозяйства, но эпоха военного коммунизма не благоприятствовала осуществлению его предложений.

Настоящая революция в нашем газогенераторном деле началась только с реконструкцией стекольной промышленности. В 1926 г. на вновь построенном механизированном стекольном заводе в Константиновке были установлены первые в СССР механические генераторы Вельмана для каменного угля. В 1929 г. на Гусевском стекольном заводе была построена крупная установка AVG для газификации торфа с улавливанием продуктов сухой перегонки. В 1930—1932 гг. на нескольких заводах СССР были проведены удачные опыты по извлечению серы из генераторного газа. В 1932 г. была основана специальная организация по проектированию и постройке газогенераторных станций «Газогенераторстрой».

В настоящее время крупные и вполне механизированные газогенераторные установки широко распространены в нашем народном хозяйстве, обслуживая нужды не только стеклоделия и металлургии, но также машиностроительной, химической и керамической промышленности. Только что закончены удачные опыты по питанию автомобилей генераторным газом из легких дровяных генераторов. Ведутся в крупном масштабе опыты по подземной газификации ископаемых углей. Проектируется перевод на генераторный газ цементных печей. В перспективе намечается широкое использование генераторного газа для нужд коммунального хозяйства. Газогенераторное дело

становится большой и самостоятельной отраслью промышленности, требующей значительного количества опытных специалистов как по проектированию, так и по эксплоатации генераторов.

Между тем литература по газогенераторам очень бедна не только на русском, но и на иностранных языках, а крупные сводные издания в этой области и вовсе отсутствуют. Этот чувствительный пробел весьма своевременно восполняется предлагаемой книгой Д. Б. Гинзбурга, дающей полную и обстоятельную сводку иностранной литературы по газогенераторам и использующей весь опыт советского генераторостроения и эксплоатации газогенераторных установок на наших заводах. Книга Д. Б. Гинзбурга является очень ценным пособием не только для студентов, изучающих газогенераторную специальность, но и для практических работников газогенераторной промышленности.

Проф. **Б. С. Швецов**

Москва
1935 г. 16 октября

ОТ АВТОРА

Реконструкция силикатной промышленности на базе местных топлив и мощных тепловых установок в период с 1924 г. привела к разрешению вопросов применения новых более совершенных и механизированных конструкций газогенераторов и использования местных топлив с утилизацией побочных продуктов.

Пионером в этой области явилась стекольная промышленность, заменившая примитивные генераторы более современными конструкциями и впервые в СССР применившая: на заводе в Гусь-Хрустальном (1929 г.) для торфа—газогенераторы со швельшахтой, улавливание смолы и использование физического тепла газа; на Константиновском заводе (1926 г.) для каменного угля — генераторы с механическими шуровочными и питательными приспособлениями; на заводе «Белый бычок» (1929 г.) для древесины — генераторы большой производительности на щепе и на Курловском заводе (1931 г.) для торфа — генераторы промежуточного типа с крышеобразной решеткой.

Несколько позднее реконструировалась огнеупорная промышленность, разрешившая в СССР в промышленном масштабе вопросы, связанные с газификацией топлив, ранее не применявшихся для этой цели совершенно или не применявшихся в целях получения газа для отопления печных установок: челябинского угля (Сухоложский завод), коксика (Часов-Ярский завод), антрацита (Семилукский завод), причем во всех случаях с очисткой газа и использованием физического тепла газа для получения пара.

В настоящее время на базе генераторного газа из местных видов топлива с использованием побочных продуктов проводится реконструкция и фарфорово-фаянсовой промышленности.

Из других отраслей промышленности, применивших новые и более экономичные конструкции, следует отметить химическую, в 1932—1933 гг. установившую на Березниковском и Сталиногорском комбинатах мощные генераторы для получения водяного и смешанного газа с утилизацией теряющегося тепла в котлах-утилизаторах и автоматическим управлением.

Новые конструкции генераторов и способы газификации топлив, осуществленные в силикатной промышленности, были приняты позднее и другими отраслями промышленности, в частности металлурги-

ческой и машиностроительной, а также были положены в основу проектирования специально созданной в 1932 г. конторой «Газогенераторстрой».

В настоящее время в связи с дефицитом жидкого топлива и необходимостью замены его газом большое внимание привлекают вопросы получения высококалорийного газа; строительство же мощных заводов и комбинатов побуждает также к всестороннему изучению вопросов максимального использования могущих быть полученными при газификации побочных продуктов, применения для газификации отбросных продуктов других производств и снабжения поселков и городов высококалорийным газом для нужд бытового потребления. В связи с этим появилась необходимость в освещении вопросов конструкции и режима установок для получения водяного, двойного водяного, парокислородного и других газов с высокой теплотворной способностью, из которых только установки для получения водяного газа имеют распространение в СССР — в химической промышленности — в целях получения химического сырья.

Автор, участвовавший в реконструкции газового и теплового хозяйства в силикатной, а также и других отраслях промышленности, в связи с расширившимися требованиями к газу как топливу, счел своей обязанностью осветить достаточно широко вопросы, связанные с газификацией, в том числе и новые пути таковой, пользуясь материалами по газогенераторным установкам различных отраслей промышленности и не ограничиваясь только установками, работающими в силикатной промышленности, что позволило автору более полно охватить вопросы газификации в целом.

Изложенный в книге материал представляет собой соответствующую переработку курса, читанного автором в б. Институте силикатов и читаемого на силикатном факультете МХТИ им. Менделеева и на силикатном и других отделениях Московского института химического машиностроения.

Весь материал разбит на две части. В первой части освещаются вопросы теории генераторного процесса, конструкций газогенераторов, газопроводов и клапанов, снабжения установок воздухом и паром, свойств топлива и очистки газа. Во второй части рассматриваются вопросы организации хозяйства генераторных станций, контроля режима, газификации различных топлив и расчетов состава газа и газогенераторов.

Автор считает приятным долгом выразить благодарность организациям и лицам, оказавшим содействие в издании книги, в частности: ВНИТО силикатной промышленности, организовавшему издание книги, проф. Б. С. Швецову, несшему труд по редактированию книги, проф. Н. Н. Доброхотову, сделавшему ряд ценных указаний при просмотре рукописи, инж. И. А. Смирновой, оказавшей помощь в подборе и оформлении материалов, и студенту Г. Изотову за помощь автору при корректировании материалов.

ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

ВВЕДЕНИЕ

1. ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

Генераторный газ применяется для целей отопления, для получения механической энергии путем сжигания в газовых машинах и в качестве химического сырья.

Почти во всех случаях практики он является тем видом топлива, которым наиболее легко и целесообразно заменить столь дефицитное жидкое топливо. Промышленные печи отапливаются во многих отраслях промышленности (стекольной, керамической, металлургической и др.) преимущественно генераторным газом.

Применение генераторного газа для бытовых нужд имеет повсеместное распространение.

Он является прекрасным топливом для сварки металлов и служит ценным материалом в качестве сырья для получения различных химических продуктов и топлив (синтез аммиака, метанола, бензина, производство водорода). Имеет также большое значение получение при газификации ценных побочных продуктов: смол, фенолов, уксусной кислоты, аммиака и серы.

Употребление газообразного топлива вызывается целым рядом его преимуществ сравнительно с твердым.

При сжигании топлива с большим содержанием влаги невозможно получить высокие температуры, тогда как при сжигании генераторного газа из этого топлива вследствие возможности легкой его осушки эти температуры достижимы, что дает возможность применить низкосортные влажные топлива для получения высоких температур. Газ может быть предварительно подогрет, что связано как с получением более высоких температур горения, так и с возможностью использования тепла отходящих газов печей и большей экономичностью последних.

Горение газа может быть с достаточной полнотой проведено при очень малом избытке воздуха, а при этом могут быть достигнуты более высокая температура при горении и уменьшение потерь с отходящими газами, так как на нагревание избыточного воздуха затра-

чивается тепло, которое уносится вместе с воздухом из печи. Применение газа допускает легкую и хорошую регулировку горения; применяя газ, можно давать пламени требуемый для производства характер: окислительный — при большом избытке воздуха, восстановительный — при отсутствии кислорода и с значительным содержанием горючих частей в продуктах горения и нейтральный — при отсутствии значительных количеств кислорода и горючих частей в газах. При требовании очень чистого пламени, без пыли, сажи, а также не содержащего сернистых соединений, с успехом может быть применен генераторный газ, легко поддающийся очистке.

Если имеется несколько потребителей газа, то топливное хозяйство можно централизовать и направлять получаемый газ в различные места; этим часто упрощается обслуживание и удешевляется тепловое оборудование. Иногда бывает более выгодным взамен подвоза твердого топлива с места добычи к местам потребления получать из него газ на месте добычи топлива и транспортировать его на дальние расстояния.

Сравнительно с другими видами газов, являющимися отходами разных производств, например коксовым и швельгазом, генераторный газ имеет преимущество независимости производства; сравнительно со светильным преимущество генераторного газа — в меньшей стоимости и большей легкости и быстроте получения при необходимости покрытия пик нагрузок.

Большим преимуществом генераторного газа является также возможность его получения почти из любого твердого топлива.

Сравнение применения для целей отопления газа с электрической энергией показывает, что газ в большинстве случаев дешевле электрической энергии несмотря на то, что электрические печи дают более высокий к.п.д.[2] (газовые — 18—40%, электрические — 30—60% и больше); газовые печи обычно стоят дешевле электрических.

Регулирование печей обоих типов может осуществляться одинаково успешно.

Применение электрических печей может оказаться выгодным лишь при очень низкой стоимости энергии или в случае специальных требований, например в смысле исключительно высоких температур и т. д.

2. ВИДЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ГАЗОВ

Для целей отопления и в качестве химического сырья помимо генераторного применяются еще следующие виды газов: природный газ, доменный, коксовальный, светильный, швельгаз и нефтяной. Подразделяя газообразное топливо на естественное и искусственное, к естественному следует отнести природный газ и к искусственному — все остальные.

По предложению Тренклера, искусственные газообразные горючие можно разбить на следующие группы [1]:

1. Богатый газ, получаемый путем сухой перегонки в ретортах или печах твердого топлива при высоких температурах (светильный, коксовый) или при низких температурах (швельгаз). Газ характеризуется высоким содержанием углеводородов, значительным — водорода и малым — азота и кислородных соединений, а также высокой теплотворной способностью (3000—8000 *кал/м*³).

2. Бедный газ, получаемый путем газификации твердых топлив с помощью воздуха, пара и углекислоты без подвода тепла извне. Газ характеризуется высоким содержанием азота, переменным — CO, CO_2 и H_2 и небольшим — углеводородов в случае выделения таковых из топлива при его нагревании.

Теплотворная способность газа — низкая. К этим газам, получаемым в газогенераторных установках и в домнах, относятся воздушный, смешанный (паровоздушный) и доменный газы.

К этой же группе следует отнести газ, получаемый за счет газификации смесью воздуха и углекислоты.

Теплотворная способность газа — 700—1800 *кал/м*³.

3. Безбалластный газ, получаемый путем газификации твердых топлив, за счет водяного пара (водяной газ) или углекислоты (регенеративный газ) при подводе тепла, а также за счет кислорода (паро-кислородный и регенеративно-кислородный газы). Получаемый газ богат водородом и окисью углерода или только окисью углерода (регенеративно-кислородный). В нем могут также содержаться продукты сухой перегонки топлива. Содержание азота в газе мало, за исключением случая пользования вместо чистого кислорода обогащенным кислородом воздухом.

В газе также содержится некоторое количество углекислоты. При газификации под высоким давлением в газе может содержаться значительное количество метана. Безбалластные газы получают в газогенераторных и доменных установках.

Теплотворная способность этих газов — 2600—3000 *кал/м*³ и выше.

4. Нефтяной газ, получаемый путем испарения или разложения жидких горючих (нефтяной и дегтярный газы) самостоятельно или же в потоке других газов — воздуха (холодная карбюрация парами бензина или бензола) или генераторного газа (карбюрированный генераторный газ). Выделяющиеся при нагревании жидких топлив газы состоят преимущественно из газообразных углеводородов и небольших количеств H_2, CO и CO_2. Они имеют высокую теплотворную способность (4000—17 000 *кал/м*³).

Нефтяной газ получают в ретортах, нагреваемых снаружи, в камерах с разогретой насадкой и в трубчатых печах.

5. Облагороженный газ, получаемый путем выделения из смеси отдельных газов и обогащения смесей газов отдельными газами. К этой группе газов нужно отнести газы, получаемые путем выделения из смесей, например водород, получаемый путем сжижения остальных, составляющих смесь, газов; отдельные фракции газов, например метановую или этиленовую, выделяемые из газа путем сжижения; обогащенные газы — путем например удаления промывкой под давлением углекислоты или путем увеличения или уменьшения

Выход и состав технических газов

Наименование процесса	Выхода (в весовых процентах)			Состав газа			
	газа	кокса или полукокса	смолы	CO_2	H_2S	O_2	C_2H_4
Швелевание древесины (березы)	14,01	31,8	7,93	58,6	—	—	1,7
» торфа	70,9 л³/кг	46,35	20,8	72,3	—	—	1,6
» подмосковного угля	4,78	0,78	5,03	20,3	9,3	—	1,3
» челябинского »	10,00	59,62	5,29	19,7	1,7	—	1,4
» лисичанского »	60 л/кг	68,0	11,5	4,2	7,5	0,6	6,4
Коксование каменного »	320 »	—	—	2	—	—	4,0
Получение водяного газа из кокса	1,75 м³/кг	—	—	7,0	—	—	—
Получение карбюрированного водяного газа из кокса	—	—	—	5,3	—	—	9,2
Получение двойного водяного газа из буроугольн. брикетов	0,845м³/кг	—	7,2	13,2	—	—	—
Получение двойного карбюрированного газа из каменного угля	—	—	—	3,1	—	—	5,1
Получение нефтяного газа	0,6 м³/кг	—	—	2,0	—	0,1	6,0
Получение генераторного газа							
Из древесины:							
Смешанного	1,31м³/кг	—	78,7 г/м³	6,8	—	0,5	0,38
Воздушного	—	—	—	5,6	—	—	0,3
Из торфа:							
Смешанного	1,53м³/кг	—	46 г/м³	7,29	—	0,34	0,38
Воздушного	—	—	—	5,65	—	0,24	0,23
Из бурого угля:							
Смешанного	1,2 м³/кг	—	36 г/м³	6,10	1,17	0,20	0,47
Из каменного угля:							
Смешанного	3,85м³/к	—	9,9 г/м³	6,5	—	0,2	0,5
Воздушного	—	—	—	7,3	—	0,1	0,3
Из антрацита смешанного	4,4 м³/кг	—	—	6,6	—	0,1	0,2
Получение газа из угля с разложением смол в генераторе для силовых нужд	5,18м³/кг	—	—	8,6	—	—	—
Получение генераторного газа Монда из торфа	1,4 м³/кг	—	4,4	18,4	—	0,10	0,25
Получение доменного газа	—	—	—	8	—	—	—
Получение газа на парокислородном дутье из буроугольного полукокса при нормальном давлении	2,59м³/кг	—	—	25,5	—	0,1	0,2
Получение очищенного газа на пароки лородном дутье из буроугольного полукокса при нормальном давлении	—	—	—	3,0	—	0,1	0,3
Получение газа на парокислородном дутье из буроугольного полукокса при давлении в 30 *ат*	1,41м³/кг	—	—	38,2	—	0,1	0,9

Таблица 1

(в объемных процентах)				Высшая теплопроизводит. (в кал/м³)	Анализ топлива			Примечание
CO	CH_4	H_2	N_2		Влажность	Зольность	Высшая теплопр. (в кал/кг)	
30,9	8,8	—	—	2044	8,79	0,32	4410	Перегонка в реторте при 420°. Перегонка в алюминиевой реторте при 450°. Перегонка во вращающейся реторте при 500°, газ пересчитан на безазотный.
15,4	7,8	3,0	—	1558	—	—	5400	
19,8	31,2	18,2	—	4910	32,5	16,1	3400	
16,4	39,8	18,0	3,0	5082	20,51	5,61	5364	
7,7	50,8	20,4	2,4	7165	7,15	7,10	7000	
8	29	50	7	5160	—	—	—	
40,9	0,8	48,5	2,9	2790	5,0	10,0	7000	
29,7	13,9	36,2	6,2	4760	—	—	—	
29,6	6,9	40,9	9,6	2805	11,2	9,80	5530	
32,1	14,4	39,7	5,6	4354	—	—	—	
5,3	40,4	41,4	4,8	6218	—	—	—	
28,1	2,6	15,4	46,2	1630	30,0	0,53	3400	При работе на щепе.
29,4	3,0	12,7	49,1	1612	—	—	—	» » на поленьях.
28,05	2,77	17,44	43,73	1698	27,1	3,46	3788	
28,53	3,15	6,95	55,25	1414	22,85	2,01	—	
27,19	2,63	13,29	48,95	1646	28,33	21,59	3256	
23,6	2,8	13,9	52,6	1478	3,36	6,17	7458	
21,0	2,2	9,0	60,1	1168	6,3	19,6	5700	
22,5	0,9	14,5	55,2	1252	6,0	13,0	6600	
18,3	0,6	14,0	58,5	1034	—	—	7250	
11,40	3,30	23,30	43,05	1410	48,5	1,21	3284	
28	—	4	60	672	—	—	—	
21,0	1,8	51,4	—	2340	2,0	18,0	6600	
27,3	2,3	66,8	—	3141	—	—	—	
10,9	12,7	37,2	—	2819	14,2	10,2	5405	

содержания метана (при соответствующих температурах и наличии катализаторов).

Данные о составе, выходах и теплотворной способности различных газов приведены в табл. 1.

3. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА В КОМБИНАЦИИ С ДРУГИМИ ВИДАМИ ГАЗОВ

В ряде случаев вопросы использования генераторного газа приходится рассматривать в совокупности и увязке с использованием других продуктов газификации и других газов.

Настоящие условия крупного промышленного строительства централизованного хозяйства и газификация целых районов характеризуются стремлением к наиболее рациональной переработке топлива, использованию местных топлив, максимальной замене нефтяного топлива другими и применению генераторного газа в комбинации с другими газами.

Генераторный газ может смешиваться с другими газами в целях достижения определенной теплотворной способности (дальняя газопередача, необходимость высоких температур горения) и состава (химическое сырье, скорость горения, желательная атмосфера), диктуемых технологическими требованиями потребления, или в целях получения наиболее дешевого газа, или в интересах транспорта, или же в интересах наилучшего комплексного разрешения ряда вопросов, связанных с получением и применением других топлив (отходы других производств в виде газов или остатков, которые могут быть газифицированы, периодичность потребления или получения газов).

Наиболее часто возникающие вопросы комбинирования генераторного газа с другими газами связаны со следующими моментами: наличием в коксовом и металлургическом производствах отбросных газов в виде коксовального и доменного, в комбинации с которыми или раздельно, в соответствии с условиями получения и нуждами потребления, используется генераторный газ; применением для бытовых и других нужд смесей светильного и водяного газов или смесей генераторного газа с нефтяным, специально получаемым (карбюрация) или являющимся отходом других производств; получением в качестве химического сырья для целей синтеза аммиака смеси из водяного и смешанного газов определенного состава; дальней газопередачей газа, имеющего определенную теплотворную способность, путем смешения естественного газа с генераторным; строительством газоцентралей, в которых должна разрешиться комплексная задача наиболее целесообразной переработки местных топлив и снабжения разнородных потребителей, в том числе и дальних, газом. В последнем случае топливо может подвергаться или газификации или швелеванию и коксованию; получаемый полукокс также может подвергаться газификации; самая газоцентраль обычно является некоторым потребителем низкокалорийного газа, и в результате в подобных газоцентралях должны получаться различные виды генераторного газа, применяемые как раздельно, так и в смесях с другими.

Глава первая

ПОЛУЧЕНИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА И ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ГЕНЕРАТОРАХ

1. СУЩНОСТЬ ГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА

Газификацией называется безостаточное превращение твердого топлива в газообразное с помощью кислорода, вводимого с воздухом, водяным паром и другими газами.

Твердое топливо в его естественном виде (дрова, торф, каменный уголь), а также искусственном (кокс, брикеты) является источником тепла. Будучи сожжено (окислено) до конечных продуктов сгорания (CO_2, H_2O и SO_2), топливо выделяет все тепло, соответствующее его теплотворной способности. Однако возможно использование твердого топлива и в ином виде — не непосредственное, а с предварительным превращением его в газообразное, что преследует цель сжигания его в газообразном виде или получения газа как источника химического сырья.

Приспособления, в которых происходит превращение твердого топлива в газообразное, называются газогенераторами.

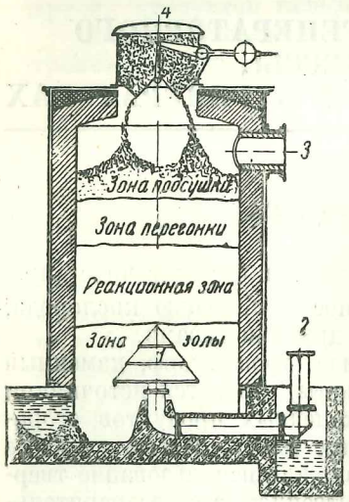
Газогенератор обычно состоит из вертикальной шахты, заполненной топливом, лежащим и горящим на колосниковой решетке. Сверху в шахту забрасывается топливо, а снизу, под колосники, поступает воздух или пар или смесь воздуха и водяного пара.

Воздух и пар, поднимаясь кверху, взаимодействуют с раскаленным углеродом, в результате чего получается горючий газ — газообразное топливо. Отвод полученного газа производится обычно сверху, над слоем топлива. В нижней части генератора (из-под колосников) удаляются остатки — зола и шлак.

Процесс газификации протекает следующим образом. Забрасываемое в генератор топливо (рис. 1) постепенно опускается вниз, подогреваясь поднимающимся током газов. Вначале оно подсушивается, потом по мере его нагрева из него выделяются продукты сухой перегонки, состоящие из различных газов и паров. Остающийся от топлива разогретый полукокс состоит преимущественно из углерода и

золы, а также из небольших количеств кислорода, водорода, азота и серы. Полукокс, опускаясь ниже, нагревается все сильнее, из него выделяются остатки продуктов сухой перегонки, и углерод его начинает реагировать с поднимающимися снизу вверх газами — кислородом, углекислотой и водяным паром. По мере нагрева полукокс переходит в кокс, состоящий почти исключительно из углерода и золы.

Углерод кокса интенсивно реагирует с поднимающимися вверх газами, образуя генераторный газ, а кокс все более обогащается золой. К основанию генератора (колосниковой решетке или поду) подходят остатки от газификации топлива — зола и некоторое количество невыгоревшего топлива.



1. Распределение зон в генераторе.
1 — колосниковая решетка, *2* — подача дутья, *3* — отвод газа, *4* — загрузочная коробка

Воздух и пар проходят вначале слой остывающей золы, несколько нагреваются и попадают в слой активно горящего кокса, углерод которого сгорает за счет кислорода воздуха и водяного пара в окись углерода и углекислоту, освобождая водород водяного пара. Образующаяся углекислота, соприкасаясь с раскаленным углеродом, реагирует с ним и переходит в окись углерода. К получаемым газам примешивается небольшое количество газов, выделяющихся из полукокса топлива.

Поднимаясь выше, получающиеся газы подогревают лежащее вверху генератора топливо и производят его сухую перегонку и подсушку; продукты, образующиеся при перегонке и подсушке, также примешиваются к газу.

Если процесс газификации проходит только за счет кислорода воздуха, то получается так называемый воздушный газ. Он состоит преимущественно из окиси углерода и азота, переходящего из воздуха, а также из некоторого количества углекислоты. При вдувании одного водяного пара получаются преимущественно водород и окись углерода и отчасти углекислота, к которым примешивается неразложившийся водяной пар. Эта смесь газов называется в о д я н ы м г а з о м.

В случае одновременного подвода в генератор и воздуха и водяного пара получается смесь воздушного и водяного газов (окись углерода, водород, углекислота, азот и водяной пар). Эта смесь газов называется с м е ш а н н ы м или п а р о в о з д у ш н ы м г а з о м.

В получении в результате окисления углерода и разложения водяного пара окиси углерода и водорода, способных гореть, и заключается сущность процесса газификации. Процесс получения генераторного газа происходит благодаря наличию в генераторе толстого слоя раскаленного углерода.

Бо́льшая часть продуктов сухой перегонки способна гореть с выделением значительного количества тепла и обогащает газ, увеличивая его теплотворную способность.

Теплотворная способность отдельных газов, входящих в состав генераторного газа, приведена в табл. 2[1].

Таблица 2

Молекулярные веса, объемный вес и теплотворная способность газов

Наименование вещества	Химическая формула	Молекулярный вес	Вес газа (в кг/м³) (фактич.)	Теплотворная способность			
				высшая		низшая	
				кал/кг-мол	кал/м³	кал/кг-мол	кал/м³
Водород	H_2	2,016	0,0899	68350	3050	57801	2579
Кислород	O_2	32,000	1,429	—	—	—	—
Азот	N_2	28,016	1,251	—	—	—	—
Окись углерода	CO	28,00	1 250	67700	3021	—	3021
Углекислота	CO_2	44 00	1,977	—	—	—	—
Метан, или болотный газ .	CH_4	16,03	0,717	213000	9505	191902	8563
Этилен	C_2H_4	28,03	1,260	341500	15239	320402	14297
Эган	C_2H_6	30,05	1.341	379250	16923	347603	15511
Сернистый ангидрид . . .	SO_2	64,07	2,927	23500	1049	23500	1049
Сероводород	H_2S	34,09	1,539	134290	5995	123741	5524
Водяной пар	H_2O	18,016	0,804	—	—	—	—
Воздух	—	28,853	1,293	—	—	—	—

Из генератора обычно отводится газ, представляющий собой смесь продуктов газификации и сухой перегонки топлива.

Газы, получающиеся при горении в топках толстого слоя топлива, часто сходны по составу с генераторным газом. Применение впервые подобного горючего газа, с тем чтобы он был сожжен не в месте его получения, а в специальном пространстве, приписывается Фору, построившему газогенератор в 1832 г. Открытие Фора дало практические результаты только со времени соответствующих работ братьев Сименс в 1861 г. [3].

Следует также отметить, что итальянский химик Фелис Фонтана [143] наблюдал еще в 1780 г., а Клемент и Дезорм [20] в 1801 г., что при продувке пара через раскаленный уголь получается горючий газ. Этот газ, называемый газом Фонтана, продолжительное время не находил применения.

Соответственно процессам, идущим в различных слоях топлива, возможно разбить весь слой топлива по высоте на следующие зоны: подсушки топлива, сухой перегонки и реакционную. Ниже реакционной зоны лежит слой золы, а выше слоя топлива находится газовое пространство.

[1] Теплотворные способности газов и углерода, а также тепловые эффекты реакций взяты по Schwarz [19].

2. ЗОНА ПОДСУШКИ И СУХОЙ ПЕРЕГОНКИ

Топливо, засыпанное в генератор, нагревается восходящим током газов. Сначала топливо подсушивается, а потом в результате его разложения начинают выделяться продукты сухой перегонки. Состав их, свойства и количество зависят от природы топлива и условий перегонки. Вообще они состоят из паров воды, углекислоты, тяжелых углеводородов (главным образом этилена), метана, водорода, окиси углерода, паров смол, уксусной кислоты, древесного спирта, азота, аммиака, сероводорода и сернистого газа. При перегонке сначала имеет место выделение влаги и окислов углерода, а затем выделение углеводородов, метана и сложных по составу смоляных паров.

Уксусная кислота и древесный спирт выделяются при сухой перегонке дерева и торфа.

Сероводород при сухой перегонке получается не только в результате разложения органической массы угля (начало удаления органической части серы 300°), но и вследствие разложения пирита, содержащегося в угле, и взаимодействия получающихся продуктов с водородом и водяным паром (подробнее см. гл. V).

Метан в условиях генераторного процесса может получаться как в результате разложения топлива и выделяющихся из последнего смол, так и при взаимодействии углерода с водородом или же при взаимодействии различных газов, составляющих генераторный газ или газ сухой перегонки [6].

Вопрос о промежуточных образующихся при протекании реакций получения метана соединениях недостаточно изучен, и возможно например принять следующую реакцию образования метана:

$$2CO + 2H_2 = CH_4 + CO_2 + 59100\ кал.$$

Для расчета генераторного газа безразлично, какую принять реакцию образования метана.

Остальные реакции получения метана вытекают из приведенной и из других, учитываемых при получении генераторного газа, например:

$$C + CO_2 = 2CO \text{ и } CO + H_2O = CO_2 + H_2.$$

Пользование принятой реакцией образования метана имеет преимущество потому, что газы, участвующие в ней, могут быть легко определены при анализе газа.

При применении катализаторов — железа, никеля, кобальта — образование метана идет интенсивно в температурном интервале 250—330°. Ниже 200° скорость реакций, связанных с образованием и разложением метана, незначительная даже в присутствии катализаторов.

Реакции взаимодействия метана и газов, получающиеся в результате воздействия паров воды на раскаленный углерод, при разных температурах были изучены Майером и Альтмейером [4] (табл. 3). Опыты производились в присутствии никеля или кобальта в качестве катализаторов.

Таблица 3

Равновесный состав газов по реакции:

$2CO + 2H_2 \rightleftarrows CO_2 + CH_4$ (давление — 1 *ат*)

Температура (абс.)	Состав газа (в объемных процентах)			
	CO	H_2	CO_2	CH_4
700	3,44	3,44	46,56	46,56
800	12,83	12,83	37,17	37,17
900	29,44	29,44	20,56	20,56
1 000	43,06	43,06	6,94	6,94
1 100	48,10	48,10	1,90	1,90

Значения $\lg K = \lg \frac{P^2_{H_2} \cdot P^2_{CO}}{P_{CH_4} \cdot P_{CO_2}}$ по данным табл. 3 и вычисленные Шенком (144) приведены ниже.

	Температура (абс.)							
	700	800	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400
По Майеру и Альтмейеру	—5,163	—2,71	—0,75	+0,85	+2,17	—	—	—
Вычисленные Шенком	—	—2,37	—0,46	+1,07	+2,27	+3,32	+4,18	+5,55

Данные о равновесных соотношениях по реакции $C + 2H_2 \rightleftarrows CH_4$ для графита и аморфного углерода приведены в табл. 24 и 25 [1] (см. также табл. 5).

В условиях генераторного процесса содержание метана в газе в значительной мере определяется условиями разложения топлива.

В случае газификации при высоких температурах во всем слое топлива смолистые вещества топлива и метан разлагаются.

Для некоторых производств имеет большое значение получение бедного метаном газа; в этом случае процесс газификации ведут при очень высоких температурах в верхней части генератора (см. гл. II—о газификации мелочи и пыли).

[1] Исследования содержания CH_4 в равновесной смеси газов (140) по реакциям $CH_4 + H_2O \rightleftarrows CO + 3H_2$ и $CH_4 + CO_2 \rightleftarrows 2CO + 2H_2$ показывают, что при 900° С и атмосферном давлении содержание CH_4 в газе составляет 1—2%. Уже при 500° метан является нестойким, но быстрое термическое разложение наступает при более высоких температурах (1100—1300°).

Содержание этилена в газе может быть лишь очень небольшим и обычно связано с медленностью распада его как продукта разложения топлива.

Молодые топлива — дрова, торф — выделяют при сухой перегонке значительное количество углекислоты, чем и обусловлено, даже при хорошем ходе газификации молодых топлив, значительное содержание углекислоты в генераторном газе.

Не все летучие, особенно газы, выделяются в зоне сухой перегонки, и последняя продолжается в раскаленной зоне, причем при более сильном нагревании топлива выделяется водород, а пары смолы разлагаются на тяжелые углеводороды и метан. При достаточной продолжительности нагревания топлива смолистые вещества выделяются почти полностью при температуре до 300—600°.

При слишком малом времени пребывания топлива в генераторе и следовательно более сильном нагревании смоляных паров и углеводородов они распадаются на метан, водород и углерод, причем последний выделяется в виде сажи. Поэтому газификация сухих смолистых топлив (каменных углей) при высоких температурах сопровождается выделением сажи, увеличивающимся при прогаре генератора.

Слой топлива, находящийся над раскаленной зоной, подготавливается — подсушивается, подвергается сухой перегонке, подогревается и понижает вследствие этого температуру генераторного газа. Выгодно иметь возможно более горячую, раскаленную зону и возможно более холодный газ.

При работе с низким слоем свежего топлива над раскаленной зоной получают так называемый горячий газ, а с высоким слоем — холодный. В некоторых случаях при возможности использования физического тепла газа в целях уменьшения выхода смол процесс газификации ведут умышленно при более высоких температурах газа при выходе из генератора.

При газифпкации влажных топлив значительная часть тепла поднимающихся газов затрачивается на испарение влаги, и газ получается низкой температуры.

По некоторым указаниям в зоне сухой перегонки, т. е. при температурах примерно 550—600° и ниже, может также протекать реакция[1]:

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 + 9899 \text{ кал},$$

а также разложение окиси углерода на углекислоту и углерод, каковым реакциям способствует каталитическое действие золы и вещества топлива.

В результате сухой перегонки от топлива остается полукокс, спускающийся в реакционную зону.

[1] Для условий в газогенераторах недостаточно выявлено. В промышленности имеет большое значение, например в присутствии катализатора в производстве синтетического аммиака (8).

3. РЕАКЦИОННАЯ ЗОНА

Реакционной зоной может быть названа зона высоких температур в газогенераторе, в которой реакции взаимодействия газов и водяного пара дутья с раскаленным углеродом и между получающимися газами протекают со значительной интенсивностью.

Реакции взаимодействия газов с углеродом и между собой протекают и в более холодных слоях топлива, но там эти реакции протекают с малой скоростью. Поэтому именно условия протекания реакций в зоне высоких температур — реакционной зоне — и определяют собой состав генераторного газа.

Как уже отмечалось, в зависимости от характера дутья можно различать воздушный, водяной, смешанный, регенеративный и парокислородный газы. В реакционной зоне могут также протекать реакции образования аммиака, сероводорода и сернистого газа. Условия протекания этих реакций описаны в гл. V.

4. ПОЛУЧЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ГАЗА

Если в генератор подается только воздух, то кислород его окисляет углерод топлива в углекислоту и окись углерода, причем благодаря выделяющемуся при этом теплу в нижней части генератора поддерживается высокая температура. При этом могут протекать следующие реакции (19):

$$CO_2 + C = 2CO - 40\,072 \text{ кал} \quad (А)$$

$$C + O_2 = CO_2 + 95\,328^* \text{ кал} \quad (Б)$$

$$2C + O_2 = 2CO + 55\,256^* \text{ кал} \quad (В)$$

$$2CO + O_2 = 2CO_2 + 135\,400 \text{ кал} \quad (Г)$$

Таким образом в системе углерод—кислород могут получиться в результате горения углерода CO и CO_2; первая при избытке углерода, вторая — при избытке кислорода. CO может при наличии избыточного кислорода сгореть в CO_2, а последняя при нагревании распасться на CO и O_2.

Реакции (Б) и (В) практически идут до конца, и равновесие их непосредственно не может быть изучено. Реакции (А) и (Г) — обратимы.

Положение Бертелло, согласно которому протекают химические превращения, стремящиеся к образованию веществ, получение которых сопровождается наибольшим выделением тепла, не применимо при рассмотрении реакций, ведущих к установлению равновесия. За меру сродства принимается максимальная работа, или свободная энергия реакции, могущая быть полученной при реакции за вычетом совершенной внешней работы в случае изменения объема.

Величины свободных энергий (в *кал*) реакций (падение свободной энергии системы) приведены в табл. 4 (14).

* Для кокса.

Таблица 4

Значения свободных энергий реакций, связанных с генераторным процессом

Табс,	$2CO+O_2 \rightleftarrows 2CO_2$	$C+CO_2 \rightleftarrows 2CO$	$C+O_2 \rightleftarrows CO_2$	$2C+O_2 \rightleftarrows 2CO$	$C+H_2O \rightleftarrows CO+H_2$	$C+2H_2O \rightleftarrows CO_2+2H_2$	$CO+H_2O \rightleftarrows CO_2+H_2$
298	+ 123 258	— 29 247	+ 94 011	+ 64 764	— 22 145	— 15 042	+ 7 263
500	+ 114 364	— 20 526	+ 93 838	+ 73 312	— 15 526	— 10 525	+ 5 282
1 000	+ 92 205	+ 1 116	+ 93 371	+ 94 537	+ 1 532	+ 1 897	+ 915
1 500	+ 70 481	+ 22 431	+ 92 912	+ 115 343	+ 18 898	+ 15 365	— 2 744
2 000	+ 49 224	+ 43 206	+ 92 433	+ 135 636	+ 36 159	+ 29 112	— 5 671
2 500	+ 28 215	+ 63 096	+ 91 322	+ 154 407	+ 52 492	+ 41 888	— 9 260

При низких температурах реакция (Г) имеет максимальную свободную энергию, а при высоких — выше 700° С — более низкую, чем реакции (Б) и (В). Реакция (В) имеет до 700° более низкую свободную энергию, чем реакции (Б) и (Г), а при температурах больших, чем 700°, — более высокую. Энергия реакции (Б) мало изменяется с температурой. В равновесной смеси системы углерод — кислород при низких температурах должна получаться преимущественно углекислота, а при высоких — окись углерода. При 700° С указанные выше 3 реакции имеют почти равные и положительные величины свободных энергий.

Свободная энергия реакции (А) при температурах ниже 700° — отрицательна; в этом интервале температур реакция протекает справа налево, т. е. из окиси углерода образуются углерод и углекислота, а при температурах выше 700° — наоборот.

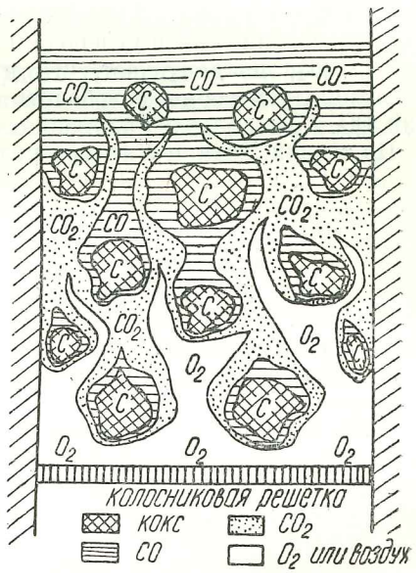
Горение углерода представляет собой сложный процесс, в котором участвуют не только химические, но и физические факторы. При горении углерода имеют место три процесса: подвод кислорода путем диффузии к поверхности углерода, соединение кислорода с углеродом на его поверхности (первичная реакция) и изменение продуктов сгорания в газовой среде и на поверхности углерода при вторичном попадании на его поверхность.

Скорость всех реакций горения увеличивается с температурой.

При данных температурных условиях скорость реакции между твердым и газообразным телом зависит от скорости диффузии. В реакции $CO_2 + C = 2CO$ скорость диффузии CO_2 к поверхности углерода больше скорости химического соединения, и фактором, определяющим скорость процесса, является скорость реакции. Скорость же реакции $C + O_2 = CO_2$ настолько велика, что определяющим фактором в этом случае является скорость диффузии O_2 к поверхности углерода.

У поверхности тел имеется почти неподвижная пленка газа, оказывающая основное сопротивление диффузии. С увеличением скорости газа у поверхности твердого топлива толщина этой пленки уменьшается, и следовательно увеличивается скорость реакции.

По некоторым воззрениям реакционную зону можно разделить на две части: зону горения и восстановительную зону. В зоне горения (по этим воззрениям) углерод сгорает в углекислоту ($C + O_2 = CO_2$); последняя же, поднимаясь выше, в зону восстановления взаимодействует с раскаленным углеродом, в результате чего образуется, согласно реакции восстановления углекислоты ($CO_2 + C = 2CO$), окись углерода.



2. Протекание генераторного процесса по Штрахе

Подсчеты, произведенные Лешателье [9], а также Тренклером [1], показывают, что в случае сгорания углерода в окись углерода за счет кислорода воздуха температура в генераторе должна была бы составлять, с учетом потерь, больше 1500°, а в случае сгорания в углекислоту — больше 2000° [1]. Так как при температурах выше 1500° плавится самая тугоплавкая зола, что в действительности в генераторе не имеет места, возможно заключить, что даже в случае сгорания углерода в углекислоту последняя тут же восстанавливается в окись углерода, благодаря чему не происходит чрезмерного повышения температуры.

По Штрахе процесс получения воздушного газа рисуется следующим образом [11]. Кислород воздуха (рис. 2) при обтекании раскаленного кокса образует наименее стойкое соединение — углекислоту, тут же восстанавливающуюся в окись углерода. Полученная окись

[1] Температуры реакционной зоны определяют путем составления ее теплового баланса и учета тепла, выделенного в зоне по реакциям, внесенного нагретыми коксом и дутьем и потерянного с уходящими из зоны газами и в окружающую среду.

углерода при наличии между кусками топлива избытка кислорода сгорает в углекислоту. Последняя в более высоких слоях топлива восстанавливается в окись углерода.

Ауфгейзер [7] принимает первичную теорию образования окиси углерода. Он считает молекулу углерода многоатомной и углерод реакционноспособным в раскаленном виде только при освобождении активного углеродного атома, происходящем при одновременном присутствии кислорода или простого кислородного соединения. Углекислота по этой теории образуется не от сгорания углерода, а от сгорания первично образовавшейся окиси углерода с кислородом или водяным паром. Ауфгейзер считает преимущественно возможным образование окиси углерода по реакции водяного газа $C + H_2O = CO + H_2$, но допускает, что и простые кислородные соединения и кислород способны освободить активный углеродный атом, дающий CO.

По теории Рида и Уиллера углерод образует с кислородом комплекс C_xO_y, связывающий несколько молекул углерода и кислорода и при повышении температуры разлагающийся и образующий и CO и CO_2, что подтверждают опыты.

Механизм горения углерода по этой теории заключается в том, что кислород при соединении с нагретым углеродом образует CO_2, CO и сложное вещество C_xO_y, являющееся промежуточным и разлагающим на CO_2 и CO.

Условия образования комплекса углерода с различными газами исследовались Чагом [146].

В качестве адсорбента для кислорода, закиси и окиси азота, азота и окислов углерода применялся уголь, полученный из сахара. Равновесие устанавливалось быстро во всех случаях, за исключением кислорода и окиси азота. При попытке регенерировать газы эвакуированием было найдено, что закись азота, азот и окислы азота отделялись при 0° практически не изменившимися, но что лишь часть кислорода или окиси азота могла быть выделена при этой температуре.

Чагом установлено, что кислород удерживается углем в виде некоторого комплекса, который разрушается при 280°. Окись азота частично разлагается уже при 0°. Вторичные реакции между комплексом и окисью азота происходят при температуре ниже 150°, и даже при —78° может быть обнаружено удерживание кислорода и окиси азота. Предполагается, что окисление углерода является многофазным процессом, включающим адсорбцию вследствие поверхностной конденсации, абсорбцию вследствие образования твердого раствора и сорбцию вследствие химической реакции.

Работами Шилова с сотрудниками [147, 148] установлено, что адсорбционная способность активированного древесного угля вызывается образованием с поверхности окислов A, B, C, различающихся характером связей.

Как указывают Брюйер и Рейерсон [149], на основании исследования воздействия CO_2 на раскаленный полукокс молодых углей (лигнита) при пропускании определенного объема CO_2 через нагреваемый в электрической печи уголь, в продуктах реакции помимо свободных

CO и CO_2 оказывается некоторое количество CO_2, перешедшее в твердый углеродно-кислородный комплекс. Процент CO_2, связанной с углем, достигает постоянной величины после пропускания CO_2 над нагретым углем в течение нескольких часов. Комплекс довольно устойчив при температуре ниже 300°, но с течением времени и при воздействии температуры и вакуума он частично распадается на CO и CO_2. При опытах с лигнитом при температуре 886° и продолжительности контакта угля с CO_2, равной 2,16 сек., распределение CO_2 в образовавшихся продуктах было следующее: в CO — 53,8%, в CO_2 — 30,4%, в комплексе C_xO_y — 15,8%; при 1112° и продолжительности контакта 6,8 сек.: в CO — 66,6%, в CO_2 — 0,6%, в C_xO_y — 32,8%; при 1115° и продолжительности контакта 5,8 сек.: в CO — 74,1%, в CO_2 — 1,1%, в C_xO_y — 24,8%.

Количество образующегося твердого углеродно-кислородного комплекса зависит от относительных количеств имеющихся газов и углерода, поверхности углерода, ее реакционной способности, продолжительности соприкосновения, температуры и вероятно еще и других факторов.

Общая тенденция температуры печи повышаться во время экспериментов свидетельствовала о более сильном экзотермическом эфекте, вызываемом связыванием углекислоты нагретым углеродом, чем эндотермический эфект реакции $C + CO_2 = 2CO$. Вместе с исчезновением заметного количества углекислоты из газообразной фазы это говорит за образование твердого поверхностного углеродно-кислородного комплекса, образующегося при нагревании углерода с углекислотой.

Авторы указывают, что механизм реакции между углекислотой и нагретым углеродом может быть представлен двумя общими выражениями. Одно из них предложено Майером, указавшим следующие реакции:

$$C + CO_2 \rightarrow CO + CO_{тверд}$$
$$CO_{тверд} \rightarrow CO.$$

Относительная скорость этих реакций определяет количество получаемого твердого углеродно-кислородного комплекса и окиси углерода.

Механизм реакций по Брюйеру и Рейерсону может быть представлен вторым выражением:

$$mC + nCO_2 \rightleftarrows pCO + q\,C_xO_y.$$

Из данных опыта следует, что p не равно $2n$. Если, как в выражении Майера, принять $n = 1$, тогда $m = 1 + x - y$, $p = 2 - y$ и $q = 1$. Общее выражение следовательно может быть написано:

$$(1 + x - y)\,C + CO_2 \rightleftarrows (2 - y)\,CO + C_xO_y.$$

Общее количество образованного и не разложившегося твердого углеродно-кислородного комплекса составляет на моль углекислоты,

израсходованной на образование углекислоты и углеродно-кислородного комплекса:

$$\left(x-\frac{y}{2}\right)C+\frac{y}{2}CO_2 \rightleftarrows C_xO_y,$$

и общее количество окиси углерода дается реакцией

$$\left(1-\frac{y}{2}\right)C+\left(1-\frac{y}{2}\right)CO_2 \rightleftarrows (2-y)\,CO.$$

Изучение первичной реакции Майером [32] показало, что при температурах ниже 1300° скорость сгорания углерода пропорциональна давлению кислорода, а отношение $CO_2 : CO$ остается равным единице и не зависит от давления и температуры, что свидетельствует о сложном характере горения углерода.

При температурах выше 1300° скорость сгорания углерода не зависит от давления кислорода и следовательно от растворения его в углероде; скорость сначала падает, потом возрастает. Отношение $CO_2 : CO$ в этой области температур также постоянно и равно 0,5.

Простейший тип реакции, удовлетворяющий полученному результату при температуре до 1300°,

$$4C + 3O_2 = 2CO_2 + 2CO.$$

По Майеру, две молекулы из трех доставляются за счет растворенного кислорода, глубоко внедряющегося в кристаллическую решетку графита и повидимому находящегося в реакционно-способном состоянии; третья молекула O_2 доставляется из газового объема и обусловливает протекание приведенной реакции с последующим удалением $2CO_2$ и $2CO$.

Протекание реакции при температурах выше 1300° соответствует уравнению:

$$3C + 2O_2 = CO_2 + 2CO.$$

Согласно исследованиям Нуссельта [150], экспериментально проверенным Венцелем, скорость сгорания сферических частичек C в CO_2 в неподвижном воздухе не зависит от давления газа.

Бурке и Шуман [151] считают, что кислород не достигает поверхности углерода, а последний окисляется CO_2. По их представлениям образовавшаяся CO диффундирует наружу, где по пути сгорает в CO_2, которая диффундирует в обоих направлениях.

Тью, Дэвис и Хоттел [152] на основании теоретических рассуждений, исходя из предположения об образовании при горении углерода CO_2 и CO, вывели формулу для удельной скорости горения углерода в газовом потоке, которая отвечала результатам эксперимента. Так как по Бурке и Шуману замена CO_2 в окружающей среде на O_2 эквивалентна лишь удалению внешней части оболочки и ничего не меняет в ходе процесса, то при пропускании над углеродом смеси газов, состоящей из N_2 и O_2, должен был бы получиться тот же эффект, что и при

пропускании смеси N_2 и CO_2. Однако вид кривой удельной скорости горения в обоих случаях оказался совершенно различным. Отсюда авторы делают вывод о непригодности гипотезы горения углерода в воздухе только за счет восстановления CO_2.

Авторы делают предположение о том, что кислород доставляется к поверхности углерода путем диффузии и, анализируя опытный материал, делают вывод, что при температурах ниже 1100° скорость сгорания шариков углерода лимитируется скоростью реакции и не зависит от скорости газов, а при более высоких температурах скорость сгорания лимитируется диффузией кислорода, пропорциональна давлению кислорода у поверхности углерода и увеличивается со скоростью газов.

В исследовании механизма сгорания углеродного шарика при атмосферном давлении, произведенном В. И. Блиновым, была найдена аналитическая связь между временем реакции и радиусом горящего шарика и установлено, что кислород доставляется диффузией к поверхности горящего тела и что скорость реакции пропорциональна давлению O_2 у поверхности этого тела [32].

Исследованием В. Блинова и С. Хайкиной [153] над влиянием давления в пределах 1—7 *ат* на сгорание углеродных шариков при температуре печи в 750° было установлено, что скорость сгорания углеродной частицы возрастает с увеличением линейной скорости газа и с повышением давления, но что при одной и той же массовой скорости газа давление практически не изменяет скорость процесса. Эфект давления зависит от линейной скорости газа и в покоящемся теле повидимому равен нулю. В изученной области фактором, лимитирующим скорость сгорания, является скорость поступления кислорода к горящей поверхности, а не скорость химической реакции. Авторы делают вывод, что путем для интенсификации процесса горения углерода при атмосферном давлении является увеличение скоростей поступления кислорода и горящей поверхности.

Соответственно вышеприведенным данным процесс газификации следует рассматривать таким образом: в нижней части реакционной зоны — зоне горения — углерод сгорает одновременно в окись углерода и в углекислоту; в следующей части реакционной зоны — восстановительной — получившаяся углекислота взаимодействует с раскаленным углеродом, образуя окись углерода.

Реакция $C + O_2 \rightleftarrows CO_2 + 95\,328$ кал

Скорость реакции $C + O_2 = CO_2$ недостаточно установлена, но, как указывают Хаслам и Руссель [3], при 982° она протекает мгновенно, а относительная скорость реакции при низких температурах выражается, по данным Рида и Уиллера, следующими величинами: при 350° — 1, при 400° — 10 и при 500° — 400.

Уравнение константы равновесия этой реакции (как и других), найденное, исходя из данных, относящихся к графиту, и должное быть исправленным при переходе к коксу из угля, приведено в табл. 5.

Таблица 5

Уравнения констант равновесия реакций, связанных с генераторным процессом

№ п. п.	Реакция	Уравнение константы равновесия
1	$C + O_2 \rightleftarrows CO_2$	$\lg K = \lg \frac{P_{CO_2}}{P_{O_2}} = \frac{20582{,}8}{T} - 0{,}302 \lg T + 0{,}000143T - 0{,}02{4}T^2 + 0{,}622$
2	$C + CO_2 \rightleftarrows 2CO$	$\lg K = \lg \frac{P^2_{CO}}{P_{CO_2}} = -\frac{8947{,}7}{T} + 2{,}4673 \lg T - 0{,}00108{2}4T + 0{,}0_6116T^2 + 2{,}772$
3	$2C + O_2 \rightleftarrows 2CO$	$\lg K = \lg \frac{P^2_{CO}}{P_{O_2}} = \frac{11635{,}1}{T} + 2{,}1656 \lg T - 0{,}000947T^2 + 0{,}0_6876T^3 + 3{,}394$
4	$2CO + O_2 \rightleftarrows 2CO_2$	$\lg K = \lg \frac{P^2_{CO_2}}{P^2_{CO} \cdot P_{O_2}} = \frac{29530{,}5}{T} - 2{,}769 \lg T + 0{,}001225T - 0{,}0_61356T^2 - 2{,}15$
5	$C + H_2O \rightleftarrows CO + H_2$	$\lg K = \lg \frac{P_{CO} \cdot P_{H_2}}{P_{H_2O}} = -\frac{6740{,}5}{T} + 1{,}5561 \lg T - 0{,}0001092T^2 - 0{,}0_37T^3 + 2{,}554$
6	$C + 2H_2O \rightleftarrows CO_2 + 2H_2$	$\lg K = \lg \frac{P_{CO_2} \cdot P^2_{H_2}}{P^2_{H_2O}} = -\frac{4533{,}3}{T} + 0{,}6446 \lg T + 0{,}0008646T - 0{,}0_61858T^2 + 2{,}336$
7	$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$	$\lg K = \lg \frac{P_{CO} \cdot P_{H_2O}}{P_{CO_2} \cdot P_{H_2}} = -\frac{2207{,}2}{T} + 0{,}9115 \lg T - 0{,}0009738T + 0{,}0_61487T^2 + 0{,}098$
8	$H_2 + {}^1/_2O_2 \rightleftarrows H_2O$ (5)	$\lg K = \lg \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2} \cdot P^{1/2}_{O_2}} = \frac{12520}{T} - 0{,}472 \lg T - 0{,}00036T + 0{,}0_68067T^2 - 0{,}855$
9	$CH_4 \rightleftarrows 2H_2 + C$ (5)	$\lg K = \lg \frac{P_{CH_4}}{P^2_{H_2}} = \frac{3348}{T} - 5{,}957 \lg T + 0{,}00186T - 0{,}0_610957T^2 + 11{,}79$
10	$2C + 2H_2 \rightleftarrows C_2H_4$ (5)	$\lg K = \lg \frac{P_{C_2H_4}}{P^2_{H_2}} = -\frac{2413}{T} - 5{,}589 \lg T + 0{,}0010257T + 0{,}0_6175T^2 + 13{,}04$

Как и далее, K берется в единицах парциального давления газов в долях атмосферы, а T — абсолютная температура в градусах Цельсия.

Реакция $CO_2 + C \rightleftarrows 2CO - 40072$ кал

Реакции $CO_2 + C \rightleftarrows 2CO$ часто приписывают превалирующее значение для генераторного процесса. Константа равновесия этой реакции K_1 определяется из выражения:

$$K_1 = \frac{p^2_{CO}}{p_{CO_2}}. \qquad (а)$$

Реакция восстановления CO_2 изучалась многими исследователями (Будуаром, Майером и Якоби, Ридом и Уиллером, Арндом и Траубе, Юшкевичем, Елинеком и Дитгельмом, Фальке).

Впервые изучал условия равновесия этой реакции Будуар (равновесие Будуара), исследовавший область в пределах 445—925° и исходивший как из CO_2, так и из CO [154].

Исследования Майера, произведенные с углем из сахара, и Рида и Уиллера с углем, близким к графиту, а также и другие исследования в основном подтвердили данные Будуара [155].

Значение константы равновесия этой реакции, по данным опытов Рида и Уиллера, приведены в табл. 5.

Н. Юшкевичем [156] на основании исследований равновесия реакции $CO_2 + C \rightleftarrows 2CO$ было принято для вычисления константы равновесия уравнение

$$\lg K_p = \lg \frac{P^2_{CO}}{P_{CO_2}} = -\frac{8208}{T} + \lg T + 5{,}46,$$

хорошо согласующееся с опытными данными в интервале температур 404—904° и при давлениях 0,3—2,0 *ат*. При температурах выше 900° это уравнение не дает точных значений, и следует пользоваться другими данными (табл. 5).

В табл. 7 приведены значения констант, вычисленные различными исследователями.

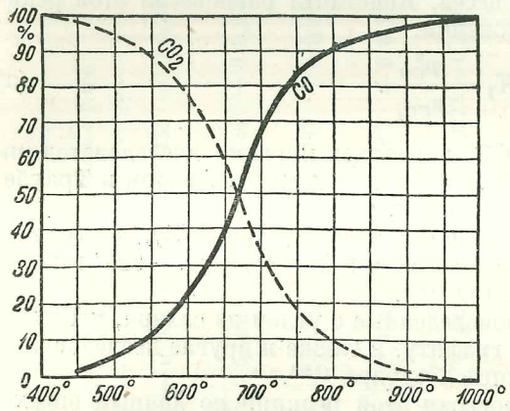
Равновесие для полукокса и кокса, с которым мы имеем дело в случае генераторного газа, обычно сдвинуто в сторону увеличения окиси углерода по сравнению с вычисленными для графита, так как он не состоит из чистого углерода и построен из более сложных молекул.

Дент и Кобб [157] показали, что установление равновесия реакции $C + CO_2 \rightleftarrows 2CO$ зависит от модификации твердой фазы. Содержание CO_2 в состоянии равновесия менялось от 7,0 до 13,8%, причем последняя цифра относилась к графиту, а первая — к более активным модификациям. Было установлено, что при продолжительном нагревании при высоких температурах происходит графитизация более активных модификаций.

На рис. 3 представлены кривые, характеризующие содержание в газе CO и CO_2 в зависимости от температуры [по Будуару и др. [10, 154]]. Содержание в равновесной смеси CO растет с температурой.

Из кривых видно, что при 1000° налицо условия, благоприятствующие почти полному восстановлению углекислоты в окись углерода. Чем выше температура, тем быстрее идет этот процесс.

Восстановление углекислоты происходит при низких температурах неполно, и кроме того требуется продолжительное время для достижения равновесия. Окислы и соли металлов каталитически влияют на повышение скорости реакций. При исследовании Фишером [12] влияния каталитических добавок на установление равновесия углекислоты над полукоксом были получены результаты, представленные в табл. 6. Добавки составляли 5% в расчете на окись. Полукокс приготовлялся из буроугольного брикета при 500° и имел состав: C — 79,4%, H_2O — 2,6% и золы — 9,7%. Он перемалывался и смешивался с измолотыми добавками. Реакционная фарфоровая трубка диаметром в 16 *мм* и длиной в 600 *мм* обогревалась в электрической печи.



3. Зависимость содержания в газе окиси углерода и углекислоты от температуры

Таблица 6

Влияние каталитических добавок на скорость восстановления углекислоты (CO_2 — 4 *л/час*; $p = 1$ *ат*)

Вид добавки	Состав газа	Содержание в % при температуре				
		600°	700°	800°	900°	1 000°
Без добавки	CO_2	93,0	71,3	28,7	16,5	8,3
	CO	7,0	28,7	71,3	83,5	95,7
Fe_2O_3	CO_2	95,1	75,0	39,0	11,3	1,4
	CO	4,9	25,0	61,0	88,7	98,6
Al_2O_3	CO_2	88,5	71,5	25,0	8,0	1,3
	CO	11,5	28,5	75,0	92,0	98,7
$CaCO_3$	CO_2	84,7	60,9	21,3	7,7	3,1
	CO	15,3	39,1	78,7	92,3	96,9
Na_2CO_3	CO_2	86,2	51,2	21,2	3,1	1,0
	CO	13,8	49,8	78,8	96,9	99,0
K_2CO_3	CO_2	74,8	42,0	16,7	3,8	0,9
	CO	35,2	58,0	83,3	96,2	99,1

Опыты показали, что скорость реакции повышается под влиянием минеральных добавок. С возрастанием содержания добавок возрастает их ускоряющее действие на реакцию.

Нейман и Фон-Ален [159] исследовали влияние неорганических добавок CaO, Fe_2O_3, K_2O, Al_2O_3, SiO_2, золы и колошниковой пыли на реакционную способность кокса, содержавшего 0,76% золы.

Добавки в количестве 5% хорошо перемешивались с углем. Коксование производилось при 900° в железной трубке диаметром 6 *см*.

Опыты показали, что наиболее сильное влияние оказывают щелочные окислы. При 700° и добавке таковых реакционная способность увеличилась в 7 раз, а при 900° равновесие совсем переместилось в сторону CO. Авторы считают, что каталитическое действие щелочных окислов основывается на переменном восстановлении и окислении металла:

$$K_2CO_3 + 2C = 2K + 3CO.$$
$$4K + O_2 = 2K_2O.$$
$$K_2O + C = 2K + CO.$$
$$2K + O = K_2O.$$

Добавка CaO сильно увеличивает реакционную способность кокса — при 900° более, чем втрое. Механизм процесса авторы считают невыясненным. Каталитическому действию окиси железа они дают следующее объяснение.

Fe_2O_3 восстанавливается углеродом

$$Fe_2O_3 + C = 2FeO + CO.$$

Образовавшаяся при реакции кокса с воздухом CO_2 окисляет железо при 700° в Fe_3O_4, а при 900° — в FeO:

$$Fe + CO_2 = FeO + CO.$$
$$3FeO + CO_2 = Fe_3O_4 + CO.$$

Окислы восстанавливаются углеродом до FeO или металла:

$$Fe_3O_4 + C = 3FeO + CO$$
$$FeO + C = Fe + CO$$

и процесс начинается сначала. Таким образом железо играет роль передатчика кислорода. Добавка SiO_2 и Al_2O_3 по этим данным понижает реакционную способность кокса, причем во втором случае это понижение больше, чем в первом. Добавка колошниковой пыли повышает реакционную способность, но в меньшей степени, чем чистая окись железа. При добавлении золы увеличение реакционной способности не велико по сравнению с начальной.

При образовании окиси углерода объем газов увеличивается. Повышение давления препятствует увеличению объема, а следова-

тельно и образованию окиси углерода, и благоприятствует образованию углекислоты, и наоборот, уменьшение давления благоприятствует получению в большем количестве окиси углерода и в меньшем — углекислоты. Расчеты, произведенные Юптнером [11], показали, что кривые, выражающие влияние изменения давления до 2, 3 и 4 *ат* на состав газа, подсчитанные для условий полного равновесия, вообще на практике не достижимого, лежат на близком расстоянии друг от друга, т. е. значительное изменение состава воздушного газа при этом не имеет места.

Фишером [12] было также исследовано влияние понижения давления на ход реакции:

$$C + CO_2 = 2CO.$$

Воспользовавшись средними значениями констант по табл. 7, вычисленными различными исследователями, Фишер вычислил соотношения CO_2 и CO для разных температур при низких давлениях для графита. Эти соотношения приведены в табл. 8.

Таблица 7

Значения $\lg K = \lg \frac{p^2_{CO}}{p_{CO_2}}$ **для графита**

Температура (в °С)	Будуар	Елинек	Фальке	Средние значения
400	0,75—5	0,205—4	0,798—5	0,917—5
500	0,52—3	0,759—3	0,685—3	0,654—3
600	0,83—2	0,004—1	0,961—2	0,929—2
700	0,91—1	0,928—1	0,040	0,983—1
800	0,79	0,792	1,038	0,840
900	1,52	1,458	1,750	1,576
1 000	2,13	2,038	2,261	2,143

Таблица 8

Содержание CO_2 (в %) в равновесной смеси CO_2 и CO в зависимости от температуры и давления

Давление (в *ат*) \ Температура (в ° С)	500	600	700
1	93,7	75,2	38,6
0,1	81,4	54,3	8,6
0,01	54,3	8,9	0,1
0,001	6,6	0,2	0,1

Свои опыты по изучению влияния понижения давления на восстановление углекислоты Фишер производил над полукоксом из брикетов бурого угля. При исследованиях полукокс помещался в фарфоровой трубке диаметром в 16 *мм* и длиной в 1200 *мм* и нагревался в электрической печи. Газ находился в круговороте до полного установления равновесия. Из данных табл. 9 видно, что при уменьшенном давлении даже при низких температурах возможно получить газ, состоящий в большей части из окиси углерода, тогда как при атмосферном давлении в газе должна находиться преимущественно углекислота.

Таблица 9

Соотношения CO_2 и CO и значения $= \lg K \frac{p^2_{CO}}{p_{CO_2}}$ **при разных условиях**

№ п.п.	Давление (в *мм* рт. ст.)	CO_2,%	CO,%	lg K	Температура (в ° С)
1	11,9	13,5	86,5	0,938—2	500
2	8,8	11,7	88,3	0,867—2	500
3	6,5	10,0	90,0	0 841—2	500
4	16,6	9,1	90,9	0,297—1	600
5	14,0	8,1	91,9	0,282—1	600
6	13,3	7,7	98,3	0 286—1	600
7	12,1	6,2	93,8	0 354—1	600
8	18,6	0.7	99,3	0 547	700
9	16,5	0 6	99,4	0,553	700
10	9,9	0.3	99,7	0,635	700
11	6,2	0,4	99,6	0,306	700

Скорость протекания реакции:

$$CO_2 + C \rightleftarrows 2CO \qquad (A)$$

сильно растет с температурой.

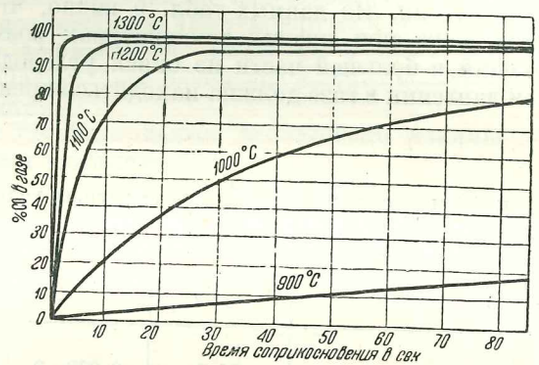
По данным Клемента, Адамса и Хескинса, скорость реакции (А) растет для кокса при увеличении температуры с 900 до 1000° в 10 раз и с 1000 до 1100° — в 6 раз.

Исследования Клемента, Адамса и Хескинса [4] влияния температуры на скорость восстановления углекислоты и получение газа с определенным содержанием окиси углерода графически представлены на рис. 4.

Работы этих же, а также других исследователей [13,14] показали, что интенсивность восстановления углекислоты в значительной мере зависит от свойств кокса, получаемого из газифицируемого топлива (рис. 5, 6 и 7), и что с увеличением продолжительности и поверхности соприкосновения газов с углеродом количество восстанавливающейся углекислоты увеличивается.

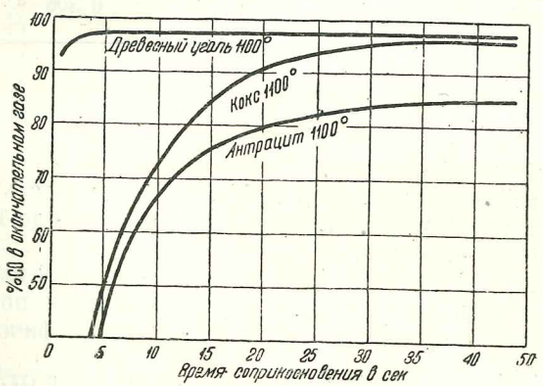
Из результатов опытов Клемента, Адамса, и Хескинса следует, что при 1000° в течение 80 сек. CO_2 в контакте с углеродом дает 80% CO, если же уменьшить время контакта до 12,5 сек., то газ

того же состава может получиться только при 1100°. При контакте в 5 сек. и температуре 1000° получается только 10% CO; то же содержание CO может получиться при 900°, но с увеличением контакта до 45 сек.



4. Влияние температуры на скорость восстановления углекислоты (по Клементу, Адамсу и Хескинсу; пропускание CO_2 через раскаленный кокс)

Роль реакционной способности топлива видна из того, что например при 1100° для древесного угля достаточно контакта в 5 сек., чтобы получить практически полное превращение CO_2 в CO, тогда



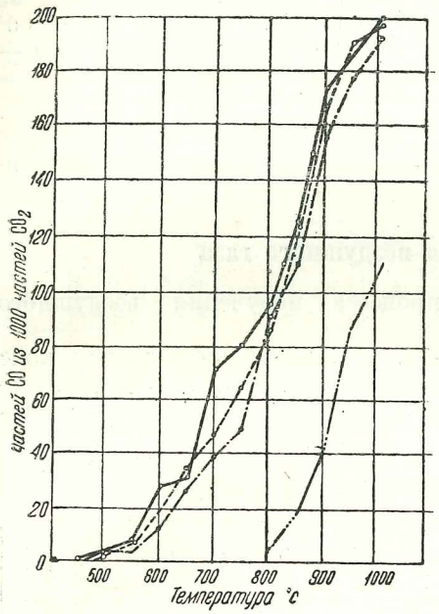
5. Восстановление углекислоты в зависимости от свойств топлива (по Адамсу, Клементу и Хескинсу)

как при коксе и антраците за те же 5 сек. контакта мы получаем только 50 и 45% CO.

По данным Кина, Тернера и др. [160], изучавших реакционную способность антрацита и кокса при 900° и 950°, восстановительная способность антрацита и кокса соответствует соотношению 57 : 22·

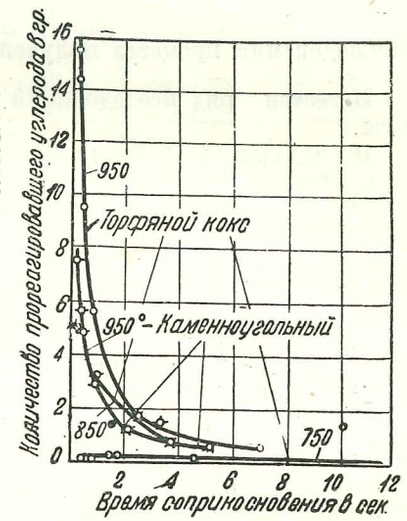
С увеличением содержания летучих и золы реакционная способность антрацита возрастает.

В условиях генераторного процесса, при которых время пребывания газов в реакционной зоне не превышает 1 сек. и линейная скорость газа (действительная) составляет 2—5 *м/сек*, равновесное состояние CO_2 и CO не достигается, и газ обычно по выходе из реакционной зоны содержит больше CO_2, чем это должно было быть.



6. Восстановление углекислоты в зависимости от свойств топлива (по опытам Мосхимэнергостроя)

———— кокс из подмосковного угля
— • — • » » » »
- - - - - - - - кокс из средне германского бурого угля
...—...— кокс каменноугольный



7. Восстановление углекислоты в зависимости от свойств топлива (по опытам Инсторфа)

Реакция $2C + O_2 \rightleftarrows 2CO + 55\,256$ кал

Как уже указывалось выше, реакция $2C + O_2 = 2CO$ многими исследователями считается первичной при горении углерода (первичная теория). Однако и в случае принятия, что углерод сгорает непосредственно в углекислоту (редукционная теория) с последующим ее восстановлением, приведенное уравнение применяется для выражения конечного результата реакций:

$$C + O_2 = CO_2$$
$$CO_2 + C = 2CO$$
$$2C + O_2 = 2CO$$

Реакция $2CO + O_2 \rightleftarrows 2CO_2 + 135\,400$ кал

Реакция: $2CO + O_2 = 2CO_2$ протекает очень быстро.

В равновесной смеси CO_2, CO и O_2 до достижения очень высоких температур преобладает содержание CO_2, т. е. расщепление CO_2 на CO и O_2 очень незначительно, составляя 0,114% при 1100° и 0,4% — при 1 550°. По Хасламу и Русселю [3] реакция: $2CO + O_2 = 2CO_2$ протекает медленнее реакций:

$$C + O_2 = CO_2 \text{ и } 2H_2 + O_2 = 2H_2O.$$

Отношение скорости горения CO к скорости горения H_2 приблизительно равно 0,35.

Исследования процесса получения воздушного газа

Известен ряд исследований процесса получения воздушного газа.

Исследования Неймана [15] (табл. 10), газифицировавшего кокс в небольшом опытном генераторе диаметром в 0,47 *м* и анализировавшего газ, взятый на различных уровнях слоя топлива, показывают, что уже на высоте 165 *мм* содержание в газе углекислоты является небольшим и что с повышением температуры, несмотря на увеличение производительности генератора, содержание углекислоты на одном и том же уровне уменьшается (опыты 4 и 17-й).

Таблица 10

Изменение состава газа и температуры по опытам Неймана

№ опыта	Колич. воздуха (15° и 76 *мм*) (в $м^3$/час)	Содерж. водяного пара в воздухе (в кг/час)	Колич. вдуваемого водяного пара (в кг/час)	Расстояние отвер тия от решет. (в *мм*)	Состав газа (в объемных процентах)						Температура (в °С)
					CO_2	CO	H_2	CH_4	N_2	O_2	
17	152,0	1,46	0,0	40	0,7	0,0	1,2	0,0	78,2	19,0	1 570
—	—	—	—	165	2,6	29,6	2,3	0,4	65,1	0,0	1 460
—	—	—	—	290	1,1	31,9	4,9	0,6	61,5	—	1 330
—	—	—	—	415	0,5	33,1	2,8	0 6	63.0	—	1 160
—	—	—	—	540	0,4	33.3	4,0	0 4	61,9	—	1 000
—	—	—	—	Оконч. состав	2,5	29,7	3,6	0,4	63,8	—	550
4	49,5	0,76	0,0	165	3,2	27,6	1,6	—	67,6	—	1 150
—	—	—	—	540	0,9	31,5	2,8	—	64,8	—	610
—	—	—	—	665 (над слоем топл.)	1,4	29,4	3,1	—	66,1	—	480
—	—	—	—	Оконч. состав	3,8	24,8	2,4	—	69,0	—	330
3	177,9	2,74	12,46	165	4,4	27,3	7,5	0,1	60,7	—	1 340
—	—	—	—	540	1.3	33 6	8,3	0,1	56,7	—	1 080
—	—	—	—	665	2,0	32,7	8,6	0,1	56,6	—	790
—	—	—	—	Оконч. состав	2,4	29,9	8,8	0,1	58,8	—	610
1	46,0	0,80	12,70	165	12,0	15,4	13,7	0,1	58,8	—	1 150
—	—	—	—	540	8,6	23 4	16 3	0,2	51 5	—	820
—	—	—	—	665	11,4	19.4	16,3	0,1	52,8	—	640
—	—	—	—	Оконч. состав	12,5	17,1	14,4	0,4	55,6	—	410

В табл. 11 приведены результаты опытов [16], проведенных Оргхимом (инж. Фейнберг) по продуванию воздухом кокса с различной интенсивностью. Эти опыты указывают на резкое снижение содержания в газе CO и увеличение содержания CO_2 при увеличении интенсивности дутья.

Таблица 11

Зависимость состава воздушного газа от интенсивности дутья

№ п.п.	Давлен. дутья (в *мм* вод. ст.)	Колич. возд. (в $м^3$/час)	Состав газа (в объемных процентах)								Темпер. в конце дутья (в °С)
			H_2S	CO_2	O_2	CO	H_2	CH_4	N_2	$\frac{CO}{CO_2}$	
1	100	602	1,2	7,0	0,4	20,6	6,0	0,6	64,2	2,95	—
2	200	880	1 0	11,0	0,6	12 2	3,6	0,6	71 0	1,11	850
3	300	1 115	1,8	12,0	0,2	11 6	1,6	1,2	71,6	0,97	890
4	400	1 320	1,2	13,4	0 2	10,2	1,6	1 2	72,2	0,76	930
5	500	1 495	1 2	13,0	0,2	9,8	2 4	0,6	72 8	0,67	970
6	600	1 665	1,0	14,0	0,2	9,8	2,4	0,6	72,0	0,62	1 000

В табл. 12 приведены данные Вендта [17], исследовавшего изменение состава газа из каменного угля по высоте. Эти данные показывают, что при воздушном дутье (опыты, помеченные цифрой 1) и высокой температуре содержание углекислоты в газе на высоте в 250 *мм* ничтожно и что уже при самом начале соприкосновения воздуха и топлива в газах содержится наряду с углекислотой окись углерода.

Следы смоляных паров были обнаружены на высоте 1000 *мм*, что указывает начало зоны сухой перегонки.

При опытах Неймана и Вендта замечалось некоторое увеличение содержания в газе в верхней части генератора углекислоты, что может быть отнесено за счет разложения некоторого количества CO, прогорания генератора у стен и взаимодействия влаги угля с углеродом топлива по реакции $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$.

Большой интерес представляют опыты, проведенные в Государственном институте азота Гроздовским и Чухановым [18], газифицировавшими в опытных обращенных генераторах на воздушном и парокислородном дутье древесный уголь и кокс. Генераторы представляли собой трубки из кварца и шамотно-корундовой массы. При опытах наблюдались размер и перемещение раскаленной зоны, видимой на-глаз и названной авторами исследования зоной горения, состав дутья и позонно — газа, температуры в слое, количество дутья и т. д. Интенсивность газификации определялась в малой модели (диаметром в 30 *мм*) для активированного угля по движению зоны, количеству дутья и составу дутья и газов, а в большой модели (диаметром

Таблица 12

Изменение состава газа и температуры по высоте генератора по опытам Вендта

Высота над решеткой в *мм*	CO_2 (в %)		CO (в %)		H_2 (в %)		N_2 (в %)		Температура (в °С)	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Газопровод	0,7	5,3	31,3	26,0	6,3	14,6	59,3	49 7	580	440
1 500 . . .	1,0	5,3	28,9	28.0	9 8	19,0	58,3	43,6	1 030	—
1 250 . . .	0,6	6,0	30,0	28,3	11,7	20,7	57,1	40,2	—	810
1 000 . . .	0,4	5,0	33,4	28,7	2,4	21,8	63,5	39,5	1 250	—
750 . . .	—	3,0	34,5	32,7	0,4	17,9	65,1	45,2	—	925
500 . . .	0,2	5,5	34,3	28,0	—	13 7	65,5	51,9	—	—
250 . . .	0,2	9,3	34,1	22,0	—	10,8	65,7	57,5	1 400	1 100
0 . . .	15,0	11,4	9,7	—	—	—	75,3	79,1	—	—

в 80 *мм*) для кокса — только по количеству дутья и составу дутья и газов. Исследователи нашли, что к концу раскаленного слоя содержание в газе кислорода практически равно нулю, что при первом контакте дутья с углем, обладающим активной поверхностью, независимо от содержания кислорода в дутье, получается весьма значительное количество окиси углерода и что с увеличением скорости дутья содержание в газе CO растет. Отмечая малую скорость реакции:

$$CO_2 + C \rightleftarrows 2CO,$$

исследователи приходят к выводу, что в реакционной зоне протекают одновременно реакции:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 \text{ и } C + {}^1/_2 O_2 \rightarrow CO.$$

Изменяя содержание кислорода в дутье, исследователи нашли, что при малых скоростях, большем содержании кислорода и более высокой температуре при газификации активированного угля на образование CO_2 расходуется кислорода больше, чем в случае более низкой температуры и при меньшем содержании в дутье кислорода, но при большей скорости. Вместе с тем с увеличением содержания в дутье кислорода при одной и той же скорости газа содержание CO в газе растет. Из этого авторы делают вывод, что образующаяся при малой скорости газов углекислота является результатом горения окиси углерода и что по достижении определенной скорости эта реакция с увеличением скорости дутья протекает все в меньшей степени. Авторы делают следующее предположение.

Углерод способен давать с кислородом и CO_2 и CO, но, в то время как скорость реакции образования CO_2 мало зависит от состояния поверхности углерода, скорость образования CO при высокой температуре резко возрастает с разрыхлением поверхности углерода. Однако активность углерода и высокая температура не способны в результате газификации обеспечить максимальный выход CO, если

не соблюдается условие быстрого выведения CO из раскаленной зоны во избежание протекания реакции:

$$CO + {}^1/_2 O_2 \rightarrow CO_2.$$

В условиях опытов с активированным углем практически полная газификация происходила при скорости 0,2—0,3 *м/сек* и выше, а в опытах с коксом — лишь начиная со скорости выше 1,0 *м/сек* (считая на холодное дутье и полное сечение трубки), что авторами объясняется необходимостью активизации процесса путем увеличения количества O_2, подаваемого в единицу времени. После достижения скорости, необходимой для вывода CO без сгорания из реакционной зоны, с увеличением содержания O_2 в дутье увеличивается часть кислорода, затрачиваемая на образование CO.

В табл. 13 приведены данные состава газа по выходе из слоя активированного угля на малой модели и из кокса — при выходе из раскаленного слоя на большой модели.

Таблица 13

Скорость воздуха (в *м/сек*) (на полное сечение генератора)	Активированный уголь		Кокс			
			при выходе из раскаленного слоя		при выходе из генератора	
	CO в газе по выходе из генератора	Процент всего O_2 в CO	CO_2	CO	CO_2	CO
0,05	16,0	45	—	—	15	3
0,10	21,0	60	15	5	11	11,5
0,15	25,0	70	—	—	—	—
0,20	28,0	80	11,8	12	7,5	17,5
0,25	28,5	82	—	—	—	—
0,30	28.5	82	9,5	16	6	20
0,35	29,0	82	—	—	—	—
0,40	29 0	82	8,5	18	4,5	22
0,45	29,0	82	—	—	—	—
0,50	—	—	8,0	20,0	3,5	24,0
0,60	—	—	7,5	21,5	3,5	25,5
0,70	—	—	6,5	23,5	2,5	26,5
0,80						
0 90	—	—	6	23,5	2	29,5
1,00						

При опытах раскаленная зона (видимая на-глаз через кварцевую трубку), в которой в основном заканчивались реакции, имела высоту не более 3 *см*. При увеличении процентного содержания кислорода в дутье или при увеличении скорости газов высота зоны уменьшалась. Это объясняется авторами тем, что при увеличении количества O_2, соприкасающегося в единицу времени с единицей поверхности, и при увеличении температуры процесс образования CO активируется и может быть закончен на очень небольшом расстоянии без заметного повышения температуры последующих слоев. Примерные

температуры, наблюдавшиеся по высоте слоя угля при скорости дутья в 0,2 *м/сек* и 30%-ном содержании в газе O_2, следующие: зона горения — 1200°; 3 *см* от зоны — 1000°; 7 *см* — 700° и 19 *см* — 450°. Возможность подобного «теплового сжатия» реакционной зоны подтверждается теорией Коревара, считающего ее возможной при применении угля большей активности и пористости, малых размеров и малой зольности.

Исследования показали, что в зоне, лежащей за зоной горения, реакции идут лишь в случае малых скоростей газов. Так, для древесного угля при скорости дутья в 0,067 *м/сек* содержание CO растет на расстоянии в 4 *см* от зоны горения с 16 до 20% и на расстоянии еще в 20 *см* доходит до своего максимального содержания в 23%; при скорости в 0,2 *м/сек* содержание CO растет на расстоянии от зоны горения в 3 *см* с 24 до 29%, оставаясь в дальнейшем постоянным; при скорости в 0,47 *м/сек* содержание CO растет на расстоянии от зоны горения в 2 *см* с 28 до 30%, оставаясь в дальнейшем постоянным. Таков же ход изменения состава газа и при коксе, но происходит он менее резко: так, при скорости в 0,3 *м/сек* разность содержаний CO в газах, выходящих из слоя и зоны горения, составляет 7%; при 0,5 *м/сек* — 6%; при 0,8 *м/сек* — 5% и при 1,0 *м/сек* — 4,5%.

Основными факторами, регулирующими процесс газификации, согласно выводам исследователей, являются дисперсность и активность поверхности углерода, скорость дутья и концентрация O_2.

При малых скоростях газов интенсивность газификации мала и газификация не полна. С увеличением скорости газов интенсивность газификации и полнота ее растут, не ограничиваясь условиями времени, контакта и температуры зоны восстановления, что должно происходить до какого-то, авторами не достигнутого, предела. Максимальные скорости, при которых производились опыты, составляли для активированного угля 1,25 *м/сек* и для кокса — 1,07 *м/сек* (продолжительность контакта — 0,06—0,075 сек.).

При активированном угле увеличение содержания в дутье кислорода при малых скоростях дает в некотором интервале увеличения (с 25 до 30%) резкий рост интенсивности процесса, в дальнейшем рост замедляется и даже совсем почти прекращается (выше 50% O_2). При средних скоростях больше 0,25 *м/сек* скорость процесса растет пропорционально увеличению количества кислорода, но количество газифицируемого углерода на единицу кислорода не изменяется.

В той же закономерности, но с количественной разницей, протекает процесс при коксе. Менее активный, чем древесный уголь, он дает еще в начале средней области скоростей газификации (больше 0,25 *м/сек*) значительное содержание CO_2 и оно падает с ростом скорости. Максимума CO не наступает еще при 1,1 *м/сек* (4% CO_2 и 30% CO). Значительно возрастают интенсивность процесса и процент использованного в CO кислорода для кокса с увеличением содержания в дутье кислорода и в области средних скоростей. При возрастании содержания O_2 в дутье с 21 до 35% возрастает на 20% количество O_2, используемого для получения CO, и при увеличении содержания O_2 с 35 до 56% оно возрастает еще на 8%.

Таким образом обогащение кислородом дутья имеет особенное значение для менее активных топлив. Приведенные данные, как отмечают исследователи, свидетельствуют о меньшей необходимости создания условий для благоприятного протекания реакции:

$$CO_2 + C = 2CO$$

и о большей необходимости приближения к оптимальным кинетическим условиям реакций, протекающих в генераторе, при которых исключалась бы возможность реакции:

$$CO + \frac{1}{2} O_2 = CO_2,$$

так как именно она регулирует процесс.

Авторы исследования считают необходимым вести работу с большими скоростями дутья (больше 1,2 *м* на полное сечение или 3 *м* на слой), что связано с увеличением производительности, с невысоким слоем топлива и кусками малых размеров.

Они намечают четыре области ведения процесса газификации в зависимости от скорости дутья: до 0,15 *м/сек* (на свободное сечение при 0° — 3 *м/сек* истинная) — область, соответствующую обычному процессу; до 0,5 *м/сек* — когда наступает резкое снижение содержания CO в газе; до 1,5 — 2,0 *м/сек* — когда наступает вынос первичных продуктов горения и несколько улучшается состав газа и выше 1,5 — 2 *м/сек* — когда достигается полная газификация [161].

Соображения авторов исследования о возможности благодаря повышению скорости газов увеличения содержания окиси углерода в газе противоречат установившимся взглядам на процесс газификации и требуют дополнительного подтверждения.

Соображения о ходе и ведении процесса получения воздушного газа

Независимо от хода реакций получения воздушного газа — с предварительным получением углекислоты и последующим ее восстановлением в окись углерода или с непосредственным получением окиси углерода, — учитывая, что при газификации за счет воздуха в генераторном газе содержится азот, процесс получения воздушного газа можно представить следующим образом.

При пропускании воздуха через слой раскаленного угля имеет место горение углерода в окись углерода:

$$2C + O_2 + \frac{79}{21} N_2 = 2CO + \frac{79}{21} N_2 + 55\,256 \text{ кал}$$

и углекислоту:

$$C + O_2 + \frac{79}{21} N_2 = CO_2 + \frac{79}{21} N_2 + 95\,328 \text{ кал}, \qquad (1)$$

восстановление углекислоты раскаленным углеродом в окись углерода:

$$CO_2 + \frac{79}{21} N_2 + C = 2CO + \frac{79}{21} N_2 - 40\,072 \text{ кал} \qquad (2)$$

и прохождение азота воздуха в неизмененном виде, что в конечном итоге может быть представлено следующей реакцией:

$$2C + O_2 + \frac{79}{21} N_2 = 2CO + \frac{79}{21} N_2 + 55\,256 \text{ кал.} \qquad (3)$$

К получаемым газам примешивается некоторое количество углекислоты, неразложившейся или образующейся в результате сгорания углерода или окиси углерода.

Процессы, протекающие в реакционной зоне при получении воздушного газа, в конечном итоге идут с выделением тепла. Выделяющееся тепло затрачивается на покрытие потери от охлаждения генератора, подогрев топлива и процессы перегонки и подсушки топлива, почему и температуры в генераторе по направлению снизу вверх постепенно падают.

В имеющих на практике место процессах газификации равновесие системы $C + CO_2 = 2CO$ не успевает установиться, и газ в реакционной зоне содержит больше CO_2, чем это должно было бы быть согласно условиям равновесия при высокой температуре зоны, а при выходе из генератора меньше, чем это соответствует низкой температуре выхода газа.

Общепринятые соображения о ведении процесса получения генераторного газа могут быть сформулированы следующим образом [22].

При низких температурах процесс восстановления углекислоты сильно затягивается. При высоких же температурах реакции горения и восстановления углекислоты протекают интенсивно. Поэтому в обычных условиях работы имеют весьма существенное значение скорость ведения процесса и температура реакционной зоны. Движущийся в генераторе снизу вверх воздух должен достаточное время обтекать раскаленный слой угля или, другими словами, скорость воздушного потока не должна превышать скорости реакции при определенной температуре. При большой скорости потока или низком слое топлива получается больше углекислоты.

Расчеты к процессу получения воздушного газа

Получающийся по реакции (3) газ имеет следующий состав:

$$CO = \frac{2 \cdot 100}{2 + \frac{79}{21}} = 34{,}7\% \quad \text{и} \quad N_2 = \frac{\frac{79}{21} \cdot 100}{2 + \frac{79}{21}} = 65{,}3\%$$

Теплотворная способность этого газа 1 050 *кал/м³*.

Состав получаемых на практике газов отличается от вышеприведенного теоретического (CO = 34,7%; N_2 = 65,3%) вследствие наличия в газах продуктов сухой перегонки и неразложившейся углекислоты.

Пренебрегая влиянием продуктов сухой перегонки, можем сделать следующие рассуждения [11].

Если бы углерод сгорел в CO_2, то содержание CO_2 в газах составляло бы 21% и N_2 — 79% (по объему).

Содержание CO в газе, получающемся при газификации углерода, можно подсчитать, если дано содержание в нем CO_2. При расчете на 100 частей воздуха, участвующего в газификации, и содержании в газе a% CO_2 получаем (в объемных соотношениях):

21 части CO_2 соответствует 100 частей воздуха

1 » CO_2 » $\frac{100}{21}$ » »

a » CO_2 » $\frac{100}{21} a$ » »

На образование CO расходуется воздуха: $100 - \frac{100}{21} a$ частей.

Каждые 100 частей воздуха вносят 21 часть O_2 и могут образовать 42 части CO и 121 часть продуктов газификации.

Следовательно в случае наличия в газе a% CO_2 и расхода $100 - \frac{100}{21} a$ частей воздуха на образование CO, получим содержание CO, равное (в процентах):

$$CO = \left(100 - \frac{100}{21} a\right) \frac{42}{121} = 2 \frac{100}{121} (21 - a) = 34{,}7 - 1{,}65\, a.$$

В 1 *м³* CO_2 или CO содержится 0,536 *кг* C.

Содержание C в 1 *м³* генераторного газа составит в таком случае:

$$0{,}536\ (CO_2 + CO) = 0{,}536 \left(\frac{a}{100} + 2\,\frac{21 - a}{121}\right) = 0{,}536\,\frac{34{,}7 - 0{,}65\, a}{100}.$$

Если известно количество введенного воздуха (L *м³*) и содержание в газе CO_2 (a%), то выход газа на L *м³* воздуха может быть определен с помощью следующего расчета.

На образование a частей CO_2 пошло $\frac{100\, a}{21}$ частей воздуха и на образование $2\,\frac{100}{121}\,(21 - a)$ частей CO пошло:

$$\frac{2 \cdot 100 \cdot 100}{121 \cdot 2 \cdot 21} (21 - a) = \frac{10\,000}{121} \left(1 - \frac{a}{21}\right) \text{ частей воздуха,}$$

а всего на 100 частей газа расходуется воздуха:

$$\frac{100\, a}{21} + \frac{10\,000}{121} \left(1 - \frac{a}{21}\right) = \frac{100}{121} (a + 100) = 0{,}827\ (a + 100) \text{ части.}$$

Выход газа на L *м³* воздуха составляет:

$$\frac{100 L}{\frac{100}{121}(a + 100)} = \frac{121 L}{a + 100} = \frac{100 L}{0{,}827\,(a + 100)}\ м^3.$$

Если воспользоваться приведенным выше значением для содержания углерода в 1 $м^3$ газа, то получим количество прогазифицированного углерода — C $кг$ на L $м^3$ воздуха равным:

$$C = L\,\frac{121}{a+100}\left(\frac{a}{100}+2\,\frac{21-a}{121}\right)0{,}536 =$$

$$= L\,\frac{1{,}21\,a+2\,(21-a)}{a+100}\cdot 0{,}536 = L\,\frac{18{,}6-0{,}348\,a}{0{,}827\,(a+100)}.$$

При $CO_2 = 0$ имеем: $C = \frac{L\cdot 2\cdot 21}{100}\,0{,}536 = L\cdot 0{,}2250$,

т. е. 1 $м^3$ воздуха газифицирует в CO — 0,2250 $кг$ углерода.

В случае полного сгорания C в CO_2 $a = 21$

и $C = L\,\frac{[1{,}21\cdot 21}{121}\,0{,}536 = L\cdot 0{,}1126$,

т. е. за счет 1 $м^3$ воздуха сгорает в CO_2 0,1126 $кг$ C.

В теоретическом случае получения воздушного газа, состоящего из CO и N_2, выход газа на 1 $кг$ углерода равен:

$$\frac{1\cdot 100}{0{,}53\text{о}\cdot 34{,}7} = 5{,}38\ м^3.$$

Теплотворная способность получаемого газа составляет:

$$\frac{1\,050\cdot 5{,}38\cdot 12\cdot 100}{95\,328} = 71\%$$

от теплотворной способности углерода, что является следовательно предельным для воздушного газа.

5. ПОЛУЧЕНИЕ ВОДЯНОГО ГАЗА

Если в генератор подается водяной пар, то кислород его окисляет углерод в окись углерода и углекислоту, причем к этим газам прибавляется водород, освобождаемый из водяного пара.

Разложение водяного пара идет по реакциям:

$$C + H_2O_{пар} = CO + H_2 - 30\,173^*\ кал \qquad (4)$$

$$C + 2H_2O_{пар} = CO_2 + 2H_2 - 20\,274^*\ кал \qquad (5)$$

Образующиеся по указанным реакциям окись углерода и водород могут взаимодействовать по реакции:

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 + 9\,899\ кал. \qquad (6)$$

При наличии свободных водорода и кислорода может также протекать реакция:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O + 115\,602\ кал. \qquad (7)$$

* Для кокса.

Получившаяся по реакциям (5) и (6) углекислота реагирует с углеродом по рекции (A).

Таким образом при получении водяного газа имеет место окисление C в CO и CO_2, идущее с выделением тепла, и разложение H_2O и CO_2. На разложение водяного пара затрачивается больше тепла, чем выделяется при окислении углерода, и получение водяного газа идет в конечном итоге с поглощением тепла.

Значение свободных энергий реакций взаимодействия углерода и водяного пара и получаемых продуктов в зависимости от температуры приведены в табл. 4.

Как видно из значений величин свободных энергий, при низких температурах может протекать реакция (6), обладающая положительной свободной энергией. При высоких температурах преимущественно протекают реакции (4) и (5).

Соотношение значений свободных энергий показывает, что при низких температурах мы получаем больше водорода и меньше окиси углерода, а также что реакции образования $CO+H_2$ и CO_2+H_2 и разложения CO_2 идут не порознь, а совместно, и что в смеси газов всегда будут иметься CO, H_2 и CO_2.

В области выше 700° средства во всех реакциях обращаются в пользу CO. Ниже этой области реакция $C + CO_2 = 2CO$ мало эффективна; при высоких температурах она очень способствует образованию CO. Влияние реакции (5) хотя и меньше, чем реакции (4), но все же довольно значительно.

В реакционной зоне также происходит образование в некоторых количествах метана. Однако при газификации при атмосферном давлении содержание метана в равновесной смеси газов невелико, составляя при температуре выше 900° менее 1%. Значительно большее значение имеет образование метана при высоких давлениях и в области более низких температур.

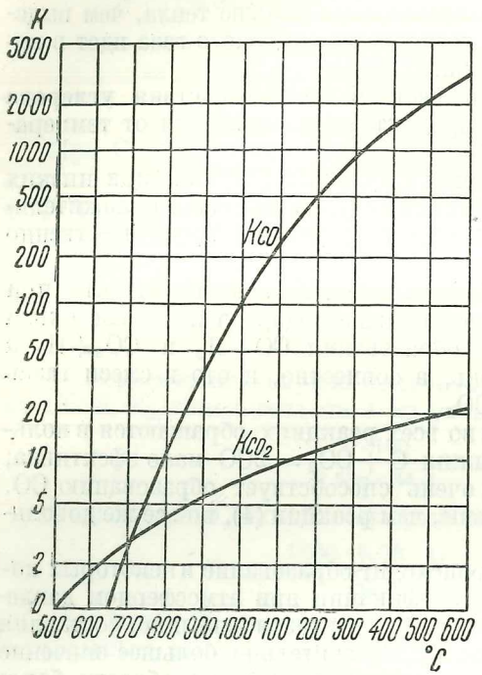
Водяной газ обладает большей теплотворной способностью, чем воздушный, так как в его состав не входит азот, переходящий из воздуха при получении воздушного газа.

Реакции получения водяного газа протекают с поглощением тепла, и для возможности непрерывного их прохождения требуется какой-то посторонний источник тепла. Практически в генераторах для получения водяного газа сначала через слой топлива в генераторе продувают воздух и, после того как температура слоя в результате сгорания углерода в CO и CO_2 поднимается, пропускают через нее пар, получая водяной газ, состоящий из CO, H_2O, CO_2 и H_2 (практически и из небольшого количества азота). В результате поглощения тепла при процессе температура слоя топлива понижается и после того, как температурные условия становятся неблагоприятными для ведения процесса, вновь пускают воздушное дутье.

Непрерывный процесс возможен лишь при высоком перегреве пара и одновременном дополнительном подводе тепла к камере газификации, так как в случае подвода тепла за счет одного лишь теплосодержания пара потребовался бы перегрев его до очень высокой температуры.

Реакция $H_2O + C \rightleftarrows CO + H_2 - 30\,173$ кал

Значение константы равновесия реакции (4) в зависимости от температуры приведено в табл. 5 по Партингтону и Раковскому [145] и на рис. 7 — по Люису и Рандаллю [3].



8. Константы равновесия обратимых реакций (4) и (5) по Люису и Рандаллю:

$$K_{CO} = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O}}; K_{CO_2} = \frac{\sqrt[1]{p^2_{CO_2}} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O}}$$

Кривая на рис. 8 дает значения K_{CO} для интервала температур от 650 до 1500°.

Реакция протекает [3] ниже 900° медленно, сравнительно быстро — выше 900° и особенно быстро — при температурах выше 1000°.

Реакция $2H_2O + C \rightleftarrows CO_2 + 2H_2 - 20\,274$ кал

Обратимая реакция (5) протекает одновременно с реакцией (4).

По данным Хаслама и Русселя [3] эта реакция при температурах 400 — 900° протекает не быстро, но значительно быстрее, чем реакция (4). При температурах выше 900° скорость реакций одинакова. Реакция эта всегда сопровождается реакциями (4) и (А).

Реакция $CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2 + 9\,899$ кал.

Если из уравнения (5) вычесть почленно уравнение (4), то получим уравнение (6), связывающее реакции водяного газа:

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 + 9\,899 \text{ кал.} \qquad (6)$$

При протекании реакции справа налево тепло поглощается, а слева направо тепло выделяется. Константа равновесия этой реакции:

$$K_2 = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2O}}{p_{CO_2} \cdot p_{H_2}} \qquad (б)$$

характеризует ее и реакции получения водяного газа.

На установление равновесия при реакции (6), называемой реакцией водяного газа, давление не оказывает влияния, так как эта реакция протекает без изменения объема.

Впервые изучал условия равновесия этой рекации Горстман. Проведенные впоследствии исследования Ганом над газами в кварцевой трубке с платиновым катализатором дали значения, приведенные в табл. 14 [15].

Таблица 14

Значения $K_2 = \frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2}$ в зависимости от температуры по Гану

Температура °С	683	830	986	1 250	1 500	1 600
Значение K_2	0,52	1,0	1,6	2,6	3,87	4,24

Из этих данных следует, что до 830° ($K \leq 1$) окись углерода является более сильным восстановителем, а при температурах выше 830° водород восстанавливает сильнее, чем окись углерода.

Брианом [21] были вычислены величины K по данным различных исследователей. Наиболее надежными автор считает величины, полученные по данным Эйкена и Истмана. Из приведенных в табл. 15 констант к последним приближаются константы Неймана и Келлера.

Таблица 15

Сравнение значений констант $K_2 = \frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2}$ по данным различных исследователей

Исследователи / Абсол. температ.	Габер	Нейман и Келлер	Люис и Рандалль	Эйкен	Истман
500 . . .	$5{,}75 \cdot 10^{-3}$	$7{,}91 \cdot 10^{-3}$	$7{,}23 \cdot 10^{-3}$	$8{,}00 \cdot 10^{-3}$	$7{,}34 \cdot 10^{-3}$
600 . . .	$2{,}91 \cdot 10^{-2}$	$3{,}77 \cdot 10^{-2}$	$3{,}53 \cdot 10^{-2}$	$3{,}81 \cdot 10^{-2}$	$3{,}56 \cdot 10^{-2}$
700 . . .	$8{,}96 \cdot 10^{-2}$	$1{,}12 \cdot 10^{-1}$	$1{,}07 \cdot 10^{-1}$	$1{,}12 \cdot 10^{-1}$	$1{,}07 \cdot 10^{-1}$
800 . . .	$2{,}02 \cdot 10^{-1}$	$2{,}49 \cdot 10^{-1}$	$2{,}40 \cdot 10^{-1}$	$2{,}49 \cdot 10^{-1}$	$2{,}39 \cdot 10^{-1}$
900 . . .	$3{,}68 \cdot 10^{-1}$	$4{,}50 \cdot 10^{-1}$	$4{,}42 \cdot 10^{-1}$	$4{,}50 \cdot 10^{-1}$	$4{,}38 \cdot 10^{-1}$
1 000 . . .	$6{,}76 \cdot 10^{-1}$	$7{,}25 \cdot 10^{-1}$	$7{,}09 \cdot 10^{-1}$	$7{,}14 \cdot 10^{-1}$	$7{,}02 \cdot 10^{-1}$
1 400 . . .	2,12	2,23	2,16	2,17	2,18
1 800 . . .	3,69	3,65	3,70	3,63	3,81

С увеличением температуры уменьшается количество водяного пара и углекислоты и увеличивается количество окиси углерода и водорода в равновесной смеси.

Весь введенный водяной пар, как это видно из условий равновесия, не может разложиться, и некоторое его количество уходит с газами. Избыток пара препятствует образованию CO.

При температурах выше 1500° эта реакция протекает мгновенно, ниже 900° — медленно. В интервале 900—1500° установившееся равновесие с изменением температуры изменяется не интенсивно. Присутствие катализаторов, каковыми могут являться окислы железа,

значительно повышает скорость этой реакции, что имеет большое значение для процесса газификации.

Уайт и Шульц [162] нашли, что применение в качестве катализатора сплавленной окиси кобальта ускоряет реакцию $CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$. Опыты показали, что равновесие устанавливается при 310° при скорости 2 900 объемов водяного газа на 1 объем катализатора в час.

По А. Нейману и Ц. Пистору [15] углекислота не восстанавливается водородом в окись углерода при температурах ниже 900°. Взаимодействие между окисью углерода и водяным паром до 560° не наблюдалось, при 600° восстановилось 2%, около 900° — 8% и около 954° — 10% углекислоты в окись углерода. Это свидетельствует о вялом протекании реакции водяного газа до 1000°.

Реакция $2H_2 + O_2 \rightleftarrows 2H_2O + 115\,602$ кал.

Реакция $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ при наличии свободных водорода и кислорода протекает очень быстро. Горение [3] H_2 происходит в 2,86 раза быстрее горения CO. Скорость горения водорода при низких температурах значительно увеличивается в присутствии горячих твердых поверхностей. При температурах ниже 1700° водяной пар в очень незначительной степени расщепляется на газообразный водород и кислород. При 1750° расщепляется только 0,37% водяного пара. В обычных условиях генераторного процесса эта реакция не имеет практического значения.

Состав водяного газа и соображения о ведении и ходе процесса получения водяного газа

Константа равновесия реакции (4): $K_{CO} = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O}}$

и реакции (5): $K_{CO_2} = \frac{p_{CO_2} \cdot p^2_{H_2}}{p^2_{H_2O}}$.

Если по предыдущему константа равновесия реакции (А):

$$K_1 = \frac{p^2_{CO}}{p_{CO_2}}, \qquad (а)$$

то

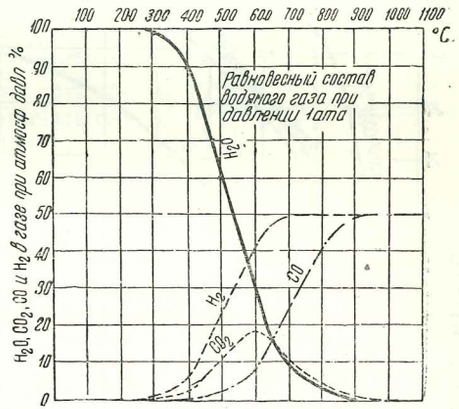
$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O}} = K_{CO} \quad \text{и} \quad \frac{K_1}{(K_2)^2} = \frac{p_{CO_2} \cdot p^2_{H_2}}{p^2_{H_2O}} = K_{CO_2}.$$

Таким образом реакции (4) и (5) протекают не самостоятельно, а связаны соотношениями (а) и (б), охватывающими все основные процессы газификации, протекающие в реакционной зоне генератора.

Равновесные составы водяного генераторного газа подсчитаны из равенств (а) и (б) для давления в 1 *ат* и разных температур Юптнером и выражены в виде кривых на рис. 9. В условиях газификации равновесие не успевает установиться.

Идеальный водяной газ по реакции (4) имел бы состав: 50% H_2, 50% CO и высшую теплотворную способность в 3 036 *кал/м³*, а по реакции (5) — 66,67% H_2, 33,33% CO_2 и высшую теплотворную способность в 2 035 *кал/м³*.

Опыты Гарриса [1] с воздействием водяного пара на древесный уголь в интервале температур 674 — 1125° указали на большое значение при взаимодействии углерода с водяным паром реакции $CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$ и сравнительную близость полученных составов газов к равновесным. В этих опытах равновесные соотношения по реакциям газов с углеродом не установились, и соотношение CO : CO_2 во всех случаях было значительно меньше равновесного.



9. Равновесные составы водяного газа при разных температурах по Юптнеру

Опыты Гарриса хорошо подтверждаются также опытами Терреса и соавторов [20].

Габер [15] при исследовании пламени бунзеновской горелки наблюдал, что состав газов холодной части пламени соответствует равновесию при значительно более высокой температуре, и заключает, что сравнительно быстрое установление равновесия в газах, получающихся при воздействии водяного пара на уголь, связано с присутствием раскаленного угля.

Опыты Клемента и Адамса [15] с воздействием водяного пара на каменноугольный кокс в интервале температур 800—1300° при продолжительности соприкосновения газов и кокса в 0,9—11 сек. не показали столь правильного установления равновесия водяного газа, как опыты Гарриса. В большинстве опытов величина K была значительно большей, чем должная.

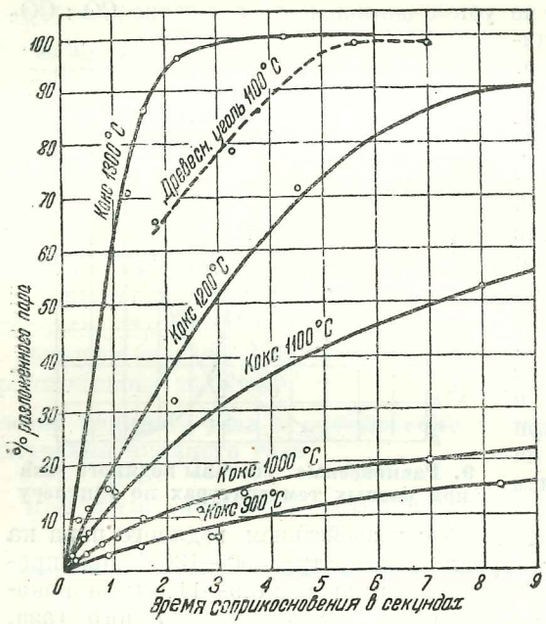
Скорость процесса разложения водяного пара углеродом в весьма сильной степени зависит от температуры, повышаясь с увеличением последней. Она также зависит от природы топлива, так как кокс различных топлив обладает различной реакционной способностью. Влияние температуры на интенсивность разложения водяного пара для каменноугольного и торфяного кокса и древесного угля видно из табл. 75, 77 и кривых рис. 10 и 11, построенных на основании исследований Клемента, Адамса и Хескенса и др. [4,13,20]. Как видно из кривых, с повышением температуры интенсивность разложения водяного пара растет, причем древесный уголь и торфяной кокс оказываются значительно более активным топливом, чем каменноугольный кокс.

Рамбушем [4] на основании исследований Клемента и Адамса (рис. 10, табл. 75) над разложением водяного пара раскаленным каменноугольным коксом при продолжительности соприкосновения от 1

В. И. Ленина

до 3 сек. (т. е. в пределах, приближающихся к условиям в газогенераторах) показано, что количество CO_2 в сухой смеси увеличивается с температурой и продолжительностью контакта между 900 и 1100° от 7 до 15%, после чего содержание ее быстро уменьшается, снижаясь почти до 0%; для 1200° это имеет место при контактах свыше 7 сек. и для 1300°—при самом коротком контакте (меньше 1 сек.).

Количество образующейся CO, наоборот, уменьшается с температурой и временем контакта между 900 и 1100° от 40 до 30%, после чего содержание ее быстро увеличивается до 50% и выше (для 1200° и более высоких температур).



10. Влияние температуры и продолжительности соприкосновения на разложение водяного пара коксом и древесным углем

Количество образующегося водорода увеличивается с температурой и временем контакта между 900 и 1100° примерно до 55%, но не так быстро, как соответственно изменяются CO_2 и CO, затем между 1100 и 1200° содержание водорода опять понижается.

Из этого делается вывод, что при температурах 900—1000° реакция (5) имеет большее развитие, чем реакция (4), протекающая с большей скоростью при температурах выше 1200°.

Из работ Клемента и Адамса также следует, что при температуре выше 1100° разложение CO_2 протекает в большей степени, чем разложение H_2O, а при температурах ниже 1100°—наоборот.

Хаслам, Гичкок и Рудэй [163] изучали газификацию угля по реакциям (А), (4), (5), (6) и пришли к следующим выводам.

1. При температурах много ниже 900° реакция (4) практически не протекает и при скорости реакции (5), равной 1, скорость реакции (А) равна 2. При температурах, значительно превышающих 900°, и скорости реакции (4), равной 1, скорость реакции (А) равна 2,18.

2. Отношение $\frac{CO}{CO_2}$ при 900—1200° регулируется главным образом количеством неразложенного пара. До содержания неразложившегося пара в 60% величина $\frac{CO}{CO_2}$ остается постоянной, после чего быстро

увеличивается. Степень разложения пара в свою очередь зависит от времени соприкосновения, температуры и поверхности углерода.

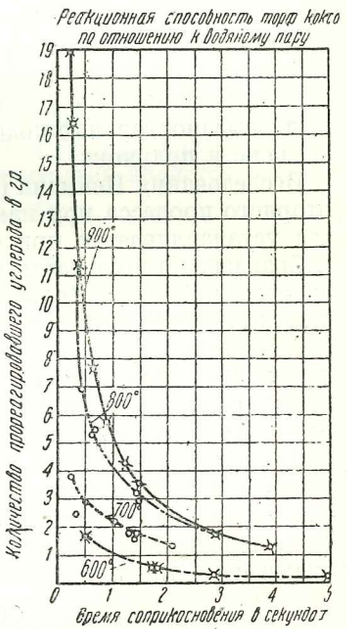
3. Реакция (6) не происходит в газовой фазе, а только в местах, где CO адсорбировано поверхностью углерода.

4. Возрастание давления (0,5—1,5 *ат*) практически не изменяет состава газа, но вызывает увеличение скорости образования газа. Производительность генератора может быть увеличена путем повышения давления, при котором он работает.

Серия исследований над воздействием водяного пара на кокс и полукокс бурого и каменного угля и древесный уголь была проведена Е. Терресом, Е. Патчеке, Г. Гофманом, С. Ковачем и О. Лером [20]. Кокс и полукокс приготовлялись в токе азота и обрабатывались до температуры коксования (400—1200°) водяным паром в смеси с азотом при насыщении последнего от 0 до 100%.

До 1200° при каменноугольном коксе и продолжительности соприкосновения кокса с паром в 10—118 сек. разложение пара, содержание CO и взаимодействие C значительно отставали от равновесных значений и показателей при древесном угле. С увеличением температуры коксования реакционная способность угля понижалась.

При коксе и полукоксе из бурого угля также не достигалось полного равновесия по реакциям газификации. С повышением температуры опыта, уменьшением количества и скорости пара росла степень разложения пара. С увеличением температуры коксования до 700° реакционная способность буроугольного кокса повышалась, а выше 700° понижалась, что объясняется соответствующими превращениями углеродистого вещества.



11. Влияние температуры и продолжительности соприкосновения на разложение водяного пара торфяным коксом

Равновесие реакции водяного газа $CO+H_2O \rightleftarrows CO_2+H_2$ для древесного угля и каменноугольного кокса устанавливалось при температурах выше 600° и особенно хорошо — выше 750°. При буроугольном коксе и полукоксе правильному установлению равновесия препятствовали побочные реакции.

Равновесие реакции $CO_2+C \rightleftarrows 2CO$ при опытах не достигалось и содержание CO было значительно ниже теоретического. При буроугольном полукоксе содержание CO находилось между соответствующими значениями для каменноугольного кокса и древесного угля и теоретическими.

Общее равновесие газификации связано с установлением двух частичных. Установление при опытах только одного из этих равнове-

сий — равновесия водяного газа ($CO+H_2O \rightleftarrows CO_2+H_2$) приводят авторов к выводу об одинаковом отставании от равновесия других реакций — разложения пара и углекислоты углеродом $\left(\frac{CO}{CO_2}=K\frac{H_2}{H_2O}\right)$.

Из этих данных и других исследований можно сделать вывод, что реакция $CO+H_2O \rightleftarrows CO_2+H_2$ в присутствии каталитически действующих поверхностей протекает легче, чем реакция $CO_2+C \rightleftarrows 2CO$, и равновесие по реакции водяного газа может быть достигнуто при сравнительно низких температурах, тогда как равновесие Будуара обычно не достигается вплоть до высоких температур.

Террес и соавторы располагают различные топлива в следующей последовательности по увеличению реакционной способности: графит, сажа, каменноугольные кокс и полукокс, древесный уголь, буроугольные кокс и полукокс.

Исследования Неймана (см. ниже) показали, что в условиях генераторного процесса при каменноугольном коксе равновесие водяного газа устанавливается при температурах выше 900—950°.

Сравнение результатов опытов Терреса с полученными в опытах Клемента и Адамса, Дольха, Дитцеля и Неймана, Крегера и Фингаза показало, что разложение пара вначале пропорционально продолжительности соприкосновения, по мере же приближения к условиям равновесия рост замедляется.

Вопрос о последовательности протекания реакций при процессе получения водяного газа не является достаточно установленным [20]. Часто при непродолжительном соприкосновении водяного пара и углерода получается много углекислоты. Является мало вероятной возможность ее получения за счет взаимодействия получаемой в качестве первичного продукта окиси углерода с водяным паром, протекающего с малой скоростью по реакции

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2.$$

Поэтому многие исследователи (Лонг, Лянг, Ле-Нобель, Брендер) принимают, что первичное взаимодействие протекает по реакции $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$ и что окись углерода получается в результате последующего восстановления углекислоты углеродом.

Это положение опровергается другими исследованиями, при которых даже при низких температурах получались большие количества окиси углерода. Такие результаты например дали опыты Гвоздья с искусственным углем при больших скоростях пара и малом его разложении (меньше 12%, иногда меньше 1%) и при температурах 560—830°.

Опыты, проведенные Гвоздьем [13] с воздействием при разных температурах водяного пара на ламповую сажу с содержанием золы в 0,1%, свидетельствуют о получении в интервале температур 560—830° газа с преимущественным содержанием CO и H_2 (при 560° состав газа: CO_2 — 8,6%, CO — 39,5%, H_2 — 40,8% и остаток — 11,9%; при 830°: CO_2 — 5,1%, CO — 41,6%, H_2 — 49,9% и остаток — 3,4%).

Опыты, проведенные тем же исследователем с воздействием водяного пара на древесный уголь с содержанием золы в 1,4% в интервале температур 560—790°, указывают на получение значительных количеств CO_2 (при 570°: CO_2 — 28,7%, CO — 7,3%, H_2 — 62,2% и остаток — 4,8%; при 790°: CO_2 — 17,3%, CO_2 — 23,3%, H_2 — 54,2% и остаток — 5,2%). На основании своих исследований Гвоздь делает вывод о протекании при взаимодействии водяного пара с углеродом первоначальной реакции:

$$C + H_2O = CO + H_2$$

и о каталитическом воздействии зольных элементов топлива на реакцию:

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2.$$

На основании своих опытов по изучению взаимодействия водяного пара с каменноугольным коксом Террес [20] и др. приходят к выводу, что первичной реакцией образования водяного газа является реакция

$$C + H_2O = CO + H_2.$$

Эта реакция протекает или исключительно или в большей степени. Приближение, во всяком случае вначале, составов газов к равновесному по уравнению водяного газа свидетельствует о том, что реакция $C + CO_2 = 2CO$ не может являться основной вторичной реакцией.

Этот вывод основан на отклонениях в составе газов, полученных при опытах, от теоретического, соответствующего равновесному состоянию. Особенно значительно это отклонение при каменном угле.

Аналогичные результаты дают опыты Клемента и Адамса по разложению водяного пара каменноугольным коксом.

Клемент и Адамс [20] делают из своих опытов вывод, что в условиях генераторного процесса протекают обе реакции (4) и (5), хотя преимущественно протекает реакция (4).

Часто принимают одновременное первичное образование CO_2 и CO и последующее изменение состава получаемых продуктов по реакции водяного газа.

М. Дольх и Дитцель [20] считают, что структура углерода влияет на первичное образование CO и CO_2; при буром угле получается CO_2, а при каменном — CO.

Установлению равновесия водяного газа благоприятствует присутствие солей и окислов металлов: железа, натрия, калия, алюминия и др., а также золы и углерода топлива.

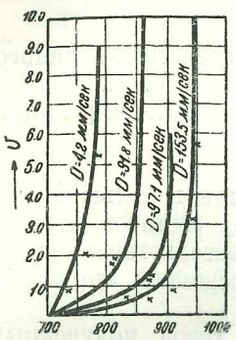
Помимо указанных опытов Гвоздья следует отметить и опыты Кобба и Пекстона.

Согласно исследованиям Кобба и Пекстона [161], наиболее сильное влияние оказывают Na_2CO_3, CaO и Fe_2O_3. При подаче пара в количестве 10 *л/час* при чистом коксе, коксе с добавкой CaO, Fe_2O_3 и Na_2CO_3 в количестве 5% количество разложенного пара составляло соответственно 61, 82, 91 и 98%.

Процент разложенного пара сильно возрастает с температурой, причем разница во влиянии различных добавок становится менее резкой:

		% разложенного пара; кокс с добавкой Na_2CO_3	Fe_2O_3
При	600° С	21,5	3,0
»	700° С	53,9	7,8
»	1000° С	99,9	91,4

Согласно другой работе Кобба (158), при температуре 800° и подаче пара в количестве 10 *г/час* на 10 *г* кокса, в час газифицировалось 0,9 *г* и полученный газ содержал 18% CO_2. При добавлении 5% Na_2CO_3 газифицировалось 5,8 *г/час* и газ содержал только 4,7% CO_2, т. е. при увеличении скорости газификации в 6 раз содержание CO_2 в газе уменьшилось в 10 раз. Работой Фокса и Уайта установлено, что каталитическое воздействие Na_2CO_3 обусловливается реакциями восстановления Na_2CO_3 углеродом до металлического натрия и последующего превращения его в карбонат при действии пара или углекислоты (165).



12. Влияние скорости пара на степень его разложения при разных температурах (t° С)

Давление, при котором протекает реакция получения водяного газа, влияет таким образом, что с увеличением его уменьшается количество разложившегося водяного пара или же для сохранения количества разложившегося пара требуется повышение температуры. Заметное влияние может иметь давление лишь при величине его в несколько атмосфер.

Большое значение имеет скорость пара. Из опытов Штрахе и Ягоды (11) может быть установлена следующая зависимость процесса от скорости пара:

$$v = 5\delta + (\delta\tau^2)^5,$$

где v — отношение количества разложенного пара к неразложенному,

$$\tau = \frac{t - 700}{100},$$

$$\delta = \frac{\tau^2}{D \cdot 0,138},$$

где t — средняя температура в генераторе,

D — скорость пара в *мм/сек*, подсчитанная на свободное сечение генератора.

Формула пригодна для температур (t) больше 700°.

Влияние скорости пара на степень его разложения видно из рис. 12.

Расчеты к процессу получения водяного газа

Как уже указывалось, при получении водяного газа тепло, затрачиваемое на разложение водяного пара в период парового дутья, возмещается в период воздушного дутья.

В период воздушного дутья в генераторах для водяного газа протекают те же реакции (А, Б, В, Г), что и при получении обыкновенного воздушного газа.

Если при получении генераторного газа желательно получение CO и нежелательно образование CO_2, то в данном случае стремление обратное — получить максимальное содержание CO_2 и следовательно максимальное выделение тепла в самом генераторе для подогрева слоя топлива [на единицу С по реакции (Б) выделяется в три с лишним раза больше тепла, чем по реакции (В)]. Согласно условиям равновесия системы:

$$C + CO_2 \rightleftarrows 2CO,$$

больше CO_2 получается при низких температурах, однако, так как для интенсивного разложения H_2O желательны более высокие температуры, поддерживаются средние температуры слоя.

Коэфициент полезного действия процесса воздушного дутья N может быть определен из выражения (11):

$$N = \frac{\text{воспринятое слоем тепло} \times 100}{7944^* \times \text{количество сожженного С}}\,\%.$$

Если пренебречь потерями и принять, что количество образовавшейся CO_2 равно a% и CO (по предыдущему) равно 34,7 — 1,65 a, а также учесть, что при образовании 1 *кг-мол* CO_2 выделяется 95 328 *кал* и при образовании 1 *кг-мол* CO выделяется $\frac{55\,256}{2}$ *кал*, то количество выделившегося тепла составит:

$$a \cdot 95\,328 + (34,7 - 1,65\,a) \cdot \frac{55\,256}{2} = 959\,000 + 49\,730\,a,$$

или на 1 $м^3$ газа:

$$\frac{959\,000 + 49\,730\,a}{22,4 \cdot 100} = 428 + 22,2\,a \text{ кал}.$$

Согласно предыдущим расчетам, на L $м^3$ воздуха получается воздушного газа:

$$L = \frac{100}{0,827\,(a + 100)}\ м^3,$$

и количество выделившегося тепла составляет:

$$\frac{42\,800 + 2\,220}{0,827\,(a + 100)}\ кал.$$

Значительная часть выделяющегося при воздушном дутье тепла уносится из генератора с отходящими газами. При опытах Штрахе при температурах в генераторе от 800 до 1200° температура отходящих газов t_1 была примерно равной:

$$t_1 = 1,95t - 1330,$$

где t — средняя температура в генераторе.

* $\frac{95\,328}{12} = 7\,944.$

Указанные опыты производились в условиях подачи воздуха снизу, а пара — сверху.

По Штрахе потеря тепла с газами воздушного дутья соответственно температуре их t_1 составляет:

$$Lt_1 \frac{a\,(0{,}086 + 0{,}000347\ t_1) + 30{,}69}{0{,}827\ (a + 100)}.$$

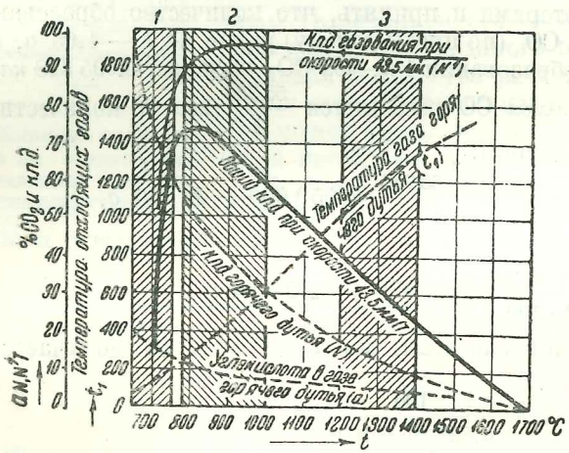
Углерод, сожженный на L $м^3$ воздуха, по предыдущему равен:

$$C = L\,\frac{18{,}6 - 0{,}348\,a}{0{,}827\,(a + 100)}.$$

Таким образом к.п.д. периода воздушного дутья, если пренебречь другими потерями, помимо потери с отходящими газами, составляет:

$$N = \frac{42\,800 + 2\,270\,a - t_1\ [a\,(0{,}086 + 0{,}000347\,t_1) + 30{,}69]}{(18{,}6 - 0{,}348\,a)\ 7944}.$$

Пунктирная кривая N на рис. 13 показывает, что при температуре 650° к.п.д. составляет больше 95% и быстро падает с повышением температуры отходящих газов, достигая 0 при 1700° (к. п.д. подсчитан для каждой отдельной температуры процесса).



13. Характеристика и к.п.д. различных процессов получения водяного газа

Согласно данным Дельвига, при увеличении интенсивности дутья содержание CO_2 увеличивается. Штрахе полагает, что это является заблуждением, так как согласно опытам, произведенным Штрахе и Ягодой, при максимальных применимых скоростях — до 4 *м/сек* (считая на все сечение генератора) — содержание CO_2 не увеличивается [11].

Штрахе считает, что получение большого количества CO_2 могло иметь место лишь при низких температурах в генераторе, не выгодных для получения водяного газа в силу малой интенсивности разложения водяного пара или же необходимости подачи пара с очень малой скоростью.

Кроме того Штрахе отмечает, что с увеличением скорости газов таковые малое время соприкасаются со свежезаброшенным холодным топливом, в результате чего использование теплосодержания газов ухудшается.

Штрахе рекомендует вести процесс получения водяного газа при более высоких температурах, при которых к. п. д. процесса еще достаточно высок, содержание CO_2 в отходящих газах составляет 7—12% и в условиях практически пригодной скорости пара имеет место достаточное разложение пара.

В старых опытах Гумфрея и Глазгофа процесс получения водяного газа проводился при очень высоких температурах. На рис. 13 разграничены области, соответствующие опытам по Дельвигу, Штрахе и Гумфрею. Цифрой *1* помечена область, соответствующая опытам Дельвига, цифрой *2* — опытам Штрахе и цифрой *3* — опытам Гумфрея.

Указанные уже более поздние опыты, проведенные Оргхимом (табл. 11), подтверждают данные об увеличении содержания в газе углекислоты с увеличением интенсивности дутья.

Охлаждение генератора в период парового дутья вызывается эндотермическим процессом образования водяного газа, уносом тепла (физического) газами и потерями генератора в окружающую среду.

Если обозначить через A полное охлаждение генератора на 1 $м^3$ водяного пара, через B — тепло образования 1 $м^3$ водяного газа, через E — теплосодержание 1 $м^3$ водяного газа и приходящейся на его долю влаги, через s — потерю в окружающую среду в 1 мин. и через g — количество в $м^3$ водяного газа, полученного в 1 мин., то

$$A = B + E + \frac{s}{g}.$$

Тепло образования водяного газа B зависит от содержания CO_2 в газе. На 1 часть CO_2 образуется 2 части H_2, т. е. всего 3 части газа; остаток же состоит из смеси равных объемов CO и H_2, т. е. при содержании CO_2 в c частей в газе дополнительно должно иметься:

$$\frac{100 - 3c}{2}\ \text{частей CO}$$

и столько же H_2, и состав газа является следующим:

$$CO_2 — c\ \text{частей};$$

$$CO — (50 — 1{,}5\ c)\ \text{частей}$$

$$\text{и } H_2 — (50 — 1{,}5\,c + 2c) = (50 + 0{,}5\,c)\ \text{частей};$$

в сумме — 100 частей.

Потребление тепла при образовании c% CO_2 равно:

$$\frac{c}{100} \cdot 20\,274\ кал$$

и по реакции образования CO равно:

$$\frac{50 - 1{,}5\,c}{100} \cdot 30\,173 = (15\,080 - 452\,c)\ кал.$$

Полное потребление тепла, считая на 1 $м^3$ полученного газа, равно:

$$\frac{15\,080 - 452\,c + 203\,c}{22{,}4} = (673 - 11\,c)\ кал.$$

Что касается величины $\frac{s}{g}$, определяющей потерю в окружающую среду, то она в значительной мере зависит от интенсивности работы генератора.

Теплотворная способность полученного газа, считая по низшему пределу (CO — 3 021 $кал/м^3$; H_2 — 2 579 $кал/м^3$), равна:

$$Q = \frac{50 - 1{,}5\,c}{100} \cdot 3\,021 + \frac{50 + 0{,}5\,c}{100} \cdot 2\,579 =$$

$$= (2\,800 - 32{,}4\,c)\ кал/м^3$$

К.п.д. периода газования N^1 получим как частное от деления значения теплотворной способности газа на сумму теплотворной способности прогазифицированного углерода (7 944 c^1) и тепла A, отданного слоем, т. е.

$$N^1 = \frac{Q}{c^1 \cdot 7\,944 + A}\ 100\%.$$

Учитывая содержание в 1 $м^3$ CO_2 или CO углерода в количестве 0,536 $кг$, количество прогазифицированного углерода получаем равным:

$$c^1 = \left(\frac{c}{100} + \frac{50 - 1{,}5\,c}{100}\right) \cdot 0{,}536 = \frac{50 - 0{,}5\,c}{100} \cdot 0{,}536\ кг.$$

На рис. 13 значения к.п.д. периода газования представлены в виде кривой N^1.

Из рисунка видно, что это значение быстро растет при температурах 700—800°, достигает наивысшего значения в 95% и при более высоких температурах несколько падает.

Быстрое падение к. п. д. при низких температурах является следствием того, что большое количество пара проходит слой неразложенным. При высоких температурах к. п. д. несколько понижается вследствие увеличения теплосодержания газов, что для периода газования особого практического значения не имеет.

К.п.д. повышается при применении перегретого пара.

Общий эффект получения водяного газа зависит также от периода воздушного дутья. Если обозначить к. п. д. периода воздушного дутья через N, то расход тепла в этот период составит:

$$\frac{A}{N} \cdot 100$$

и общий к.п.д. будет равен:

$$T = \frac{Q}{c^1\,7\,944 + \frac{A}{N} \cdot 100}$$

Величина A, а следовательно и T в значительной мере зависит от теплосодержания газов горячего дутья и к.п.д. этого периода.

Кривая T (общий к.п.д.) на рис. 13 относится к случаю скорости пара в 43,5 $мм/сек$.

Общий к.п.д. равен нулю при понижении до нуля к.п.д. газификации, вследствие низкой температуры слоя, так как при этом водяного газа не образуется. Он также равен нулю при к.п.д. периода воздушного дутья, равном нулю, так как при этом в слое не аккумулируется тепло. Это может быть в случае, если температура газов составит 1 700° и газы унесут все тепло из генератора.

В интервале температур 750—1000° общий к.п.д. достигает наивысшего значения (максимум 73%).

Содержание CO_2 (кривая a) в продуктах горячего дутья, соответствующее интервалу температур 750—1000°, равно 7—14%.

В конечном итоге к.п.д. получения водяного газа и выходы последнего зависят от температур, при которых протекают процессы, и от скорости пара.

6. ПОЛУЧЕНИЕ СМЕШАННОГО ГАЗА

Как уже указывалось, развивающиеся в генераторе температуры могут быть и бывают очень высокими (1200—1600°).

В нижней части генератора невыгодно иметь при получении воздушного генераторного газа низкую температуру, так как при этом замедляются реакции получения окиси углерода, но также невыгодно иметь и слишком высокие температуры, так как в этом случае газ, отводимый из генератора, имеет высокую температуру, что вызывает большие потери тепла в газопроводе и увеличение потери в окружающую среду самим генератором.

Вообще физическое тепло газа не всегда может быть использовано, и обыкновенно является целесообразным получение газа с повышенной теплотворной способностью и малой температурой.

Важным, а иногда и превалирующим фактором, вынуждающим к понижению температуры в генераторе, является также плавление золы и шлакообразование, препятствующие равномерному распределению воздуха и вызывающие большую потерю горючего в шлаке.

Для понижения температуры в нижних слоях генератора, служащего для получения смешанного газа, к подаваемому в генератор первичному воздуху примешивают водяной пар. Благодаря взаимодействию пара с раскаленным углеродом и получению водяного газа, которые сопровождаются поглощением тепла, понижаются температуры в генераторе. При этом шлакообразование уменьшается, температура газа понижается и теплотворная способность газа возрастает.

Газ, получаемый при введении паровоздушного дутья, называется с м е ш а н н ы м.

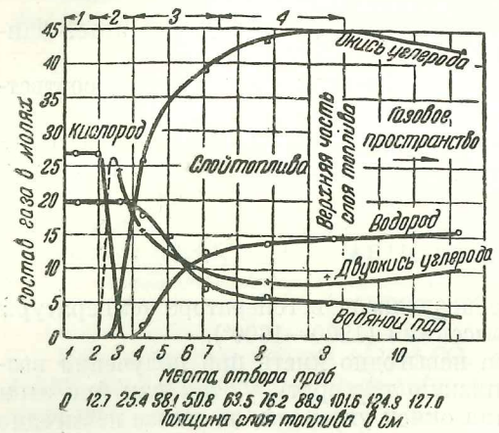
При этом процессе имеют место одновременно реакции получения воздушного и водяного газов.

Исследования процесса получения смешанного газа

Хаслам и Руссель [3] в соответствии с некоторыми исследованиями, предпринятыми для выяснения места и характера прохождения реакций в слое топлива (кокса) в генераторе, дают следующие объяснения процессам, происходящим в генераторе при получении смешанного газа (рис. 14).

Входящая в генераторы смесь пара и воздуха проходит через слой золы, несколько нагреваясь и не меняясь в составе. При попадании смеси в зону раскаленного угля начинаются реакции горения углерода и получения генераторного газа. Кислород полностью потребляется на высоте 75—100 *мм*, и количество CO_2 возрастает соответственно реакции:

$$C + O_2 = CO_2 + 95\,328 \text{ кал}.$$



14. Характеристика процесса получения смешанного газа:

1—зольная зона *2*—окислительная зона, *3*—первичная восстановительная зона, *4*—вторичная восстановительная зона

В зоне горения выделяются большие количества тепла, и она является самой горячей зоной генератора.

В дальнейшем, по мере движения вверх, после достижения максимального содержания CO_2, количество его постепенно падает. Образования CO в сколько-нибудь значительном размере не замечается до исчезновения кислорода и до достижения максимума CO_2. По исчезновении свободного кислорода начинает быстро образовываться окись углерода, и на протяжении 300 *мм* по высоте слоя топлива наблюдается увеличение ее содержания. Водяной пар также начинает разлагаться после исчезновения свободного кислорода, причем сначала содержание водорода быстро возрастает.

Выше зоны горения находится восстановительная зона, где происходят восстановление углекислоты в окись углерода и разложение водяного пара с образованием водорода. В этой зоне идут следующие реакции:

$$C + CO_2 = 2CO - 40\,072 \text{ кал} \quad (A)$$

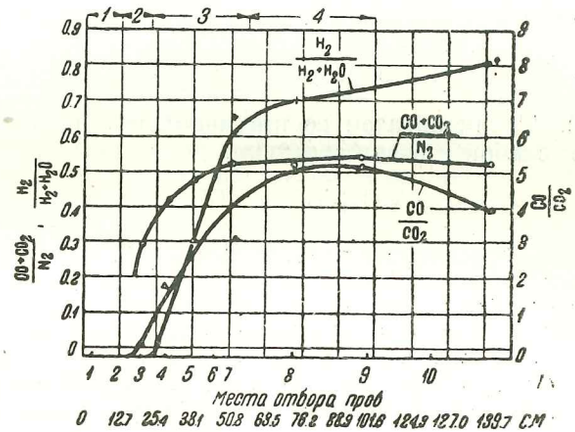
$$C + H_2O = CO + H_2 - 30\,173 \text{ кал} \quad (4)$$

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2 - 20\,274 \text{ кал} \quad (5)$$

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 + 9\,899 \text{ кал} \quad (6)$$

Рассмотрение этих реакций показывает, что при увеличении количества разлагаемого пара за счет реакций (4) и (5), т. е. с увеличением

отношения $\frac{H_2}{H_2O + H_2}$ должно расти содержание в газе углекислоты и окиси углерода и следовательно увеличиваться отношение $\frac{CO + CO_2}{N_2}$. Одновременно идет увеличение отношения $\frac{CO}{CO_2}$ благодаря реакции (А), а также вследствие соответствующего соотношения протекания реакций (4) и (5).



15. Изменение характеристических соотношений в слое топлива:

1—зольная зона, *2*—окислительная зона, *3*—первичная восстановительная зона, *4*—вторичная восстановительная зона

Кривые рис. 15 показывают, как изменяются эти соотношения по мере прохождения газов через слой топлива. Все три указанные соотношения:

$$\frac{(CO + CO_2)}{N_2}; \quad \frac{CO}{CO_2} \text{ и } \frac{H_2}{(H_2 + H_2O)}$$

интенсивно возрастают на протяжении некоторого расстояния от зоны восстановления. В этой части восстановительной зоны, имеющей небольшую высоту и могущей быть названной первичной восстановительной зоной, протекают реакции:

$$C + CO_2 = 2CO \quad (A)$$

$$C + H_2O = CO + H_2 \quad (4)$$

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2 \quad (5)$$

В 12 случаях наблюдения, при которых интенсивность газификации колебалась в пределах 40—300 *кг* топлива на 1 $м^2$ решетки в час,

а толщина слоя топлива менялась от 0,5 до 1,5 *м*, высота первичной восстановительной зоны не превышала 350 *мм*.

Выше первичной восстановительной зоны продолжает увеличиваться отношение $\frac{H_2}{H_2 + H_2O}$ при мало изменяющемся отношении $\frac{CO + CO_2}{N_2}$, что свидетельствует о взаимодействии водяного пара с углеродом по реакции (6). Кроме того выше первичной зоны имеет место некоторое увеличение отношения $\frac{CO}{CO_2}$ при почти неизменном отношении $\frac{CO + CO_2}{N_2}$, что является признаком протекания также реакции (А). Таким образом во вторичной реакционной зоне протекают, но в слабой степени, реакции:

$$C + CO_2 = 2CO \qquad (A)$$

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 \qquad (6)$$

Хаслам и Руссель считают, что основная функция вторичной восстановительной зоны — это роль теплообменника, в котором поднимающиеся газы отдают часть тепла топливу, постепенно опускающемуся в первичную реакционную зону. Благодаря передаче тепла поднимается температура первичной зоны и увеличивается количество разлагаемого пара и восстанавливающейся углекислоты.

Данные, приводимые Хасламом и Русселем в отношении состава газа в окислительной зоне (отсутствие значительного содержания CO), не подтверждаются данными других исследований.

Данные Неймана ([15]), приведенные в табл. 10 и полученные при наблюдениях над опытным газогенератором, показывают, что при высокой температуре раскаленной зоны хороший состав газа устанавливается очень быстро, что при малой нагрузке генератора, даже в условиях отсутствия добавки пара, вследствие относительно малой температуры раскаленной зоны состав газа ухудшается, и в газе наряду с окисью углерода во всех слоях имеется значительное содержание углекислоты, что сильное снижение температуры раскаленной зоны вследствие большой добавки пара весьма значительно ухудшает процесс, что восстановление углекислоты и разложение водяного пара продолжаются и в более высоких слоях топлива и что преимущественное значение имеет состав газа, полученный в низших слоях топлива.

Нейманом ([155]) было доказано быстрое установление равновесия водяного газа при паровоздушном дутье в интервале температур 1000—1200° и выше, что свидетельствует о том, что реакция водяного газа имеет для процесса газификации большее значение, чем взаимодействие углерода с газами.

При низкой температуре реакционной зоны количество неразложенного водяного пара является большим. С понижением температуры газа (в верхних слоях) состав газа очень незначительно

меняется и ниже 900° очень далек уже от равновесных соотношений, что характеризуется показателями одного из опытов.

1240° C	$K_{факт}$	1,93	$K_{теор}$	2 79
1090° C	»	1,86	»	1,95
940° C	»	2,48	»	1,40
760° C	»	2,41	»	0,78
470° C	»	2,06	»	—

Восстановление углекислоты углеродом замедляется с падением температуры, почти останавливаясь при 800°. Разложение водяного пара по реакции (5) идет при температурах и ниже 800°.

Аналогичные опыты Вендта ([17]) (табл. 12) показывают, что при подводе пара (опыты, помеченные цифрой II) и понижении температуры реакционной зоны содержание CO_2 достигает своего минимального значения (значительно большего, чем в случае воздушного дутья) на высоте в 0,75 *м*. Содержание водорода сильно возрастает до высоты 1 *м*, что свидетельствует о том, что разложение водяного пара продолжается в верхних слоях топлива.

Зона сухой перегонки опускается ниже, чем в случае воздушного дутья; метан в количестве 0,4% появляется уже на высоте 250 *мм*.

Исследования К. Неймана, как и других исследователей, охватывают область газификации при скоростях дутья, не превышающих 0,24 *м/сек* (отнесено к полному сечению генератора и 0°). Повышение степени разложения водяного пара и углекислоты объясняется ими преимущественно повышением температуры зон.

Гроздовским и Чухановым ([98]) в Институте азота были проведены исследования газификации на паровоздушном и парокислородном дутье. Изучение велось в кварцевых трубках с площадью сечения в 3,0 *см*^{2}, снабженных электрическим подогревом. Пробы газов брались на различных высотах слоя через отводы, охлаждавшиеся водой. Топливом служили активированный древесный уголь и газовый кокс с размерами частиц от 2 до 4 *мм*. Высота слоя составляла 500 *мм*. Количество выгоревшего топлива определялось взвешиванием. Дутье подавалось сверху вниз во избежание выноса топлива с газами. Температура топлива в кварцевой трубке и подаваемого дутья поддерживалась в пределах 500—600°, температура реакционной зоны, имевшей небольшую высоту (меньше 10 *мм*), составляла 1000 — 1100°.

В опытах с паровоздушным дутьем содержание водяного пара в дутье составляло 13—14 объемных процентов и количество вводимой влаги 0,4—0,45 *кг* на 1 *кг* топлива. Скорости дутья (на холодное дутье и свободное сечение) доходили до 1,4 *м/сек*. При древесном угле в полученном газе O_2 почти отсутствует и с увеличением скорости дутья содержание CO_2 снижается до 2%, соответственно возрастает CO, с весьма незначительным подъемом H_2 доходит до 9% и с более крутым подъемом, чем H_2, но меньшим, чем CO степень разложения H_2O возрастает при 1,4 *м/сек* до 75%. Несмотря на превышение скоростей сравнительно с обычным в 5—6 раз, отношение CO к CO_2, быстро поднявшись при скорости около 0,25 *м/сек*, продолжает непре-

рывно расти, а отношение $\frac{H_2}{H_2O + H_2}$, возросшее при этой же скорости, также медленно растет. Анализ проб газа при скорости дутья в 1 *м/сек* показал, что состав газа по высоте почти не меняется. Полное расходование O_2 и падение содержания CO_2 совпадает с ростом CO и H_2. Разложение пара происходит одновременно с другими реакциями в одной зоне, имеющей малую высоту, и в чрезвычайно непродолжительное время. По мере увеличения содержания в дутье водяного пара степень разложения его снижается.

При переходе на газовый кокс и работе с большой скоростью (1,4 *м/сек*) наблюдалось меньшее содержание в газе окиси углерода и меньшее разложение водяного пара сравнительно с наблюденными при древесном угле.

В опытах с парокислородным дутьем так же, как это наблюдалось при сухом дутье, при больших скоростях повышение содержания в дутье кислорода обусловливает значительную интенсификацию процесса как для древесного угля, так и для кокса с соответствующим уменьшением содержания в газе из кокса CO и H_2 и увеличением содержания H_2O.

Приведенное и другие исследования авторов, подтверждающие значение активности топлива для разложения водяного пара в противоположность другим исследованиям, выдвигают положение, что при больших скоростях дутья разложение пара в присутствии кислорода происходит в одной реакционной зоне малой высоты и со значительно большей скоростью, чем в обычных условиях, т. е. что реакция $C + H_2O + O_2$ кинетически совершенно отлична от реакции $C + H_2O$.

Это обосновывается авторами исследования предположением, что при взаимодействии углерода с кислородом обнажаются ненасыщенные атомы его кристаллической решетки, обладающие достаточной энергией для образования большого количества первичной окиси углерода и для быстрого разложения водяного пара.

Лабораторные исследования подтвердились опытами и доказали практическую возможность высокоскоростной газификации на моделях газогенераторов. Газифицировалось кусковое топливо и брикеты. Кусковое топливо газифицировалось в цилиндрической шахте, в которую сверху поступало топливо, а снизу подводилось дутье. Газ отводился на высоте около 400 *мм*. Шахта имела диаметр 200 *мм*; в некоторых опытах — 400 *мм*. Газифицировались коксик, антрацит, торф и подмосковный уголь с размером частиц 10—60 *мм*. Скорости дутья менялись от 0,2 до 5,0 *м/сек*; в основном работа велась при скоростях более 1,0 *м/сек*. Начиная с 2,0 и до 5,0 *м/сек* состав газа улучшался незначительно.

При работе на коксике и напряжении 2—6 *т/м²час* получался газ следующего состава: CO_2 — 6,6%; O_2 — 0,2%; CO — 26,4%; H_2 — 6,4%; CH_4 — 0,3%; при работе на антраците и напряжении 2,0 *т/м²час*: CO_2 — 7,1%; O_2 — 0,6%; CO — 23,4%; H_2 — 5,1%; CH_4 — 0,01%; при работе на смеси подмосковного угля и коксика (1 : 1) и напряжении 4—12 *т/м²час*: CO_2 — 7,6%; O_2 — 0,4%; CO — 24,0%; H_2 — 3,6%; CH_4 — 0,7%; при работе на подмосковном угле и напряжении 4,0 *т/м²час*: CO_2 — 10,0%; O_2 — 0,4%; CO — 23,0%; H_2 — 17,0%; CH_4 — 0,6%; при работе на торфе и напряжении 4,0 *т/м²час*: CO_2 — 10,0%; O_2 — 0,3%; CO — 20,0%; H_2 — 14,0%; CH_4 — 0,3%.

Газификация брикетов производилась в модели, не имеющей шахты. Газификация происходила на торцовой поверхности брикета, подаваемого навстречу обогащенному кислородом воздуху. Газ непосредственно удалялся через газоход, а зола падала в зольник. Брикеты изготовлялись из мелочи и пыли подмосковного угля и торфа. Скорость дутья составляла около 400 *м/сек*, что соответствовало при 60%-ном кислороде около 1000 *т/м² час* на сечение струи или 50 *т/м² час* — на поверхность брикетов. Получался газ следующего состава: CO_2 — 15,0%; O_2 — 0,3%; CO — 35,0%; H_2 — 21,0%; CH_4 — 0,5%. При работе на 95%-ном кислороде напряжение составляло при той же скорости струи: 1500 *т/м² час* на сечение струи или 70—75 *т/м² час* на поверхность брикета. Получался газ состава: CO_2 — 12,5%; O_2 — 0,3%; CO — 50,0%; H_2 — 30,0%; CH_4 — 0,3% [161].

Расчет количества разлагаемого пара и состава газа

Приводимые ниже расчеты дают представление о количествах водяного пара, могущего быть разложенным при получении смешанного газа.

По равенству

$$C + H_2O = CO + H_2 \qquad (4)$$

на 1 атом углерода расходуется 30 175 *кал* и по равенству:

$$C + \frac{1}{2}O_2 + \frac{79}{2 \cdot 21}N_2 = CO + \frac{79}{2 \cdot 21}N_2 \qquad (3)$$

на 1 атом углерода выделяется 27 628 *кал*.

Если принять количество углерода, реагирующего по реакции (3), равным 1 атому, а по реакции (4) — равным x атомов, температуру газа, выходящего из генератора,—равной 700°, теплоемкость газа—равной 0,32 и потерю тепла в окружающую среду — составляющей 5% от теплотворной способности топлива, то получим:

1. Теплосодержание газов, выходящих из генератора, равно:

$$0{,}32\left(22{,}4 + \frac{79}{42} \cdot 22{,}4 + 2 \cdot 22{,}4\ x\right) \cdot 700 = (14\,420 + 10\,000\,x)\ кал.$$

2. Количество тепла, затрачиваемое по реакции (4), равно 30 173 x *кал*.

3. Количество углерода, прореагировавшего по обеим реакциям, равно $(1 + x)$ атомов.

4. Потеря тепла в окружающую среду равна:

$$0{,}05 \cdot 95\,328\ (1 + x) = 4\,760 + 4\,760\ x\ кал.$$

5. Количество тепла, выделяемого по реакции (3), равно 27 628 *кал*.

6. Равенство количества тепла, выделившегося по реакции (3) и израсходованного на реакцию (4), на покрытие потерь в окружающую среду и на нагрев газа до 700°, дает:

$$27\,628 = (14\,420 + 10\,000\,x) + 30\,173\,x + (4\,760 + 4\,760\,x),$$

откуда $x = 0{,}19$ атома.

7. Весовое соотношение пара и углерода, реагирующего по обеим реакциям, равно:

$$18x : 12(1 + x) = 0{,}24 \ кг/кг.$$

Состав газа, который получился бы по приведенному расчету, определяется по табл. 16.

Теплотворная способность этого газа: высшая — 1 283 *кал/м³* и низшая — 1 255 *кал/м³*. Выход газа на 1 *кг* углерода:

$$\frac{73{,}2}{12 \cdot 1{,}19} = 5{,}13 \ м^3.$$

К. п. д. без учета теплосодержания пара или затраты тепла на его получение составляет:

$$\frac{1\,255 \cdot 5{,}13}{7\,944} \cdot 100 = 81\%.$$

Таблица 16

Состав газа

Наименование газа	Реакция 4 $м^3$	Реакция 3 $м^3$	Всего $м^3$	В %
CO	4,3	22,4	26,7	36,5
H_2	4,3	—	4,3	5,9
N_2	—	42,2	42,2	57,6
	8,6	64,6	73,2	100,0

Наряду с реакцией взаимодействия углерода с водяным паром по реакции (4) имеет место в генераторах и реакция:

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2 - 20\,274 \ кал, \qquad (5)$$

протекающая при достаточно высоких температурах лишь в незначительной степени. Если бы разложение водяного пара шло целиком по этой реакции, то при тех же допущениях, что и в предыдущем расчете, весовое соотношение количеств пара и углерода, реагирующих по обеим реакциям, получилось бы вдвое бóльшим.

Приведенные примеры служат лишь для выяснения приблизительных соотношений количеств газифицируемого углерода по процессам воздушного и водяного газов, количества разлагаемого пара и примерного состава получаемого газа. В действительности часть водяного пара проходит неразложенной, реакции (4) и (5) протекают одновременно, и часть углерода сгорает в углекислоту. Такое же значение имеют и приводимые в дальнейшем аналогичные примеры.

Соображения о ходе и ведении процесса получения смешанного газа

В реакционной зоне генераторов обычно температуры достаточно высоки, разложение водяного пара идет преимущественно по реакции (4) и желательное количество добавляемого водяного пара не должно значительно превышать 0,3—0,35 *кг* на 1 *кг* углерода.

Из описанных выше опытов следует, что добавка пара к дутью не должна превышать определенного предела во избежание излишнего понижения температуры реакционной зоны, результатом чего является недостаточное разложение углекислоты и водяного пара.

Обстоятельства впрочем иногда вынуждают это делать. Например при легкоплавкости золы, т. е. низкой температуре ее плавления, приходится сильно понижать введением пара температуру, чтобы не было слишком сильного шлакования. Такой случай может быть также при обслуживании генератора инжектором — прибором, в котором воздух для газификации засасывается паром. Так как инжектор плохо поддается регулировке, то на его работу может затрачиваться много пара.

В случае добавки большего количества водяного пара он разлагается за счет сгорания углерода в углекислоту, а в случае добавки очень большого количества водяного пара температура слоя сильно падает, и значительная часть водяного пара проходит слой неразложенной. При этом в большей степени протекает реакция (5) разложения водяного пара с образованием углекислоты.

Опыты Боне и Уиллера ([1]), производивших исследования влияния на процесс газификации добавки пара (табл. 68), ясно указывают на ухудшение качества газа, уменьшение количества разложенного пара и понижение к. п. д. газификации при чрезмерном увеличении количества подаваемого пара.

Приведенные выше расчеты могут также объяснить и причину повышения количества разлагаемого водяного пара в генераторах со швельшахтами. В последних имеется высокий слой топлива, значительная часть которого имеет низкую температуру, что способствует протеканию реакции (5):

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2,$$

идущей с затратой большего количества влаги, и реакции (6):

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2.$$

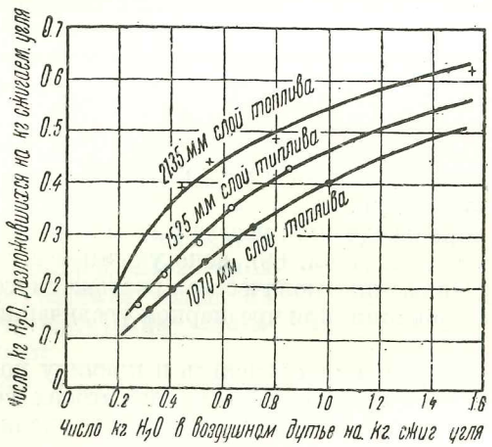
Если обратить внимание на анализы газа из подобных генераторов, то в них оказывается значительное содержание CO_2 наряду с большим содержанием H_2 и высокой степенью разложения водяного пара.

Теоретический состав смешанного газа можно определить, если известны условия протекания процесса газификации (температура, давление, соотношение между количествами вводимых воздуха и пара), исходя из значений констант равновесия реакций.

Соображения, приведенные в разделах о воздушном и водяном газах, относительно условий, благоприятствующих газификации в отношении температур и высоты реакционной зоны, а также интенсивности газификации (скорость газового потока), применимы и к смешанному газу.

Соотношение отдельных составных частей генераторного газа зависит преимущественно от температуры газификации.

Однако, для того чтобы равновесие установилось, газы должны достаточное время обтекать раскаленный углерод, и таким образом для ведения генераторного процесса имеют значение три фактора: температура, скорость газа в слое топлива и высота слоя. При изменении одного из этих факторов меняются состав и температура газа, и поэтому скорость газов при всех условиях должна соответствовать температурам в генераторе и быть связанной с высотой слоя. Увеличение производительности генератора, повышение количества вдуваемых воздуха и пара, а следовательно увеличение скорости их, должны быть связаны с повышением температуры или увеличением слоя топлива. Однако это имеет пределы, вызываемые увеличением шлакования, трудностью шуровки и сопротивлением слоя.



16. Зависимость разложения водяного пара от количества пара и высоты слоя.

Газификация при высоких температурах хорошо проводится в генераторах с выпуском жидких шлаков, где к топливу прибавляются специальные добавки, уменьшающие температуру плавления золы, и в нижней части генератора поддерживается такая высокая температура, чтобы шлаки находились и могли быть удалены в жидком виде.

Следует твердо помнить, что только высокая и сильно раскаленная зона обеспечивает почти полное разложение углекислоты и паров воды, и при этом состав газа быстро становится удовлетворительным. При отсутствии шлакования и ведении генераторного процесса при высоких температурах раскаленной зоны и достаточном слое топлива содержание в газе углекислоты и неразложенных паров воды дутья возможно снизить до минимума за счет получения окиси углерода и водорода.

Хаслам и Руссель [3] приводят следующий пример влияния высоты слоя топлива на разложение водяного пара: при добавке пара в количестве 0,4 *кг* на 1 *кг* угля количество разложенного пара составило при высоте слоя топлива в 2,133 *м* — 0,36 *кг*, при высоте в 1,524 *м* — 0,23 *кг* и при высоте в 1,0 *м* — 0,19 *кг*.

На рис. 16 приведены кривые, характеризующие степень разложения водяного пара в зависимости от добавки пара и высоты слоя.

Понижение температуры реакционной зоны вызывается также отдачей тепла в окружающую среду, и поэтому добавка пара зависит от интенсивности работы генератора, так как с повышением таковой увеличивается количество выделяемого в генераторе тепла, а потеря в окружающую среду остается почти неизменной. При очень тихом ходе генератора приходится уменьшать добавку пара или даже совершенно прекращать ее, чтобы избежать слишком сильного охлаждения раскаленного слоя.

В случае отсутствия добавки пара топлива с низкой температурой плавления золы могут газифицироваться при пониженной нагрузке.

7. ГАЗИФИКАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ КИСЛОРОДА

Общие соображения

Водяной газ является ценным топливом, так как, не содержа почти совсем баласта — негорючих составных частей, имеет высокую теплотворную способность, что определяет высокий пирометрический эффект, даваемый им, и меньшую потерю тепла с отходящими газами, получаемыми при его сжигании. Кроме того он является ценным химическим сырьем. Недостатком обычных генераторов, в которых получается водяной газ, является периодичность их работы.

Воздушный и смешанный газы получаются непрерывно, но их теплотворная способность значительно ниже, чем водяного, так как процессы получения воздушного и смешанного газов идут за счет кислорода воздуха или полностью (воздушный газ) или преимущественно (смешанный газ), а вместе с кислородом воздуха в генератор вводится азот, являющийся баластом.

Газификация топлива возможна также за счет чистого кислорода или обогащенного кислородом воздуха.

В этом случае процесс протекает с выделением тепла и может итти непрерывно с получением высококалорийного газа, что имеет очень большое значение в связи с все уменьшающейся стоимостью промышленного кислорода и получением его в некоторых производствах в качестве отбросного продукта.

При предположении о протекании горения углерода в окись углерода за счет чистого кислорода, до конца по реакции:

$$2C + O_2 = 2CO + 55\,256\ кал, \qquad (B)$$

газ должен состоять на 100% из CO, и теплотворная способность его в этом случае равна 3021 *кал*/*м*^{3}.

Вследствие отсутствия в получающемся газе азота температура горения углерода в окись углерода очень высока, что чрезвычайно благоприятствует газификации с помощью чистого кислорода или обогащенного кислородом воздуха в генераторах с жидким шлакоудалением.

Объем газа, получаемого при газификации на кислородном дутье, меньше, чем при воздушном, что способствует увеличению температуры раскаленной зоны или количества разлагаемого в ней пара и уменьшению высоты раскаленной зоны и температуры выходящего из генератора газа.

В обычных генераторах при газификации с помощью кислорода для понижения температур обязательна значительная добавка водяного пара или углекислоты.

Высказываемые некоторыми специалистами соображения о больших затруднениях при использовании парокислородного дутья вследствие очень сильного шлакования неосновательны, так как может быть выбрано влагосодержание дутья, соответствующее свойствам топлива и режиму газификации и предупреждающее шлакование, так же как это имеет место при обычной газификации за счет паровоздушного дутья.

Газификация на парокислородном дутье дает более высокий к.п.д. даже с учетом расхода электроэнергии на получение O_2, чем при водяном или двойном газе. Кроме того газогенераторная установка при этом проще и легче регулируется. Как видно из опытов, проведенных в Институте азота, повышение содержания кислорода увеличивает скорость реакции газификации. Черазоли [23] произвел расчет теоретического состава газа, получаемого при газификации углерода на парокислородном дутье, для различных соотношений пара и кислорода в дутье. Для определения состава газа он воспользовался уравнениями балансов: углеродного (углерод топлива равен углероду в углекислоте и окиси углерода), кислородного (кислород в углекислоте и окиси углерода равен кислороду из дутья и разложившейся влаги) и тепла (химическое тепло топлива переходит в химическое тепло и теплосодержание газа и теряется в окружающую среду), а также выражениями зависимости соотношений составных частей газа от температуры выхода.

В результате расчетов была получена табл. 17.

Таблица 17

Зависимость теоретического состава газа от состава паровоздушной смеси (по Черазоли)

(Расчет на 1 *кг* углерода)

Пара (в *кг*/*кг*)	Кислорода (в *кг*/*кг*)	Температ. насыщения (в °С)	Температ. равновесия газа (в °С)	Состав газов (в %)			Влажность (в *г*/*м*³)	Выход газа (в *м*³/*кг*)	Теплотворная способ. газа (в *кал м*³)		Процент тепла, покрываемый разлож. влаги
				CO_2	CO	H_2			низшая	высшая	
0,260	0,775	68	1 900	0,009	85,74	14,25	0,4	2,17	2 997	3 006	16,5
0,375	0,706	76	1 350	0,26	80,08	19,66	4,1	2,32	2 965	3 060	24,0
0,500	0,675	80	910	2,67	73,71	23,61	15,2	2,37	2 873	2 987	30,0
0,750	0,649	86	810	8,22	62,26	29,52	46,2	2,64	2 677	2 819	37,4
1,000	0,638	88,5	760	13,30	52,70	34 00	71,1	2,82	2 501	2 655	43,6

Если учесть, что температура реакционной зоны значительно выше температуры выходящих из генератора газов (необходимость учета

теплосодержания нагретого угля и подогрева дутья при попадании в реакционную зону), то окажется, что в условиях газогенераторного процесса на парокислородном дутье необходимы большие добавки пара.

Расчет количества разлагаемого пара и состава газа

Если принять, что газификация идет за счет чистого углерода, что температура отводимого генераторного газа составляет 400° и теплоемкость его—0,32 *кал*/*м*³, что потеря в окружающую среду составляет 5% от теплотворной способности топлива, что по реакции:

$$C + \frac{1}{2} O_2 = CO + 27\,628 \text{ кал} \qquad (B)$$

сгорает 1 атом углерода, а по реакции:

$$C + H_2O = CO + H_2 - 30\,173 \text{ кал} \qquad (4)$$

сгорает x атомов углерода, то состав получаемого при парокислородном дутье газа и количество разлагаемого пара могут быть определены следующим образом.

1. Теплосодержание газов равно:

$$0{,}32\ (22{,}4 + 2 \cdot 22{,}4\ x)\ 400 = 2\,870 + 5\,740\ x.$$

2. Количество тепла, поглощаемое реакцией (4), равно $30\,173\ x$ *кал*.

3. Количество углерода, прореагировавшего по обеим реакциям, равно $(1 + x)$ атомов.

4. Потеря тепла в окружающую среду равна:

$$0{,}05 \cdot 95\,328\ (1 + x) = (4\,760 + 4\,760\ x) \text{ кал}.$$

5. Количество тепла, выделяемого по реакции (B), равно 27 628 *кал*.

Равенство количеств тепла в приходе и расходе дает:

$$27\,628 = 2\,870 + 5\,740\,x + 30\,173\ x + 4\,760 + 4\,760\ x,$$

откуда $x = 0{,}49$.

Количество разлагаемого пара составляет:

$$\frac{0{,}49 \cdot 18}{12\,(1 + 0{,}49)} = 0{,}49 \text{ кг/кг углерода}.$$

Состав газов [1], получающийся по приведенному расчету, определяется по табл. 18

[1] При учете теплосодержания вводимого пара, могущего быть перегретым до высокой температуры, количество углерода, реагирующего по реакции (4), и содержание H_2 в газе увеличится.

Таблица 18

Состав газа

Наименование газа	Реакция (В)	Реакция (.)	Всего	В %
	в $м^3$			
CO	22,4	11,0	33,4	75,2
H_2	—	11,0	11,0	24,8
	22,4	22,0	44,4	100,0

Выход газа:

$\frac{44,4}{12 \cdot 1,49} = 2,49$ $м^3$ на 1 $кг$ углерода.

Теплотворная способность этого газа высшая — 3027 $кал/м^3$ и низшая — 2910 $кал/м^3$, что дает в химическом тепле газа 91% по низшему пределу от теплотворной способности топлива.

Если считать, что углерод будет взаимодействовать с водяным паром не по реакции (4), а по реакции (5):

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2 - 20\,274 \text{ кал},$$

и принять теплоемкость получаемых газов равной 0,35, то получим: $x = 0,57$; количество разлагаемого пара — 1,1 $кг/кг$; состав газа: CO_2 — 21,0%; CO — 36,8%; H_2 — 42,2%; выход газа — 3,23 $м^3/кг$.

8. РЕГЕНЕРИРОВАНИЕ ГАЗОВ

Общие соображения

Углекислота может быть использована для получения окиси углерода как высококалорийного газа или химического сырья.

При введении в генератор одной углекислоты возможно получить почти чистую окись углерода. Процесс может вестись аналогично процессу получения водяного газа. Углекислота может быть также прибавлена к кислороду или обогащенному кислородом воздуху при получении высококалорийного газа непрерывным процессом.

Для понижения температур взамен водяного пара в генератор можно вводить углекислоту, реагирующую с углеродом по реакции:

$$C + CO_2 = 2CO - 40\,072 \text{ кал}. \qquad (A)$$

Для введения углекислоты могут быть использованы отходящие газы печей. Они содержат значительное количество азота, обычно близкое к содержанию такового в воздухе, так как при полном сгорании топлива кислород воздуха (21 часть) полностью или частично замещается преимущественно углекислотой.

По равенствам:

$$2C + O_2 = 2CO \text{ и } C + CO_2 = 2CO$$

на 1 молекулу углекислоты и кислорода получается одно и то же количество окиси углерода, и поэтому, если в отходящих газах, вводимых в генератор, содержится ($CO_2 + O_2$) в количестве 21% (как кислорода в воздухе), то получаемый генераторный газ теоретически должен иметь тот же состав, что и воздушный.

Разница в процессах заключается в том, что на 1 атом углерода в случае газификации за счет кислорода получается 1 молекула окиси углерода, а в случае газификации за счет углекислоты получаются 2 молекулы окиси углерода, и следовательно для получения одного и того же количества газа в случае пользования углекислотой требуется меньшее количество топлива.

Углекислота может быть использована как в целях поглощения тепла в генераторе, так и в случае подвода тепла извне.

Применение отходящих газов сравнительно с использованием водяного пара для понижения температур в генераторе имеет то преимущество, что не требует отдельной затраты топлива и других расходов, связанных с получением пара. Кроме того в отходящих газах содержится водяной пар, также действующий охлаждающим образом. Преимуществом добавки водяного пара является возможность увеличения теплотворной способности газа, что невозможно при добавке отходящих газов, если в них содержится азот в количестве не меньшем, чем в воздухе, т. е. 79%. Улучшение состава газа возможно в случае добавки отходящих газов, содержащих меньшее количество азота, как например в случае отходящих газов известково-магнезитообжигательных печей, что особенно ценно при использовании также их тепла нагрева.

Реакционную зону генератора можно охлаждать также путем добавления к топливу веществ, разлагающихся при нагреве с поглощением тепла. Такой добавкой иногда является известняк—$CaCO_3$, разлагающийся под действием жара с поглощением большого количества тепла и выделением также разлагающейся с поглощением тепла углекислоты. Недостатком подобного способа понижения температур в генераторе являются необходимость добавления больших количеств этих материалов, увеличение количества золы и понижение температуры плавления золы в результате примешивания к таковой продуктов разложения добавок.

Расчет количества разлагаемой углекислоты

Если пренебречь подогревом воздуха и углекислоты в слое золы, принять температуру генераторного газа равной 700°, потерю в окружающую среду — составляющей 5% от теплотворной способности топлива, количество углерода, реагирующего с отходящими газами по реакции:

$$C + CO_2 + \frac{79}{21} N_2 = 2CO + \frac{79}{21} N_2 - 40\,072 \text{ кал}, \qquad (2)$$

равным x атомов на 1 атом углерода, реагирующего по реакции

$$C + \frac{1}{2} O_2 + \frac{79}{2 \cdot 21} N_2 = CO + \frac{79}{2 \cdot 21} N_2 + 27\,628 \text{ кал}, \qquad (3)$$

и составить тепловой баланс генератора, то получим:

1. Реагирует и получается в весовом выражении согласно реакции (3):

12 $кг$ C + 16 $кг$ O_2 + 52,8 $кг$ N_2 = 28 $кг$ CO + 52,8 $кг$ N_2 + 27 628 $кал$.

2. Реагирует и получается согласно реакции (2):

$$12\,x\ кг\ C + 44\,x\ кг\ CO_2 + 28\,x\,\frac{79}{21}\,N_2 = 56\,x\ кг\ CO + 106\,x\ кг\ N_2 - 40\,072\,x\ кал.$$

3. Тепло, уносимое газами из генератора при температуре 700° и весовой теплоемкости в 0,26, равно:

$$700 \cdot 0{,}26\,(28 + 52{,}8 + 56\,x + 106\,x) = (14\,700 + 29\,500\,x)\ кал.$$

4. Тепло, теряемое в окружающую среду, равно:

$$95\,328\,(1 + x)\,0{,}05 = 4\,760 + 4\,760\,x.$$

5. Равенство количеств тепла в приходе и расходе дает:

$$27\,628 = 40\,072\,x + 14\,700 + 29\,500\,x + 4\,760 + 4\,760\,x;$$

откуда $x = 0{,}11$ атома.

Следовательно, на каждый килограмм газифицируемого углерода может быть разложено углекислоты:

$$\frac{0{,}11 \cdot 44}{12 + 0{,}11 \cdot 12} = 0{,}363\ кг.$$

Выход газа составляет:

$$\frac{22{,}4 + \frac{79}{2 \cdot 21} \cdot 22{,}4 + 0{,}11 \cdot 2 \cdot 22{,}4 + 0{,}11 \cdot \frac{79}{21} \cdot 22{,}4}{12 + 0{,}11 \cdot 12} = 5{,}9\ м^3/кг.$$

Если бы процесс протекал только по реакции (3), то на 1 *кг* углерода мы получили бы:

$$\frac{22{,}4}{12} = 1{,}87\ м^3\ CO,$$

в данном же случае получаем:

$$\frac{22{,}4 + 0{,}11 \cdot 2 \cdot 22{,}4}{1{,}11 \cdot 12} = 2{,}05\ м^3\ CO.$$

Таким образом возможная экономия в топливе при отсутствии подогрева отходящих газов, вводимых в генератор, составляет:

$$\frac{2{,}05 - 1{,}87}{1{,}87}\,100 = 10\%$$

Теплотворная способность получаемого газа составляет в подсчитанном теоретическом случае 78% от теплотворной способности топлива.

Состав получаемого газа может быть определен следующим образом:

	CO	N_2
Получается по реакции (2)	4,9	9,3
» » » (3)	22,4	42,1
Всего. . . .	27,3	51,4

что соответствует теоретическому составу воздушного газа: 34,7% CO и 65,3% N_2.

Бóльшая примесь углекислоты и следовательно бóльшая экономия в расходе топлива возможны при использовании нагретых отходящих газов.

9. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СОСТАВА ГАЗА

Протекание генераторного процесса при дутье из смеси воздуха (или обогащенного кислородом воздуха или кислорода) и водяного пара связано со следующими реакциями:

$$C + 2H_2 = CH_4$$
$$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$$
$$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$$
$$2CO + 2H_2 = CH_4 + CO_2$$
$$CO_2 + C = 2CO \quad (А)$$
$$C + O_2 = CO_2 \quad (Б)$$
$$2C + O_2 = 2CO \quad (В)$$
$$2CO + O_2 = 2CO_2 \quad (Г)$$
$$C + H_2O = CO + H_2 \quad (4)$$
$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2 \quad (5)$$
$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 \quad (6)$$
$$2H_2 + O_2 = 2H_2O \quad (7)$$

Все приведенные реакции, кроме (Б), (В), (Г) и (7), являются в условиях генераторного процесса обратимыми и вытекают одна из другой, и мы можем выбрать три из них, положение равновесий которых определит теоретический состав газа ([6]).

Подобными реакциями могут быть например следующие:

$$CO_2 + C \rightleftarrows 2CO$$
$$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$$
$$2CO + 2H_2 \rightleftarrows CH_4 + CO_2$$

Теоретический состав генераторного газа, содержащего H_2, CO, CH_4, CO_2, H_2 и H_2O, может быть установлен, если составить шесть уравнений, определяющих связь между газами. Подобными уравнениями могут служить выражения для констант трех реакций, равенство соотношений водорода и азота к кислороду в исходной смеси (дутье) и в полученном газе и равенство суммы парциальных давлений отдельных газов общему.

В Институте азота (инж. Рябцев) на основании составленных уравнений были сделаны подсчеты, выявляющие влияние отдельных факторов — температуры, давления, содержания кислорода, водяного пара и азота в дутье — на состав генераторного газа ([24]).

Изменение состава генераторного газа в зависимости от температуры и

Состав газа	Состав газа в объ-										
	t = 500°							t = 900°			
	$\alpha = 1$				$\beta = 2$			$\alpha = 1$			
	$\beta = 1$	$\beta = 2$	$\beta = 4$	$\beta = 6$	$\alpha = 1$	$\alpha = 2$	$\alpha = 4$	$\beta = 1$	$\beta = 2$	$\beta = 4$	$\beta = 6$
H_2	2,88	4,05	5,08	5,54	4,05	3,58	2,98	16,10	22,80	28,70	31,07
CO	1,00	0 96	0,92	0,89	0,96	0,85	0,72	43,10	41,00	39,40	38,65
CH_4	4,22	8,22	12,90	15,40	8,22	6,52	4,50	1,04	2,10	3,41	3,98
CO_2	37,80	34,10	31,16	29,77	34,10	27,40	19,70	11,05	10,00	9,05	8,92
N_2	32,70	24,42	16,12	12,20	24,42	39,10	56,10	23,42	17,00	11,00	8,22
H_2O	21,40	28,25	33,82	36,20	28,25	22,55	16,00	5,29	7,10	8,44	9,16
Σ % . .	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Изменение выхода и теплотворной способности генераторного газа в зависи-

Показатели	Выходы и теплотворная						
	t = 500°						
	$\alpha = 1$				$\beta = 2$		
	$\beta = 1$	$\beta = 2$	$\beta = 4$	$\beta = 6$	$\alpha = 1$	$\alpha = 2$	$\alpha = 4$
Выход сухого газа на 1 *кг* углерода	3,41	3,09	2,78	2,58	3,09	4,16	6,30
Выход сухого и очищенного от CO_2 газа на 1 *кг* углерода	1,775	1,620	1,450	1,380	1,620	2,680	4,820
Низшая теплотворная способность сухого газа в *кал/м³*	592	1 166	1 910	2 326	1 166	871	576
Низшая теплотворная способность сухого и очищенного от CO_2 газа в *кал/м³* .	1 141	2 225	3 612	4 368	2 225	1 346	753

В приводимых табл. 19, 20, 21 и 22 даны результаты этих расчетов, причем через α обозначено отношение объемов азота и кислорода в воздухе или в техническом кислороде $\left(\frac{N_2}{O_2}\right)$ и через β— отношение объемов водяного пара к кислороду в парокислородной или паровоздушной смеси $\left(\frac{H_2O}{O_2}\right)$.

Таблица 19

состава исходной газифицирующей смеси при P—20 *ат* (влажный газ)

емных процентах									
			t=1 200°						
β=2			α=1				β=2		
α=1	α=2	α=4	β=1	β=2	β=4	β=6	α=1	α=2	α=4
22,80	19,90	16,25	17,74	27,10	34,20	38,07	27,10	23,80	19,20
41,00	36,42	29,75	60,50	56,70	54,30	52,65	56,70	49,60	39,62
2,10	1,63	1,09	0,32	0,75	1,21	1,47	0,75	0,58	0,378
10,00	7,79	5,27	0,49	0,43	0.40	0,37	0,43	0,33	0,216
17,00	28,76	43,95	20,59	14,50	9,25	6,77	14,50	25,29	40,326
7,10	5,50	3,69	0,36	0,52	0,64	0,67	0,52	0,40	0,260
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Таблица 20

мости от температуры и состава исходной газифицирующей смеси при P—20 *ат*

способность генераторного газа													
t = 900°							t = 1200°						
α = 1				β = 2			α = 1				β = 2		
β = 1	β = 2	β = 4	β = 6	α = 1	α = 2	α = 4	β = 1	β = 2	β = 4	β = 6	α = 1	α = 2	α = 4
3,20	3,26	3,29	3,28	3,26	3,84	4,97	3,03	3,20	3,32	3,40	3,20	3,68	4,62
2,830	2,910	2,960	2,960	2,910	3,520	4,700	3,020	3,190	3,300	3,390	3,190	3,600	4,620
1 911	2 163	2 432	2 545	2 163	1 859	1 468	2 325	2 494	2 645	2 720	2 494	2 174	1 731
2 162	2 423	2 595	2 738	2 423	2 023	1 552	2 337	2 503	2 655	2 728	2 503	2 179	1 732

Данные исследований и таблиц указывают на следующее: с повышением температуры увеличивается содержание в газе водорода и окиси углерода и уменьшается содержание углекислоты, водяного пара и метана; с увеличением давления растет содержание в газе метана, углекислоты и водяного пара и уменьшается содержание водорода и окиси углерода (особенно заметно при низких температурах); с увеличением содержания в дутье водяного пара возрастает содер-

Таблица 21

Изменение состава генераторного газа в зависимости от температуры и давления при $\alpha=1$ и $\beta=2$ (влажный газ)

Состав газа	Состав газа в объемных процентах								
	$t = 500°$			$t = 900°$			$t = 1\,200°$		
	$P = 1$ *ат*	$P = 10$ *ат*	$P = 20$ *ат*	$P = 1$ *ат*	$P = 10$ *ат*	$P = 20$ *ат*	$P = 1$ *ат*	$P = 10$ *ат*	$P = 20$ *ат*
H_2	14,05	5,51	4,05	28,03	25,04	22,80	28,600	27,820	27,10
CO	4,19	1,34	0,96	55,80	46,80	41,00	57,100	57,890	56,70
CH_4	4,97	7,81	8,22	0,16	1,27	2,10	0,042	0,396	0,75
CO_2	32,70	33,85	34,10	0,91	6,43	10,00	0,0000222	0,218	0,43
N_2	22,55	24,10	24,42	14,51	16,05	17,00	14,290	14,410	14,50
H_2O	21,54	27,39	28,25	0,59	4,41	7,10	0,0000272	0,266	0,52
Σ %	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Таблица 22

Изменение выхода и теплотворной способности генераторного газа в зависимости от температуры и от давления при $\alpha=1$ и $\beta=2$

Выход и теплотворная способность	Выход и теплотворная способность генераторного газа								
	$t = 500°$			$t = 900°$			$t = 1\,200°$		
	$P = 1$ *ат*	$P = 10$ *ат*	$P = 20$ *ат*	$P = 1$ *ат*	$P = 10$ *ат*	$P = 20$ *ат*	$P = 1$ *ат*	$P = 10$ *ат*	$P = 20$ *ат*
Выход сухого газа в $м^3$ на 1 *кг* углерода. . .	3,50	3,150	3,260	3,26	3,27	3,26	3,26	3,24	3,21
Выход сухого и очищенного от CO_2 газа на 1 *кг* углерода .	2,02	1,68	1,62	3,24	3,05	2,91	3,26	3,23	3,20
Низшая теплотворная способность сухого газа в *кал*/$м^3$ . . .	1 165	1 172	1 167	2 439	2 271	2 163	2 468	2 481	2 493
Низшая теплотворная способность сухого и очищенного от CO_2 газа в *кал*/$м^3$	1 999	2 194	2 225	2 461	2 437	2 425	2 468	2 484	2 502

жание в газе метана и водяного пара и уменьшается содержание углекислоты; с увеличением температуры и давления газа теплотворная способность получаемого газа растет, так же как и отношение $\frac{CO + H_2}{N_2}$, и с увеличением содержания в дутье кислорода увеличивается содержание в газе окиси углерода, водорода, метана и углекислоты; выход и теплотворная способность сухого газа растут с повышением температуры; выход газа с увеличением давления уменьшается; теплотворная способность сухого газа увеличивается с возрастанием величины β, т. е. отношения количеств пара и кислорода. При низких температурах и подводе значительного количества пара теплотворная способность газа очень значительна (при 500° и $\beta = 6$—4 300 *кал* на 1 $м^3$ сухого очищенного от углекислоты газа); при изменении давления теплотворная способность газа меняется незначительно.

Из приведенных расчетов следует, что:

1) наиболее сильное влияние на состав и теплотворную способность газа оказывает температура;

2) давление имеет существенное значение лишь при низких температурах газификации (500—900°);

3) состав исходной газифицирующейся смеси оказывает влияние на состав генераторного газа при любом давлении и температуре;

4) при стремлении получить газ с высокой теплотворной способностью следует вести процесс газификации под высоким давлением и температуру газа при выходе из генератора держать по возможности низкой;

5) при высоких температурах (1100—1200°) и под высоким давлением, например 20 *ат*, теоретически возможно получить газ с малым содержанием метана.

10. ГАЗИФИКАЦИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Ряд исследований (см. гл. II) подтверждает приведенные выше теоретические выводы в отношении получения при газификации под высоким давлением газа со значительным содержанием углекислоты и метана.

Губман [26] и Драве [25] приводят таблицу теоретических составов газа, получаемых при газификации под разными давлениями за счет парокислородной смеси (табл. 23). Эти данные свидетельствуют об уменьшении расхода кислорода и об увеличении теплотворной способности очищенного от углекислоты газа с увеличением давления.

Работа по расчетному изучению соотношений между концентрациями реагирующих веществ в момент равновесия для реакций образования метана, этилена и этана из углерода и водорода проведена Государственным институтом высоких давлений (Фрост) [5].

В табл. 24 и 25 приведены данные для равновесных концентраций метана и водорода при разных давлениях и температурах как для угля и графита, так и для аморфного углерода.

Таблица 23

Изменение состава газа и расхода кислорода в зависимости от давления при 1 000° (абс.)

Статьи	Единица измерения	Давление (в *ата*)		
		1	10	20
Состав сухого газа:				
CO	Объемн. проц.	49,0	25,8	20,2
H_2	» »	37,0	30,4	25,8
CO_2	» »	11,3	27,5	31,5
CH_4	» »	2,7	16,3	2,2
Состав очищенного от CO_2 газа:				
CO	» »	55,2	35,6	29,7
H_2	» »	41,7	42,0	37,8
CH_4	» »	3,1	22,4	32,5
Высшая теплотворная способность очищенного от CO_2 газа	*кал*/*м*³	3 255	4 510	5 160
Расход кислорода на 1 *м*³ свободного от CO_2 газа	*м*³	0,1642	0,124	0,102
Расход кислорода на 4 000 *кал* в газе	»	0,202	0,110	0,083

Данными, согласно приведенному в таблице уравнению, можно пользоваться при расчете концентраций метана, могущих получиться при длительном взаимодействии водорода и графита или угля, но их нельзя использовать для подсчета концентраций, получающихся при распаде метана в интервале температур 300—900°, так как выделяющийся при этом углерод является аморфным.

Различие между графитом и сажей уменьшается при повышении температуры, так как при более высоких температурах образуется более крупнокристаллическая сажа. Выше 900° данные для графита и сажи можно считать практически совпадающими и пользоваться для распада метана данными табл. 24.

Данные таблицы показывают, что добиться с помощью реакции:

$$C + 2H_2 \rightleftarrows CH_4$$

освобождения от метана при атмосферном давлении можно только при очень высоких температурах (1 400—1 500°); понижение давления до 0,1 *ат* позволяет снизить до 900° температуру, соответствующую равновесной концентрации метана в 0,2—0,3%. Синтез метана почти полностью завершается при температурах 400—500° и давлении в 200 *ат*.

Согласно данным Фроста по исследованию реакции образования этилена:

$$2C + 2H_2 \rightleftarrows C_2H_4$$

при температурах ниже 1 000°, даже при значительных давлениях этилен неустойчив и распадается (с образованием C, H_2 и CH_4) до тех пор, пока его концентрация не упадет до ничтожной величины. Наличие в газе этилена в количествах, превышающих равновесные, связано с медленностью его распада.

Таблица 24

Равновесные концентрации веществ, реагирующих по реакции $C_{графит} + 2H_2 \rightleftarrows CH_4$, вычисленные по уравнению, рассчитанному Введенским и Фростом

$$\lg K_p = \lg \frac{p_{CH_4}}{p_{H_2}} = -\lg K_{p1} = \frac{3348}{T} - 5{,}957 \lg T + 1{,}86 \cdot 10^{-3} T - 1{,}095 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 11{,}79$$

t°	lg K_p	K_p	Состав равновесной смеси при $p = 1$ (% CH_4)	$\frac{p_{CH_4}}{p_{H_2}}$ при давлении водорода (в *ат*)						
				0,1	0,5	1,0	10	50	100	200
300	2,19	155	92,3	15,5	78	155	1 550	780	15 500	31 000
400	1,13	13,5	76,2	1,35	6,75	13,5	135	675	1 350	2 700
450	0,67	4,68	63,3	0,468	2,34	4,68	46,8	234	468	936
500	0,28	1,90	49,2	0,190	0,95	1,90	19,0	95	190	381
550	—0,05	0,89	36,1	0,089	0,445	0,89	8,90	44,5	89	178
600	—0,37	0,427	24,4	$4{,}27 \cdot 10^{-2}$	0,213	0,427	4,27	21,3	42,7	83,4
650	—0,64	0,299	16,1	$2{,}29 \cdot 10^{-2}$	0,144	0,229	2,29	11,4	22,9	45,8
700	—0,87	0,135	10,8	$1{,}35 \cdot 10^{-2}$	0,067	0,135	1,35	6,7	13,5	27,0
750	—1,08	$8{,}32 \cdot 10^{-2}$	7,2	$8{,}32 \cdot 10^{-3}$	$4{,}16 \cdot 10^{-2}$	$8{,}32 \cdot 10^{-2}$	0,832	4,16	8,32	16,6
800	—1,28	$5{,}25 \cdot 10^{-2}$	4,8	$5{,}25 \cdot 10^{-3}$	$2{,}62 \cdot 10^{-2}$	$5{,}25 \cdot 10^{-2}$	0,525	2,62	5,25	10,5
900	—1,62	$2{,}40 \cdot 10^{-2}$	2,3	$2{,}40 \cdot 10^{-3}$	$1{,}20 \cdot 10^{-2}$	$2{,}40 \cdot 10^{-2}$	0,240	1,20	2,40	4,8
1 000	—1,90	$1{,}26 \cdot 10^{-2}$	1,23	$1{,}26 \cdot 10^{-3}$	$6{,}30 \cdot 10^{-3}$	$1{,}26 \cdot 10^{-2}$	0,126	0,63	1,26	2,52
1 100	—2,12	$7{,}59 \cdot 10^{-3}$	0,76	$7{,}59 \cdot 10^{-4}$	$3{,}74 \cdot 10^{-3}$	$7{,}59 \cdot 10^{-3}$	0,076	0,37	0,76	1,52
1 200	—2,31	$4{,}90 \cdot 10^{-3}$	0,49	$4{,}90 \cdot 10^{-4}$	$2{,}45 \cdot 10^{-3}$	$4{,}90 \cdot 10^{-3}$	0,049	0,24	0,49	0,98
1 300	—2,48	$3{,}31 \cdot 10^{-3}$	0,33	$3{,}31 \cdot 10^{-4}$	$1{,}65 \cdot 10^{-3}$	$3{,}31 \cdot 10^{-3}$	0,033	0,165	0,33	0,66
1 400	—2,61	$2{,}45 \cdot 10^{-3}$	0,24	$2{,}45 \cdot 10^{-4}$	$1{,}23 \cdot 10^{-3}$	$2{,}45 \cdot 10^{-3}$	0,024	0,122	0,24	0,48
1 500	—2,71	$1{,}95 \cdot 10^{-3}$	0,19	$1{,}95 \cdot 10^{-4}$	$9{,}75 \cdot 10^{-4}$	$1{,}95 \cdot 10^{-3}$	0,020	0,097	0,095	0,39

Таблица 25

Равновесные концентрации реагирующих по реакции: $CH_4 \rightleftarrows C_{\text{аморфн.}} + 2H_2$, веществ, относящиеся к углероду, выделяющемуся при распаде CH_4 при исследуемой температуре

(Интерполировано по измерениям Шенка и сотрудников)

$t°$	$\lg K_p$	K_p	Состав смеси при $p=1$ *ат* (% CH_4)	$\frac{p_{CH_4}}{p_{H_2}}$ при p_{H_2} (в *ат*)					
				0,1	0,5	1,0	10	50	100
300	4,60	$4,0 \cdot 10^4$	99,5	4 000	20 000	40 000	$4 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$
350	3,16	$1,44 \cdot 10^3$	97,4	144	7 200	1 440	$144 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^6$	$1,44 \cdot 10^5$
400	1,95	89	89,9	8,9	44,5	89	890	4 450	$8,9 \cdot 10^3$
450	1,08	12,0	75,0	1,2	6,0	12	120	600	$1,2 \cdot 10^3$
500	0,52	3,3	57,6	0,33	1,65	3,3	33	165	330
550	0,15	1,41	44,0	0,14	0,70	1,4	14	70	141
600	−0,17	0,68	31,5	0,068	0,34	0,68	6,8	34	68
650	−0,45	0,35	21,6	0,035	0,175	0,35	3,5	17,5	35
700	−0,71	0,195	14,2	0,0195	0,097	0,195	1,95	9,7	19,5
750	−0,93	0,1175	9,6	0,012	0,06	0,12	1,2	6,0	11,75
800	−1,13	0,074	6,4	0,0074	0,037	0,074	0,74	3,7	7,4
850	−1,32	0,048	4,4	0,0048	0,024	0,048	0,48	2,4	4,8
900	−1,50	0,0319	3,0	0,0032	0,016	0,032	0,32	1,6	3,2

Этан при температурах выше 400° полностью диссоциирован по реакции:

$$C_2H_6 \rightleftarrows 2C + 3H_2;$$

только давление водорода выше 10 *ат* может воспрепятствовать значительному распаду.

11. ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ГЕНЕРАТОРА И В ГАЗОПРОВОДАХ

Из процессов, протекающих в свободной части генератора и в газопроводах, практическое значение может иметь реакция

$$2CO \rightarrow C + CO_2,$$

протеканию которой благоприятствует температура газа в этой части (особенно в интервале 450—550°). Во избежание ухудшения состава газа рекомендуется интенсивно охлаждать верх генератора и быстро понижать температуру газа ниже 450°, что иногда осуществляется устройством металлических крышек, охлаждаемых водой. Особого значения эта реакция при отсутствии катализаторов не имеет.

При большем содержании окислов железа в огнеупорном кирпиче футеровки под влиянием каталитического действия окислов железа возможно осаждение в порах кирпичей углерода, ведущее к разрушению кирпича.

Выделение из доменного газа вследствие реакции $2CO \rightarrow CO_2 + C$ сажи, разрушающей футеровку, в интервале температур 300—800°, а особенно при 400—500°, приписывается Осанном и Шенком [15] присутствию окислов железа и металлического железа.

В верхней части генератора при высоких температурах имеет место также частичное разложение смол на углеводороды, сопровождающееся выделением сажи.

Много помех в результате описанных процессов причиняет отложение сажи (а также пыли) и конденсирующихся смол в газопроводах, откуда их приходится периодически удалять.

Взаимодействие между углекислотой и углеродом происходит лишь в области, где имеет место достаточно высокая температура их. Когда эти газы попадают в область низких температур, реакции протекают настолько медленно, что состав газа можно считать неизменяющимся.

Генераторный газ по выходе из генератора может быть подвергнут очистке и охлаждению.

12. ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ГАЗИФИКАЦИИ

Процесс газификации углерода с помощью воздуха и водяного пара невозможно выразить одним химическим уравнением.

Каждому состоянию смеси газов соответствует несколько уравнений, например:

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2;$$

$$C + CO_2 = 2CO;$$

$$C + O_2 = CO_2;$$

$$CO + O = CO_2;$$

$$C + H_2O = CO + H_2;$$

$$2C + O_2 = 2CO.$$

Вместе с тем каждому определенному составу газа соответствует одна определенная комбинация уравнений.

С термохимической точки зрения безразлично, каким путем из определенных исходных веществ были получены определенные конечные вещества.

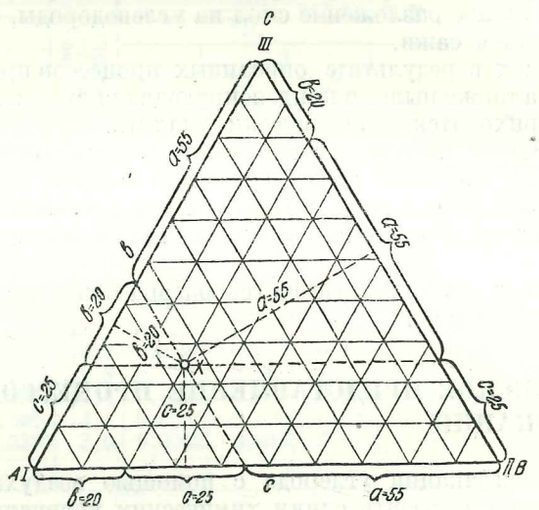
По этой причине стремятся из большого количества возможных уравнений реакций выбрать необходимые и достаточные для получения требуемых соотношений, а также охарактеризовать состав газа одним соотношением так, чтобы при сравнении газовых анализов имелась возможность дать газу определенную оценку.

Для решения этой задачи Оствальд [27] выбирает три следующих уравнения:

$$C + O_2 = CO_2 + 95\,328 \text{ кал}; \quad (Б)$$

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2 - 20\,274 \text{ кал}; \quad (5)$$

$$C + CO_2 = 2CO - 40\,072 \text{ кал}. \quad (А)$$



17. Значение координат в треугольнике Гиббса

Обозначая через a, b и c количество С, прореагировавшего по реакциям (Б), (5) и (А), можем составить следующее уравнение:

а. $(a + b + c)\ C + aO_2 + 2bH_2O + cCO_2 = (a + b)\ CO_2 + 2bH_2 + 2c\,CO + (95\,328\ a - 20\,274\ b - 40\,072\ c)$ *кал*,

или, перенося CO_2 в правую часть равенства, получаем:

б. $(a + b + c)\ C + aO_2 + 2bH_2O = (a + b - c)\ CO_2 + 2bH_2 + 2c\,CO + (95\,328\ a - 20\,274\ b - 40\,072\ c)$ *кал*.

Из трех переменных a, b и c две — независимые. Если даны две из них, то уравнение определяет третью.

Подобное уравнение может быть представлено в треугольных осях координат. По предыдущему обозначаем через a, b и c количество углерода, реагирующего по уравнениям (Б), (5) и (А). Каждое из уравнений связываем с углом треугольника (рис. 17). Точка x например представляет собой такой состав газа, при котором 55% С реагируют по уравнению (Б), 20% — по уравнению (5) и 25% — по уравнению (А). Если мы эти значения подставим в уравнение (*б*), то получим для точки x следующее численное уравнение:

$$100\ C + 55\ O_2 + 40\ H_2O = 50\ CO_2 + 40\ H_2 + 50\ CO + 38\,400 \text{ кал}$$

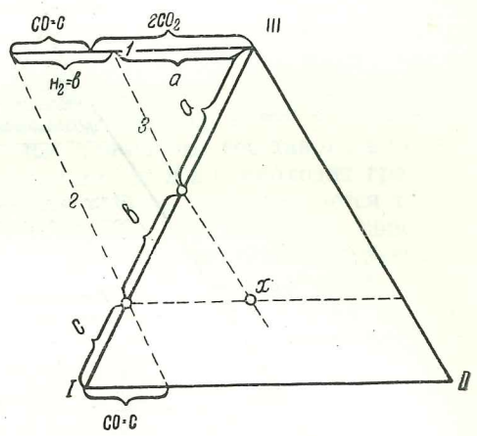
или с учетом азота воздуха, проходящего вместе с кислородом,

$$100\ C + 55\ O_2 + 55 \cdot \frac{79}{21} \cdot N_2 + 40\ H_2O = 50\ CO_2 + 40\ H_2 + 50\ CO + 55 \cdot \frac{79}{21}\ N_2 + 38\,400 \text{ кал}.$$

В нашем примере мы имеем процесс газификации, связанный с выделением большого количества тепла (полугаз), при котором на каждые 1 200 *кг* С расходуется 5 850 $м^3$ воздуха и 720 *кг* водяного пара.

Получающийся газ имеет следующий состав: CO_2 — 14,5%; H_2 — 11,6%; CO — 14,5% и N_2 — 59,5%.

Одной точкой в треугольных осях координат возможно изобразить не только любое стехиометрическое уравнение газификации, но и любой состав газа.



18. Построение точки газового анализа

В случае уравнений (А) и (5) количества c и b мы можем высчитать по образующимся количествам окиси углерода и водорода, а именно: по уравнению (А) $c = 2\ CO$ и $CO = \frac{c}{2}$ и по уравнению (5) $b = 2H_2$ и $H_2 = \frac{b}{2}$. Несколько сложнее с выражением углерода, реагирующего по уравнению (Б), так как имеющаяся в газе углекислота составляется из количеств, выделяющихся по реакциям (Б) и (5) за вычетом расхода по реакции (А). Содержание

$$CO_2 = a + b - c,$$

или

$a =$ содержанию $CO_2 - \frac{1}{2}$ содержания $H_2 + \frac{1}{2}$ содержания CO.

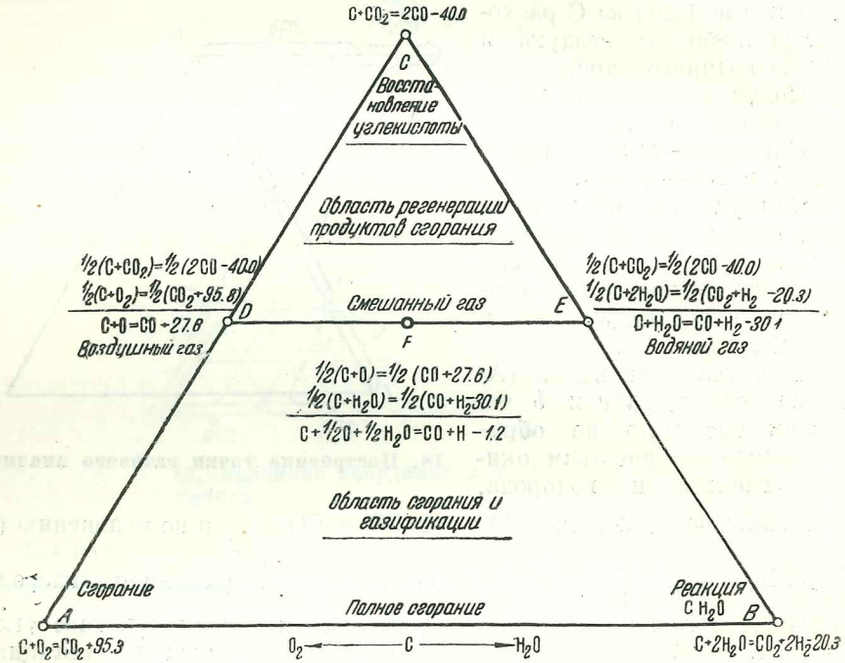
Указанные значения CO, H_2 и CO_2 определяют координаты. Излишне производить расчеты газа, следует только определить такую точку, которая имеет значения по отношению к трем реакционным углам (рис. 18):

$$\left(CO_2 - \frac{H_2}{2} + \frac{CO}{2}\right);\ \frac{CO}{2} \text{ и } \frac{H_2}{2},$$

т. е. треугольные координаты:

$$a = 2\,CO_2 - H_2 + CO;\quad b = H_2 \text{ и } c = CO.$$

Таким образом из газового анализа, данного в процентах по объему, легко определить три координаты. Еще проще геометрическое нахождение положения точки. Для этой цели одну из сторон треугольника (рис. 18) делят в отношении $a : b : c$ и находят искомую точку на пересечении двух прямых, проведенных через точки деления параллельно остальным двум сторонам треугольника. Для деления стороны треугольника откладывают на прямой *1*, проведенной через вершину треугольника параллельно основанию, влево отрезок, со-



19. Треугольник газификации

ответствующий величине $2CO_2 + CO$, и от конечной его точки вправо — H_2. На основании треугольника *I — II* в том же масштабе откладывают величину, соответствующую CO; полученную точку соединяют с концом отрезка $2CO_2 + CO$ (2) и через точку $2CO_2 + CO - H_2$ на прямой *1* проводят прямую *3*, параллельную *2*. Точки пересечения прямых *3* и *2* со стороной треугольника *I—III* делят последнюю в отношении $a : b : c$.

Азот воздуха, разбавляющий газ, может быть учтен соответствующим пересчетом.

Рассмотрение расположения различных точек в треугольнике указывает на следующее (рис. 19).

Участок у точки *A* (слева внизу) представляет собой область полного окисления углерода кислородом (воздухом). Избыток воздуха должен быть вычислен предварительно. Недостаток воздуха, имеющий

следствием образование окиси углерода, двигает точку кверху; водяной пар, являющийся источником образования водорода, толкает точку вправо.

Участок у точки *B* (справа внизу) представляет собой водородную реакцию, т. е. полное окисление углерода с помощью воды в отсутствии кислорода или воздуха. Присутствие воздуха толкает точку влево, а восстановление углекислоты в окись углерода — кверху.

Участок у точки *C* (вверху) дает восстановление углекислоты в окись углерода, т. е. неполное окисление углерода с помощью углекислоты в окись углерода при отсутствии кислорода. Кислород направляет точку вниз влево, вода — вниз вправо. В случае газификации углерода за счет кислорода воздуха или водяного пара точка *C* и близкие к ней не могут соответствовать действительным составам газа, так как этим точкам соответствует подвод извне углекислоты. Точка *C* и близкие к ней годятся лишь для случая восстановления продуктов сгорания. Между точками *A* и *C* и *B* и *C* проходит граница, разделяющая области, в которых углекислота или получается только по реакциям (Б) и (5) или же дополнительно подводится извне.

Без подвода углекислоты извне при прохождении процесса по реакциям (Б) и (А) углерод может восстановить максимально столько углекислоты в окись углерода, сколько получается углекислоты по реакции (Б). Этому случаю соответствует точка *D*, лежащая точно на середине стороны треугольника *AB*. Эта точка дает сгорание углерода с кислородом нацело в окись углерода. Она обозначает реакцию получения воздушного газа (без парового дутья). Точно так же точка *E*, делящая пополам сторону *BC*, представляет собой реакцию получения водяного газа — сжигания углерода в окись углерода и водород с помощью влаги.

Прямая *DE* разделяет большую область горения и газификации за счет кислорода воздуха и водяного пара от небольшой и менее важной (на практике) области восстановления углекислоты, введенной извне.

Если мы возьмем точку *F*, делящую прямую *DE* пополам, то она будет соответствовать следующему распределению всех трех реакций: (Б) — 25%, (5) — 25% и (А) — 50%, т. е. реакции смешанного газа.

При получении воздушного газа следует принимать меры к тому, чтобы состав газа соответствовал точкам, близким к *D*, но в то же время остающимся в пределах трапеции *ABED*. В противном случае анализ неверен.

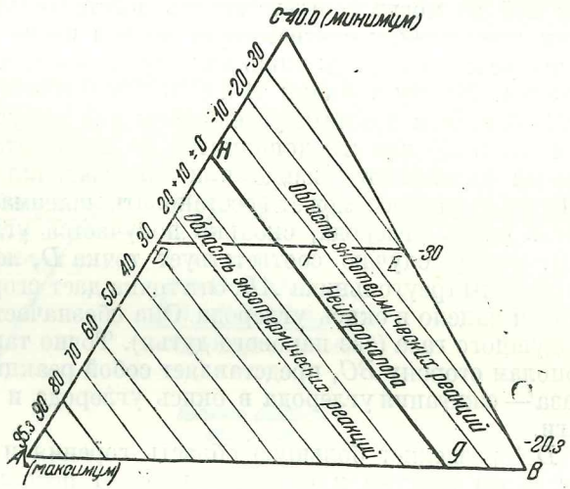
При смешанном газе точки, соответствующие анализам, должны стремиться к точке *F* и притом в направлении вниз вправо. При водяном газе точки, соответствующие анализам, должны стремиться к *F*.

На стороне треугольника *BC* находятся только эндотермические реакции. Углу *A* соответствуют сильно экзотермические реакции. Между ними лежат слабо экзотермическая реакция воздушного газа *D* и почти термонейтральная реакция смешанного газа *F* (рис. 20).

В случае горячего дутья при получении водяного газа, если продукты такового получаются по уравнению, соответствующему точке *D* с выделением тепла в 27 600 *кал*, то при паровом дутье можно газифи-

цировать столько же углерода, сколько было сожжено при горячем дутье, так как на каждую молекулу углерода потребуется для получения водяного газа почти столько же тепла (30 100 *кал*), сколько его выделяется при сгорании углерода в окись углерода; если же горячее дутье производится по уравнению, соответствующему точке *A* (по Дельвигу) с выделением на каждую молекулу углерода в 95 300 *кал*, то на каждую молекулу израсходованного при горячем дутье углерода можно газифицировать более 3 молекул углерода при получении водяного газа.

Термонейтральная (приблизительно) точка *F* реакции смешанного газа лежит на термонейтральной линии — границе, являющейся изокалорой. На этой нейтрокалоре лежат точки всех тех составов газа,



20. Изокалоры в треугольнике

которые получаются без отдачи или восприятия тепла. Из положения точки, соответствующей газовому анализу, сразу можно определить, с каким расходом или выделением тепла протекает реакция, образующая данный состав газа. На нейтрокалоре или вблизи нее должны лежать все анализы смешанного газа.

Интересна также точка *G*. Она соответствует термонейтральному сжиганию углерода воздухом и влагой, т. е. идеальному состоянию генератора для получения водорода в смешанном газе.

Наклон нейтрокалоры *HG* показывает качественно и количественно термохимическое превосходство водяного пара, применяемого в качестве материала для получения водяного газа, по сравнению с углекислотой, так как при переходе с воды на углекислоту, для того чтобы достигнуть нейтрокалоры или какой-нибудь другой изокалоры, потребуется бесполезно сжечь в углекислоту больше углерода.

Для каждой точки треугольника можно установить стехиометрическое, эмпирическое и термохимическое уравнения реакции, которой газ обязан своим происхождением.

Для точек *H* и *G*, лежащих на нейтрокалоре, имеем:

точка *H*: $C + 0{,}3\ O_2 + 0{,}4\ CO_2 = 1{,}4\ CO$;

точка *G*: $C + 0{,}15\ O_2 + 1{,}7\ H_2O = CO_2 + 1{,}7\ H_2$.

Особенно наглядными получаются соотношения, если поглощенные или выделенные количества тепла нанести перпендикулярно к плоскости треугольника.

Тогда получается изокалорическое тело, которое горизонтально срезается плоскостью, изображающей одну из нейтрокалорных плоскостей ± 0 *кал*.

Часть тела соответствует восстановлению углекислоты, введенной со стороны, т. е. не полученной по реакциям, соответствующим треугольнику. В остальной — большей — части лежат анализы генераторного газа. Изменение какого-либо анализа генераторного газа в связи с изменяющимися условиями производства (перемена горючего, высота засыпки, добавка пара) становится очень ясным, если выявлять его свойства на полученном теле.

При этом обнаруживается, что термонейтральная экономическая в тепловом отношении плоскость достигается только в случае добавления водяного пара или углекислоты. В случае работы на чисто воздушном дутье или газ будет нагреваться до очень высокой температуры, или следует отводить от генератора тепло.

Оствальд указывает, что подобным же образом, как для термохимических соотношений, могут быть построены в виде изолиний треугольника или изотерм выражаемые в числах свойства исходных веществ или получаемого газа (объемные газовые анализы, теплопроизводительность, температуры реакций, температуры газа, потребное количество воздуха, относительный объем дымовых газов, расход угля и влаги на получение 1 000 $м^3$ газа и др.). Представляется легко осуществимым проследить с помощью описанного способа изображения реакций любой ряд опытов и изменения работы в любом соотношении.

Следует иметь в виду применимость предлагаемого Оствальдом способа только для газа, полученного за счет газификации углерода, т. е. практически из антрацита и кокса. Для топлив, богатых летучими, должны быть учтены выходы таковых.

Глава вторая

УСТРОЙСТВО И КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕНЕРАТОРОВ

В простейшем выполнении генераторы представляют собой кирпичную шахту, в которую топливо загружается сверху. Слой топлива лежит на колосниковой решетке или на поду генератора. Назначением колосниковой решетки является поддерживать слой топлива, распределять подводимый в нижней части генератора воздух и удалять очажные остатки — золу и шлак — или способствовать этому удалению. Иногда решетка выполняет только часть этих функций.

В зависимости от рода применяемого топлива, назначения генераторного газа и условий газификации существуют различные конструкции генераторов и меняются способы ведения процесса газификации.

Ниже описаны эти особенности.

1. ГЕНЕРАТОРЫ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГОЙ И С ИСКУССТВЕННЫМ ПОДВОДОМ ДУТЬЯ

В генераторах с естественной тягой, называемых иначе самодувными, воздух подается и газы движутся без помощи какого-либо постороннего искусственного понуждения — в виде вентилятора или эксгаустера. Эти генераторы работают с открытым поддувалом (пространство под колосниками).

Движение воздуха и газов достигается благодаря выдавливанию наружным тяжелым холодным столбом воздуха легкого нагретого столба газа в генераторе (рис. 21).

В выключенном генераторе давление у его основания и снаружи (уровень z_0) одинаково и равно p_0. На высоте h газоотводного отверстия (уровень z_1) давление уменьшается—снаружи на вес столба воздуха высотой h и плотностью $\gamma_в$, т. е. на величину $h\gamma_в$, и в генераторе на вес столба газа высотой h и плотностью $\gamma_г$, т. е. на величину $h\gamma_г$.

Следовательно давление в генераторе на уровне z_1 равно:

$$p_г = p_0 - h\gamma_г,$$

а давление снаружи на том же уровне равно:

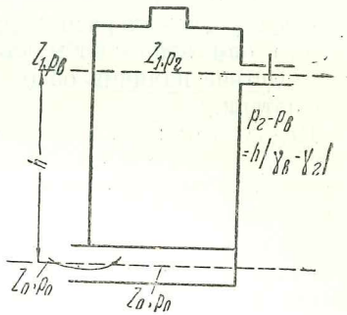
$$p_в = p_0 - h\gamma_в.$$

Так как объемный вес газа в генераторе в соответствии с его нагревом и составом значительно меньше, чем воздуха, то давление газа $p_г$ на уровне z_1 больше, чем давление воздуха $p_в$ на этом же уровне на величину:

$$p_г - p_в = p_0 - h\gamma_г - (p_0 - h\gamma_в) = h(\gamma_в - \gamma_г),$$

т. е. на величину, равную разности весов столбов холодного тяжелого воздуха и нагретого легкого газа, и если вверху генератора сделать отверстие, то газ из генератора будет выбивать наружу.

Иначе говоря, если генератор в нижней части сообщается с внешним воздухом, то, как в сообщающихся сосудах, легкий генераторный газ выдавливается более тяжелым воздухом, и выдавливающая сила равна разности весов столбов воздуха и газа.



21. Выдавливание газа в самодувном генераторе

При открытии шибера и включении следовательно генератора на газопровод часть этой силы затрачивается на преодоление сопротивления решетки и слоя засыпки, а часть затрачивается на продвижение газа в газопроводе. Чем больше высота генератора, тем больше эта выдавливающая сила.

Так как высота генератора мала и величина ее ограничена, а следовательно ограничена и движущая воздух и газы сила, производительность самодувных генераторов и давление газа вверху генератора не велики. При необходимости в большой производительности генератора или значительном положительном давлении в газопроводе поддувало закрывают и подводят к нему искусственное дутье. Этим путем увеличивается производительность генераторов и вместе с тем достигается большая экономичность вследствие относительно меньшей потери в окружающую среду и меньшего лучеиспускания колосников, закрытых в этом случае.

Принудительное движение газов в генераторе может достигаться применением как искусственного дутья, так и искусственной тяги [1], т. е. возможно не только вдувать воздух в генератор, но и засасывать его, оттягивая из генератора газы. В этом случае генератор находится под разрежением, и при наличии неплотностей в кожухе и кладке генератора или газопроводе к газу присасывается воздух.

Это составляет одно из неудобств генератора с искусственной тягой, так как в случае присоса воздуха к газу или бесполезно сгорает часть газа или же образуется смесь газа с воздухом, способная в известных случаях дать взрыв или хлопок.

[1] При обслуживании генератором газового двигателя газ обычно засасывается благодаря разрежению, создаваемому движением поршня двигателя.

Установка эксгаустера для отсасывания газов из генератора не практикуется при горячем и загрязненном смолой газе ввиду неудобств, создаваемых загрязнением и разогревом эксгаустера.

2. ЗНАЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА, ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ

Шахта генераторов может быть выполнена только из кирпича или же в комбинации с железом — в железном кожухе.

При выполнении генераторов только из кирпича они делаются прямоугольной формы и могут располагаться или отдельно, или по несколько штук в блоке. Генераторы с железными кожухами всегда располагаются отдельно и обычно бывают круглой формы.

Преимуществом расположения генераторов в одном блоке является то, что они занимают мало места; при кладке экономится металл, и вследствие наличия общих стен у генераторов уменьшаются тепловые потери.

Недостаток этой системы заключается в образовании трещин в промежуточных стенах генераторов от многократных расширений и сжатий при охлаждении и нагревании. Через эти трещины проникает газ из работающих шахт в соседние — порожние. При этом в случае недосмотра возможны образование гремучей смеси и взрыв, а также отравление персонала. Кроме того при генераторах прямоугольной формы невозможно применение круглых вращающихся решеток для механического удаления золы и шлака.

Генераторы с железными клепаными кожухами имеют круглую форму и следовательно могут быть применены лишь для сыпучих топлив — угля, торфа, древесной щепы. Их преимуществом являются возможность избежания неплотностей и применения вращающихся решеток для механического удаления золы.

3. ГЕНЕРАТОРЫ С РАЗЛОЖЕНИЕМ СМОЛ

При газификации некоторых топлив выделяются смолистые вещества, которые загрязняют газопроводы и вызывают необходимость в периодической очистке их. Кроме того содержание в газе смол бывает весьма нежелательным при применении газа для питания газовых двигателей, весьма чувствительных даже к небольшому содержанию смолы в газе из-за засорения клапанов.

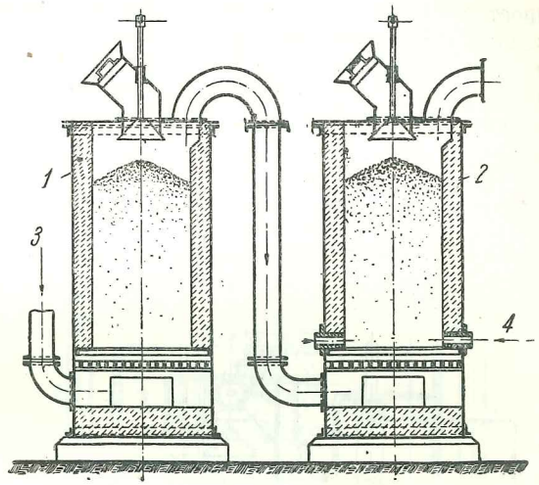
Помимо соображений очистки иногда разложение продуктов сухой перегонки вызывается желанием разложить при газификации влажных низкосортных топлив помимо смол также водяные пары, содержащиеся в газе, и тем самым обогатить газ продуктами разложения и смол и влаги. Для этой цели продукты перегонки вынуждают пройти слой раскаленного кокса.

Существует много конструкций, предусматривающих разложение этих смол и получение из них горючих газов [11, 15].

К числу этих генераторов относятся генераторы с внутренними ретортами и перегородками, в которых выделяющиеся продукты сухой

перегонки вынуждены благодаря наличию реторты или перегородки опуститься, пройти зону раскаленного угля и под влиянием высокой температуры разложиться.

По предложению Рише применяют сдвоенные газогенераторы, работающие таким образом, что газ, полученный в одной шахте, сжигается и с избыточным воздухом подается во вторую шахту, заполненную слоем кокса, в которой и происходит образование горючих газов.



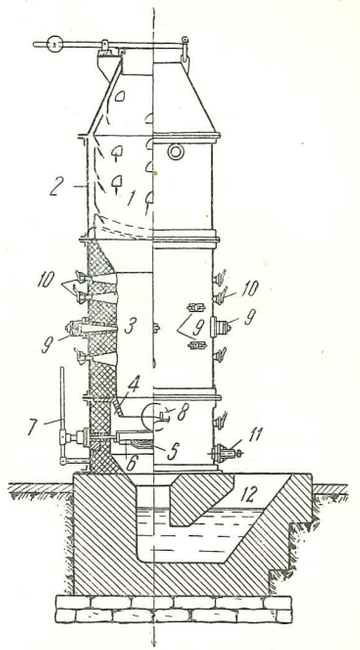
22. Сдвоенный генератор Дейца

На отчасти подобном принципе основано применение также генераторов Дейца.

На рис. 22 представлен сдвоенный генератор Дейца. В одну из шахт *1* засыпают каменный уголь, в другую *2* — кокс. Воздух подается под решетку каменноугольного генератора через отверстие *3*, и газ из него отводится под решетку второго генератора *2*, заполненного коксом. Последний поддерживается в раскаленном состоянии в результате подачи воздуха через сопло *4*. Смоляные пары каменноугольного газа при высокой температуре кокса разлагаются, и газ получается бессмольным и обогащенным продуктами разложения смол и влаги.

Этот способ невыгоден из-за необходимости сжигания кокса.

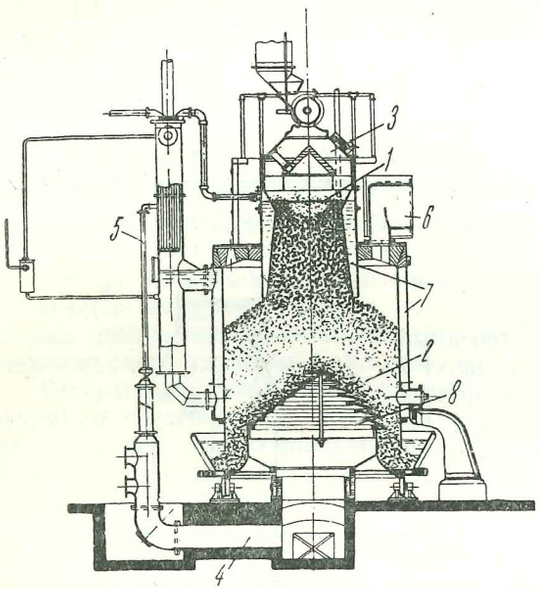
Твайт, предложил соединять по две шахты и связывать их ходами. В обеих шахтах газифицируется топливо, содержащее значительное количество смолистых веществ. С помощью инжектора воздух просасывается в одну шахту, в которой направляется снизу вверх. Полученные газы идут по верхнему соединительному каналу во вторую шахту и проходят слой топлива сверху вниз, причем смолистые ве-



23. Генератор с обращенным движением газов

щества разлагаются в раскаленном слое второй шахты. Из второй шахты газы отводятся снизу. По охлаждении слоя во второй шахте переключается клапан, направляющий воздух и газ, и меняется направление пара. Воздух начинает поступать снизу во вторую шахту, а газы с продуктами сухой перегонки — из второй шахты сверху в первую. Полученный газ отводится из первой шахты снизу.

Шахты могут быть расположены рядом или одна над другой. Сдвоенные генераторы вследствие применения двух шахт имеют увеличенные потери в окружающую среду и громоздки.



24. Генератор Дейца с двойной зоной горения:
1 — верхняя зона горения, *2* — нижняя зона горения, *3* — подача воздуха сверху, *4* — подача паровоздушной смеси снизу, *5* — подача пара для увлажнения дутья, *6* — отвод газа, *7* — водяная рубашка, *8* — вращающаяся решетка

На рис. 23 представлен обращенный генератор для получения силового газа из древесной щепы. Воздух подводится через три ряда фурм *9*. Выше фурм в шахте *1* топливо несколько подсушивается, и выделяющаяся влага конденсируется в кольцевом пространстве *2*, откуда и отводится. Топливо лежит на плоской колосниковой решетке *5*, поддерживаемой полосами *6*, по которым может скользить. Решетка соединена с рычагом *7* для встряхивания. Зола ссыпается из зольника *4* в гидравлический затвор *12*. Шахта газификации *3* снабжена шуровочными отверстиями *10* и лазом *11*. Газ отводится через отверстие *8*.

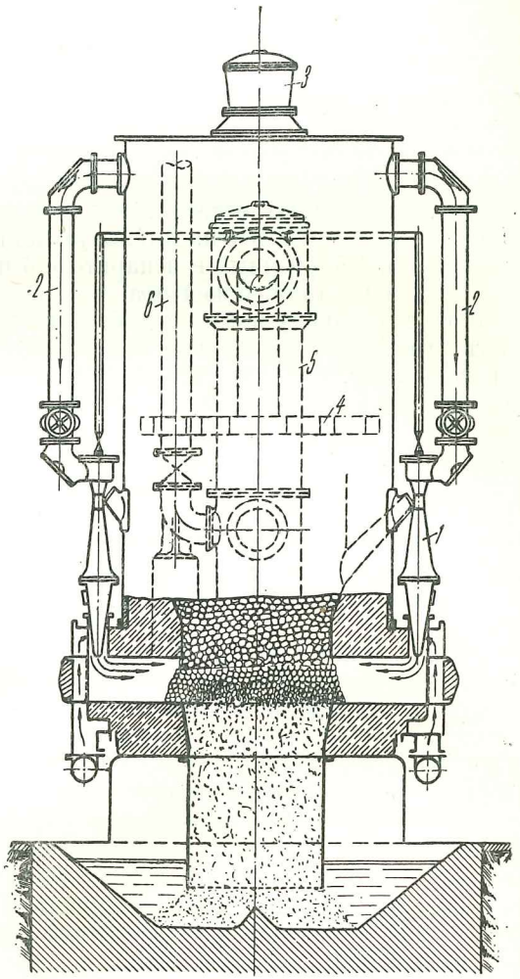
Генератор разжигается сверху, и раскаленная зона находится вверху. При загрузке топлива происходит его сухая перегонка, продукты которой проходят раскаленную зону и разлагаются. При этом воздух и топливо движутся в одном направлении, и смесь шлака и угля в нижней части генератора не омывается кислородом, а находится в соприкосновении с генераторным газом. По этой причине остатки плохо выжигаются, и со шлаком удаляется много угля. Кроме того температура отходящих газов высока.

Чтобы избежать больших потерь топлива, применяют генераторы с двумя зонами горения (рис. 24), в которых воздух поступает и сверху,

где идет сухая перегонка, и снизу — для газификации кокса. Продукты сухой перегонки топлива разлагаются в условиях температуры верхней зоны, а хороший выжиг остатков достигается вследствие подвода дутья снизу. Генераторный газ отводится из середины слоя.

В генераторах с двойной зоной для отвода газов обычно служит кольцевой канал, образующийся благодаря меньшему сечению (рис. 24) или сужению верхней части и находящийся по периферии генератора; иногда же канал образуется лежащим по оси генератора горизонтальным угольником, обращенным кверху угловым ребром.

Практика показала значительно лучшее использование в генераторах с двойной зоной древесины, торфа и брикетов бурого угля, чем каменного угля. Колебания в нагрузке чрезвычайно неблагоприятно отражаются на состоянии верхней зоны и образовании газа. При малой нагрузке трудно устранить попадание в газопровод неразложенных смолистых веществ.



25. Генератор Пинча с подводом продуктов перегонки под колосники

Помимо обращенного направления газов много попыток сделано в отношении разложения смолистых веществ путем их подведения обводным каналом в раскаленный слой или под решетку. В качестве побудителя для движения газов в подобных случаях обычно служит паровой инжектор, вызывающий также прохождение через зону перегонки горячих газов, подогревающих ее.

Продукты перегонки (рис. 25) [11] подаются инжекторами *1* из трубопроводов *2* вместе с первичным воздухом в нижнюю часть гене-

ратора, где эти продукты сгорают. Получающиеся в результате сгорания газа и смол продукты — углекислота и водяной пар, смешанные с избыточным воздухом и паром, введенным инжектором,—проходят через раскаленный слой топлива, восстанавливаясь в окись углерода и водород.

Топливо через загрузочное приспособление *3* загружается в верхнюю часть генератора, в которой происходит сухая перегонка топлива и из которой топливо попадает в нижнюю часть шахты генератора. Генератор обычно служит для питания газом двигателя, создающего разрежение, благодаря которому воздух поступает в генератор. Из середины генератора через кольцевой канал *4* отводятся газы, не содержащие смолистых веществ. Эти газы проходят трубчатый испаритель *5* и поступают в очистительную аппаратуру (скруббер и сухой очиститель). Полученный в испарителе *5* пар с давлением 0,1—0,2 *ат* служит для питания инжектора.

Вместе с продуктами сухой перегонки инжектор отсасывает часть газов, образующихся в нижней шахте. Для пуска генератора кокс, находящийся в шахте, разжигается путем вдувания воздуха специальным вентилятором; продукты горения отводятся в трубу *6*; при этом вода в испарителе *5* доводится до кипения.

В случае очень влажных топлив (древесина, торф, бурый уголь) и нежелательности ввода излишнего пара в генератор вместо котла ставится воздухоподогреватель, и инжектор обслуживается воздухом с давлением в 0,1—0,2 *ат*. При работе на коксе инжектор выключается, и пар подается непосредственно под решетку.

Слабым местом установки является применение засасывающего горячий загрязненный газ и засоряющегося инжектора

При газификации в подобном генераторе бурого угля с низшей теплотворной способностью 4 685 *кал/кг* состав газа был следующий: CO_2 — 9,4%; O_2 — 0,1%; CO — 20,1%; H_2 — 15,6%; CH_4 — 1,7%; теплотворная способность по низшему пределу — 1 156 *кал/м³*. В другом подобном генераторе с внутренним диаметром в 900 *мм* при работе на каменном угле с теплотворной способностью в 7 250 *кал/кг* состав газа был следующий: CO_2 — 8,6%; CO — 18,3%; H_2 — 14%; CH_4 — 0,6%; N_2 — 58,5%; теплотворная способность — 980 *кал/м³*; выход газа составил 5,18 *м³/кг*; к. п. д. при полной нагрузке (320 *м³/час*) — 70%; при половинной — 64%.

В некоторых конструкциях предусматривается подвод продуктов сухой перегонки в раскаленный слой, где они разлагаются без предварительного их сжигания.

Для разложения смолистых веществ предлагается также подведение в генератор топлива снизу.

Как указывалось, генераторы с разложением смол обслуживают преимущественно газовые машины (силовой газ). В последние годы начало усиленно развиваться строительство небольших газогенераторов для обслуживания автомобилей и тракторов, что связано с дефицитностью жидкого топлива.

4. ГЕНЕРАТОРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМОЛ

Получаемые при сухой перегонке топлива смолы могут представлять собой ценный продукт. В обыкновенных генераторах с низким слоем топлива последнее сравнительно быстро попадает в зону высокой температуры, под влиянием которой смолы распадаются на постоянные углеводороды и сажу, а также претерпевают изменения в своем составе, понижающие их качество как продукта, имеющего самостоятельное промышленное значение для переработки [1, 29, 30, 31].

При желании получить смолу хорошего качества и в максимально возможном количестве необходимо принять меры к достаточной продолжительности пребывания топлива в температурном интервале, соответствующем выделению смолы, и удалению смоляных паров без последующего их нагревания.

Для полного выделения смол требуется 5—6 час., и следовательно для пространства, где идет перегонка топлива, требуется большой объем. Первоначальные конструкции генераторов с внутренними ретортами, обогреваемыми снаружи газами, оказались неудовлетворительными вследствие трудности установки в генераторе большого размера реторт, а также вследствие плохой теплопередачи от газа к топливу через стенку.

По этой причине перешли к конструкциям, где газ пропускается для производства перегонки через слой топлива. Для этой цели над генератором устанавливают надстройку — шахту меньшего сечения, нежели основная. Эта шахта называется швельшахтой; в ней происходит сухая перегонка топлива путем нагрева его газами, поднимающимися снизу.

Это устройство дает возможность получить ценную смолу, так называемую первичную, перегоняемую при низких температурах.

Низкая и равномерная температура газов, пропускаемых через слой топлива в швельшахте, достигается наличием высокого слоя топлива и пропусканием в случае сухого топлива через швельшахту только части газов, получаемых в нижней шахте.

Малый диаметр швельшахты повышает скорость движения газов, что улучшает теплообмен и способствует более быстрому выделению смолы из топлива, а также благоприятствует равномерности распределения по сечению топлива и газов.

Соответственно большой высоте слоя топлива в генераторе со швельшахтой отдельные зоны получают хорошее развитие и обеспечивают хорошие состав газа и выжиг остатков, высокую производительность и равномерный ход.

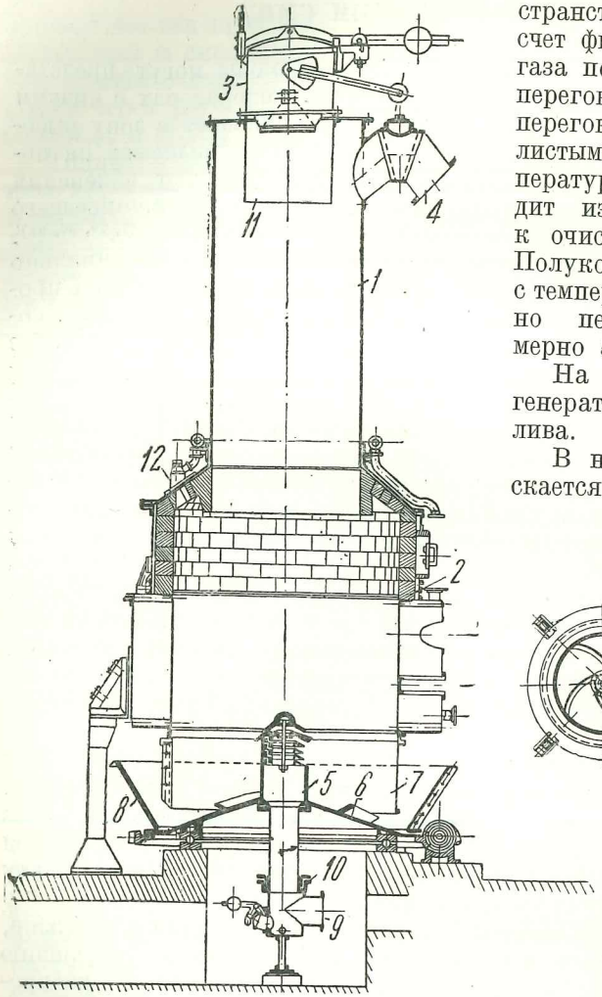
Количество газа, пропускаемого через швельшахту, варьирует в зависимости от свойств топлива, главным образом влажности. При каменном угле пропускают $^1/_3$—$^1/_4$ всего количества газов, а при буром угле с влажностью в 35% приходится весь газ пропускать через слой топлива, находящийся в стадии перегонки.

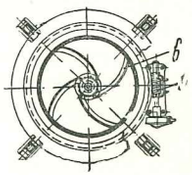
Полукокс, попадающий в нижнюю часть генератора, дает газ, аналогичный коксовому с теплотворной способностью в 1 150—1 200 *кал/м³* и с температурой около 700°. Часть газа (или весь газ) проходит про-

странство швелевания и за счет физического тепла этого газа поддерживается процесс перегонки. Газ обогащается перегоночными газами и смолистыми веществами и с температурой около 100° выходит из перегонной камеры к очистительной установке. Полукокс спускается вниз с температурой, соответственно перепаду тепла, примерно 500°.

На рис. 26 представлен генератор для влажного топлива.

В нем весь газ пропускается через швельшахту.





26. Генератор со швельшахтой, с одним отъемом газа:

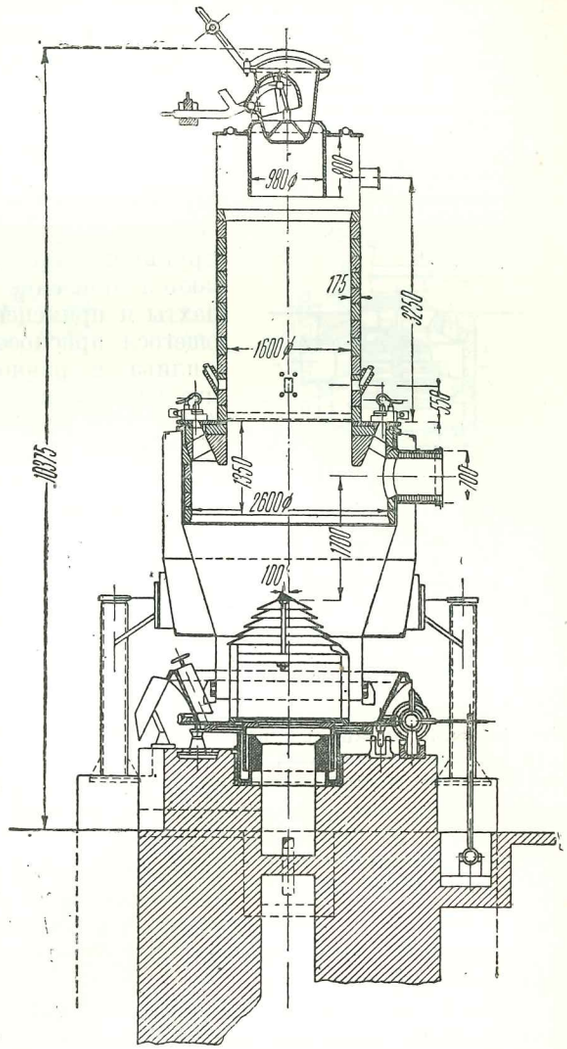
1 — швельшахта, *2* — нижняя шахта, *3* — загрузочная коробка, *4* — отвод газа, *5* — центральная решетка, *6* — фрезера чаши, *7* — фартук, *8* — чаша, *9* — подвод воздуха, *10* — сальник, *11* — юбка, предотвращающая унос пыли, *12* — шуровочное отверстие

На рис. 27 показан генератор с двумя отъемами, предназначенный для сухого топлива. Часть газов отбирается под швельшахтой. В швельшахту пускается только такое количество газа, чтобы его теплосодержание покрыло расход тепла на подсушку топлива, сухую перегонку и потерю в окружающую среду без значительного повышения температуры в швельшахте. Устройство швельшахты дает возможность несмотря на высокий слой топлива производить шуровку.

При одном отъеме газа ход процесса равномернее и регулировка легче. Поэтому для возможности устройства одного отъема в случае

не очень большой влажности топлива швельшахту иногда делают малого диаметра, высокой и неизолированной, что вызывает повышенную потерю тепла во внешнее пространство и дает возможность пропускать через швельшахту весь газ.

Устройство отдельных отъемов дает возможность отбирать меньшее количество газов через швельшахту и следовательно подвергать очистке меньшее количество их. Кроме того в этом случае из швельшахты отбирается газ с более высокой теплотворной способностью, чем при одном отъеме. Физическое тепло горячего газа из нижнего отъема может быть использовано для получения пара в трубчатом котле, что было бы невозможно при газификации содержащего смолу топлива в генераторе с одним отъемом вследствие засорения котла смолой.

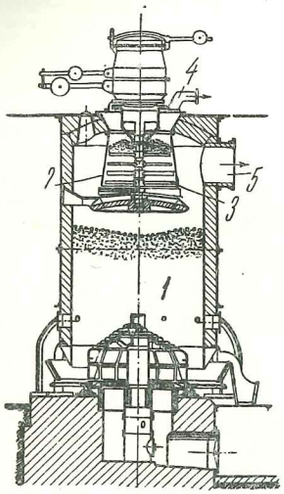


27. Генератор со швельшахтой, с двумя отъемами газа

Продолжительность перегонки и следовательно размеры перегонных камер возможно сократить, если вести этот процесс при непрерывном движении топлива. Подобное устройство (аппарат Линка) может быть применено для каменных углей, достаточно прочных и не слишком спекающихся. В этом случае продолжительность процесса швелевания может быть сокращена до 2—3 час., и перегонную камеру можно поместить в самом генераторе. Это устройство может быть приспособлено к существующим установкам без значительных переделок, требуемых в случае надстройки швельшахт (площадки, бункера).

На рис. 28 представлен подобный генератор германского общества производства газа Монда и побочных продуктов (A. G. für Brennstoffvergasung). Перегонная камера — колокол — снабжена приспособлением для ворошения топлива, чем достигаются более быстрый и равномерный прогрев и перегонка топлива и предупреждаются спекание и зависание его. Перегоночный газ удаляется из камеры вверху.

Фирмы, строившие генераторы с внутренними перегонными камерами и приспособлениями для ворошения топлива, от применения таковых отказались и перешли к генераторам со швельшахтами, причем в новых конструкциях этих генераторов предусматриваются отделение швельшахты от нижней шахты и применение специального вращающегося приспособления для ворошения топлива и равномерной загрузки его из швельшахты в нижнюю шахту (рис. 29). В подобном генераторе под швельшахтой отсутствуют более плотный центральный плохо пронизываемый газами столб топлива, имеющийся в обычных генераторах со швельшахтами, и спекание топлива.



28. Генератор с внутренней ретортой и с аппаратом для шурования топлива и его засыпки в генератор:

1 — генератор, *2* — перегонная камера, *3* — мешалка, *4* — отвод продуктов перегонки, *5* — отвод горячего газа

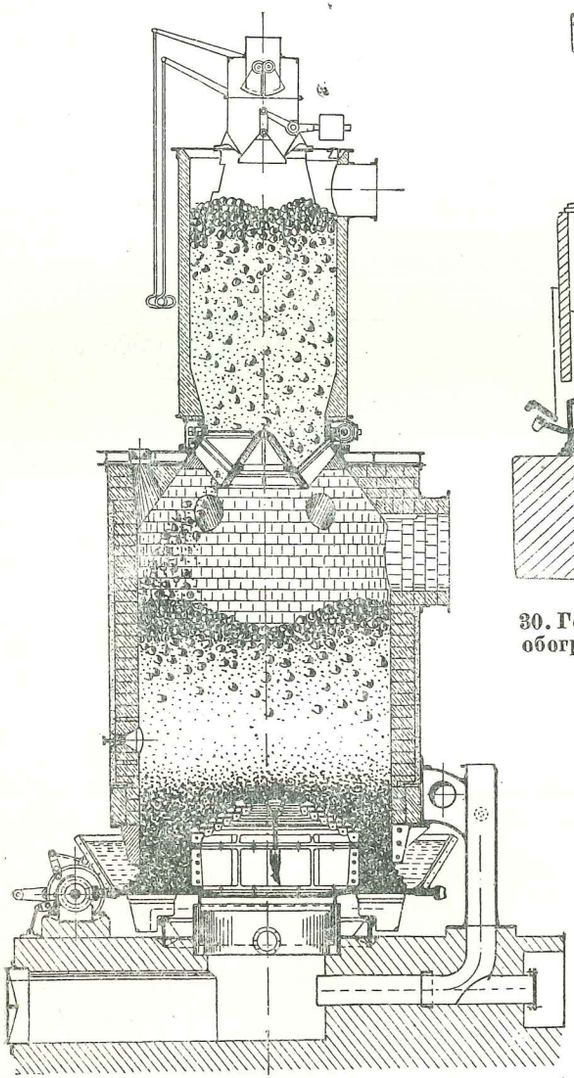
На рис. 30 представлен генератор со швельшахтой, в котором последняя помещается внутри кожуха. Горячие газы частично протягиваются через швельшахту, а частично проходят между кожухом и швельшахтой. Таким образом процесс подсушки топлива и выделения из него продуктов сухой перегонки в швельшахте происходят также за счет теплоотдачи газов, омывающих швельшахту снаружи. В нижней шахте газифицируется полукокс, получаемый в верхней шахте. В этом генераторе через швельшахту должно проходить минимальное количество газов, и следовательно теплотворная способность швельгаза должна быть максимальной.

Выход смолы в генераторах со швельшахтами и подвешенными внутренними камерами составляет при хорошем ведении процесса 85—90% и при плохих условиях — 70—75%, тогда как в обыкновенных генераторах он не превышает 50—60% от определяемого лабораторным путем.

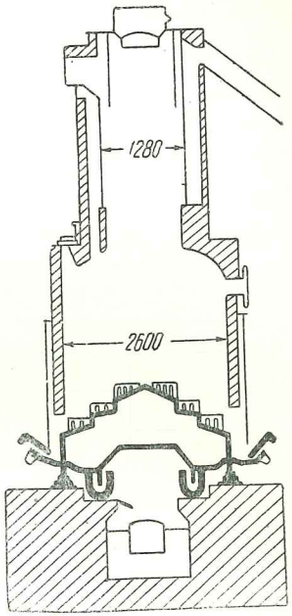
Лучшее качество смолы при газификации получается при более сухом топливе.

Целесообразнее также применять кусковое топливо или брикеты сравнительно с мелким или распадающимся топливом.

В табл. 47—49 приведены данные о составе газа при генераторах со швельшахтами и о работе таковых.



29. Генератор со швельшахтой и с аппаратом для шурования топлива и его засыпки в нижнюю шахту



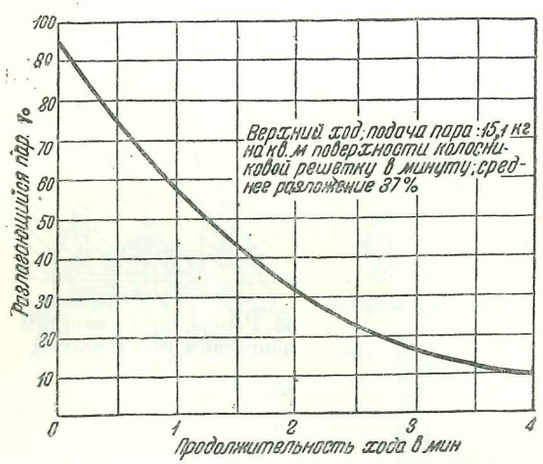
30. Генератор с внешним обогревом швельшахты

5. ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЯНОГО ГАЗА

Свойства и получение водяного газа

Водяной газ имеет широкое применение для нужд бытового потребления в качестве добавки к ретортному газу и в карбюрированном виде, а также для нужд промышленности в качестве топлива, дающего высокий пирометрический эффект, и в качестве химического сырья для целей синтеза аммиака, гидрирования, получения жидких топлив и т. д.

Водяной газ состоит главным образом из водорода и окиси углерода. В небольшом количестве в нем всегда содержатся углекислота, азот, метан и сероводород. Примесь азота связана с увлечением водяным газом остатков продуктов горячего дутья и отчасти с наличием азота в топливе; метан попадает в газ преимущественно из топлива, но может в небольших количествах образовываться и в результате взаимодействия газов, чему способствует каталитическое влияние золы кокса; содержание в газе сероводорода зависит от содержания серы в топливе.



31. Изменение количества разлагающегося пара в период дутья пара сверху

В небольшом количестве в водяном газе также содержится [3] тонкая пыль, состоящая преимущественно из кремнезема и серы. Эта пыль трудно отделима от газа и засоряет трубопроводы, измерительные приборы и т. д.

Водяной газ горит голубым, прозрачным, мало лучеиспускающим пламенем, почему он и называется г о л у б ы м газом.

Как уже указывалось, при производстве водяного газа через слой раскаленного кокса или антрацита пропускается перегретый пар, реагирующий с углеродом. При этом выделяется водород, а кислород окисляет углерод топлива в окись углерода и углекислоту. Так как при этой реакции поглощается тепло, то температура раскаленного слоя быстро падает, и реакция получения водяного газа замедляется. Тогда прекращают подачу пара и через слой топлива пропускают струю воздуха, сжигающую углерод в окись углерода и углекислоту и повышающую температуру засыпки.

Пар и воздух впускаются попеременно, причем водяной газ отводится к месту потребления, а получаемые при воздушном дутье продукты полного и неполного сгорания или отводятся в атмосферу или в специальные камеры, где их сжигают и используют выделяющееся тепло. В генераторе водяного газа даже в отдельные периоды нет установившегося состояния: в период подачи воздуха температура слоя растет, и увеличивается содержание окиси углерода в получающихся газах, а в период парового дутья температура слоя падает, и уменьшается количество разлагаемого пара. Период воздушного дутья и повышения температуры в слое ограничивается шлакованием и потерей в химическом тепле продувочных газов, а период парового дутья — уменьшением выработки водяного газа и потерей с неразложенным водяным паром. Кривая на рис. 31 показывает, как сильно уменьшается количество разлагаемого пара с падением температуры топлива, а табл. 26 — происходящее при этом изменение состава газа [34].

Таблица 26

Изменение состава водяного газа (в %) в период дутья пара

Состав	Первые 2 минуты	Следующие 2 минуты	Последние 2 минуты
CO_2	2,95	5,30	8,55
O_2	0,45	0,30	0,10
CO	45,60	39,50	34,20
H_2	44,95	51,20	53,00
CH_4	0,10	0,05	0,10
N_2	5,90	3,60	4,05
Теплотворная способность газа (*в кал/м³*)	2 065	2 065	1 990

Состав продувочных газов и содержание в них окиси углерода приведены в табл. 11 и 27 [16, 33].

Таблица 27

Анализы продувочных газов

Состав	Британская топливоизыск. станция, высота слоя топлива 1,2 м	Британская топливоизыск. станция, высота слоя топлива 2,1 м	Чернореч. химкомбинат	Ленингр. гидроген. завод, минуты 1-я	Ленингр. гидроген. завод, минуты 2-я	Ленингр. гидроген. завод, минуты 3-я	Московский гидроген. завод
CO	2—3	9,3	6—12	2	7	9	3,8—8,6
H_2	0,2—0,8	3,7	3—8	—	—	—	—
CH_4	0,5—0,7	0,8	0,2—0,5	—	—	—	—
CO_2	19—19,5	14,5	13—15	—	—	—	17
N_2	76,8—77,3	7,6	68—76	—	—	—	—
O_2	0,1—0,3	0,1	—	—	—	—	—

Приведенные в табл. 11 данные Оргхима об увеличении содержания в продувочных газах углекислоты с увеличением скорости дутья свидетельствуют о целесообразности возможно большей интенсив-

ности дутья. Унос мелочи и пыли, а отчасти расход энергии ограничивают давление дутья пределом в 750—1 000 *мм*.

Изменение скорости парового дутья вызывает некоторое изменение степени его разложения. Количество разлагаемого пара составляет 50—70% от общего.

Соотношение количества пара и воздуха и продолжительность периодов воздушного дутья и газования определяют температуру слоя и состав газов.

При дутье снизу нижняя часть слоя топлива сильно охлаждается, а верхняя остается горячей. Это способствует получению в период дутья воздухом большего количества окиси углерода в газах и более высокой их температуре, а также худшему выгоранию топлива. Для улучшения режима и достижения большей экономичности процесса применяют помимо дутья пара снизу вверх также дутье пара сверху вниз. Дутье пара сверху вниз не должно производиться непосредственно после воздушного дутья, так как водяной газ может образовать под решеткой в смеси с воздухом взрывчатую смесь; поэтому перед пуском пара сверху обязателен пуск пара снизу. По этим же причинам перед пуском воздуха в генератор подают под решетку пар.

Соотношение количества пара, подаваемого вверх и вниз, должно быть таково, чтобы более горячая зона была возможно ниже.

Высота слоя топлива

Высота слоя топлива в генераторах водяного газа обычно не превышает 2 *м*. При выборе высоты слоя руководствуются соображениями качества самого топлива (размер кусков, реакционная способность), сопротивления слоя, скорости газов и продолжительности периодов дутья. Чем толще слой топлива, тем холоднее газы, выходящие из генератора, тем больше разложение пара, тем больше сопротивление слоя и тем больше окиси углерода находится в продуктах горячего дутья.

В отношении выбора высоты слоя и режима генератора нет вполне установленных правил. Возможна работа с низким слоем топлива, сильным воздушным дутьем и малым расходом пара или с высоким слоем топлива и большей производительностью генератора. В табл. 11 и 28 приведены данные о влиянии высоты слоя топлива и производительности на состав газов воздушного и парового дутья [3].

Эти данные не дают возможности сделать надежные выводы о влиянии высоты слоя на режим, но указывают на возможность работы при различных условиях.

Продолжительность циклов и отдельных стадий и последовательность последних

Продолжительность полного цикла парового и воздушного дутья колеблется в пределах 4—15 мин. Чем короче цикл, тем равномернее и лучше работа генератора; однако при слишком малой продолжительности цикла относительно много времени затрачивается на переключение клапанов и продувки и больше продувочных газов примешивается к водяному газу. Сложность обслуживания установок водяного газа, заключающаяся в необходимости частого переключения клапанов, вызвала применение механизмов, автоматически управляющих работой клапанов и открывающих и закрывающих их по определенному расписанию. Применение их также способствует возможности уменьшения продолжительности отдельных циклов.

Таблица 28

Влияние высоты слоя топлива и производительности на получение водяного газа

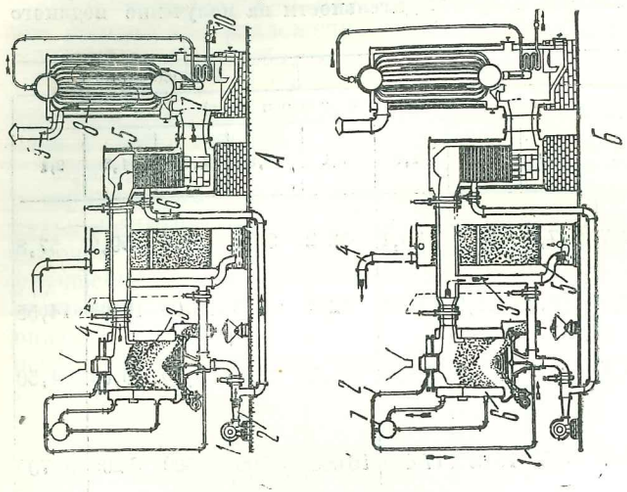
	Исследование А					Исследование Б			
	Высота слоя (в *м*)								
	1,2	1,3	1,5	1,8	2,1	0,9	1,05	1,2	2,1
К. п. д.	50,7	47,0	53,3	56,1	52,2	54,7	57,8	59,9	57,8
% CO_2 в продувочных газах	13,6	16,2	11,8	12,1	12,2	19,5	19,03	19,06	14,55
% CO_2 в водяном газе	4,7	8,2	5,5	4,5	4,2	8,30	5,30	6,00	4,50
Производительность в сутки (в $м^3$)	10 300	8 700	16 000	17 400	16 000	6 700	6 500	6 200	10 700

В табл. 29 приведены данные Рамбуша [34] относительно продолжительности отдельных стадий при производстве водяного газа. Во многих установках стадия парового дутья подразделяется на две — дутье сверху и дутье снизу.

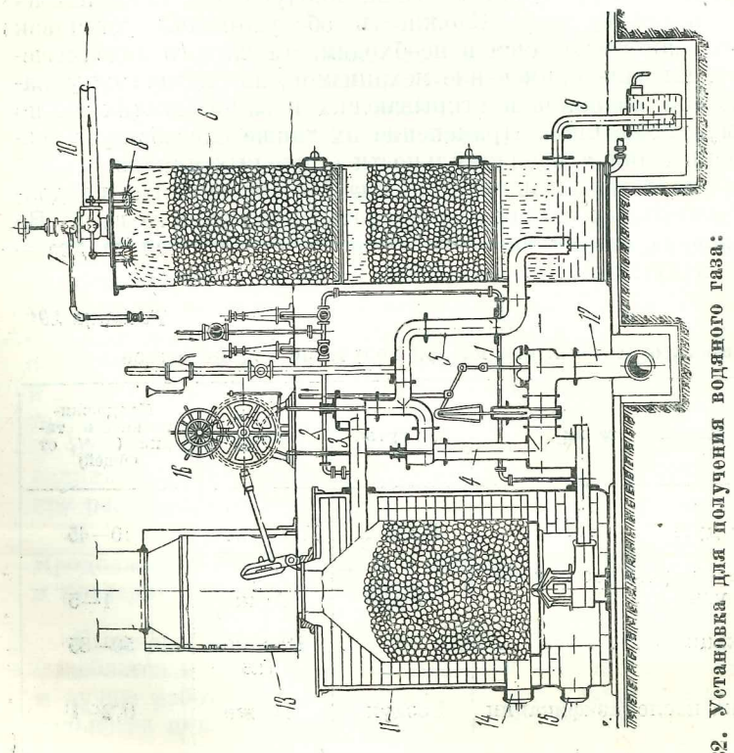
Таблица 29

Продолжительность отдельных стадий при получении водяного газа

№ стадии	Наименование стадии	Род дутья	Продукт	Продолжительность стадии (в % от общей)
1	Горячее дутье	Воздух	Продувочный газ	10—45
2	Продувка паром после горячего дутья	Пар	То же	1—5
3	Газификация	»	Водяной газ	50—85
4	Продувка после газификации	Воздух	То же	0,2—1



33. Установка для получения водяного газа:
А — горячее дутье: *1* — вентилятор, *2* — подача воздуха, *3* — генератор, *4* — ход продуктов горячего дутья, *5* — камера сгорания, *6* — подача воздуха в камеру сгорания, *7* — ход продуктов сгорания, *8* — котел на отходящих газах, *9* — отвод продуктов сгорания в атмосферу, *10* — отвод перегретого пара.
Б — паровое дутье: *1* — подача пара снизу, *2* — подача пара сверху, *3* — ход водяного газа, *4* — отвод водяного газа, *5* — скруббер, *6* — пароводяная рубашка, *7* — паросборник



32. Установка для получения водяного газа:
1 — паропровод к нижней части генератора, *2* — паропровод к верхней части генератора, *3* — газопровод водяного газа от верхней части генератора, *4* — газопровод водяного газа от нижней части генератора, *5* — газопровод водяного газа к скруббер, *6* — скруббер для промывки газов, *7* — подача воды в скруббер, *8* — разбрызгивающие воду приспособления, *9* — отвод воды, *10* — газоотвод из скруббера, *11* — газогенератор, *12* — воздухопровод от вентилятора, *13* — труба для отвода продуктов воздушного дутья в атмосферу, *14* — люк для чистки, *15* — люк для осмотра и чистки, *16* — лебедка для управления клапанами

На рис. 32 и 33 представлены установки для получения водяного газа. По схеме (рис. 33) продувочные газы до попадания в котел-утилизатор дожигаются в специальной камере, в которую подается вторичный воздух. Пар для дутья, собирающийся вверху рубашки и в паросборнике, подается попеременно сверху и снизу генератора.

Охлаждение и очистка генераторного газа производятся в скруббере.

Дожигание продуктов воздушного дутья может производиться также в самом газогенераторе; для этой цели в верхнюю часть генератора должно быть подведено воздушное дутье. Это способствует сокращению продолжительности воздушного дутья и быстрому разогреву слоя.

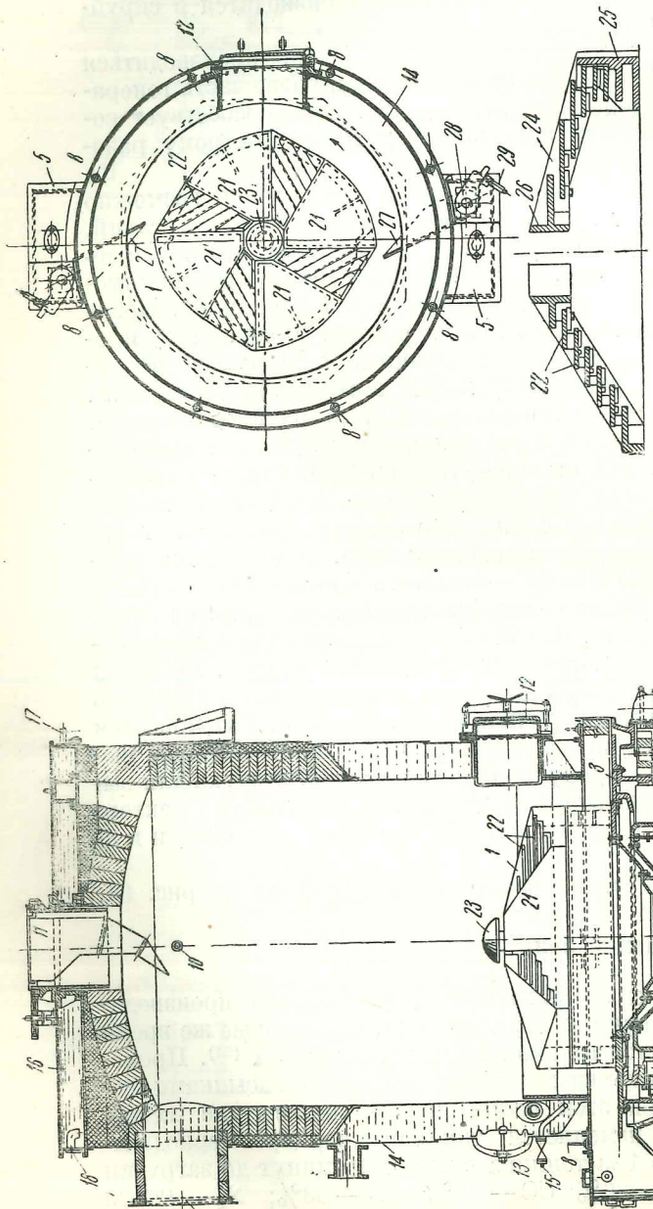
Из практики работы новейшей установки генераторов возможно привести следующие данные. Весь процесс состоит из шести стадий.

В стадии воздушного (горячего) дутья воздух пропускается в течение 1 мин. через кокс снизу, а продукты горения углерода отводятся в атмосферу. Температура кокса при этом поднимается. После прекращения подачи воздуха через кокс в течение 10 сек. снизу пропускается пар. Получающийся газ, смешанный с воздухом, остающимся после воздушного дутья, выпускается в атмосферу (продувка). В третьей стадии пуск пара в генератор снизу вверх продолжается, но образующийся чистый водяной газ направляется уже не в атмосферу, а в коллектор газа. Эта стадия — газификация снизу — продолжается $2^1/_2$ мин., и при этом температура кокса, особенно в нижней части засыпки, падает. Верхний слой кокса остается достаточно горячим для продолжения процесса выработки газа. В это время процесс вступает в четвертую стадию — меняется направление пара, и он пускается сверху. Эта стадия — газификация сверху — длится 1 мин. Газ при этом отводится снизу. Пятая стадия заключается в переключении пара на нижнее дутье. Это — промежуточная стадия, имеющая целью очистить нижнюю часть генератора и газопровод от газа во избежание взрыва, могущего быть при подаче воздуха. Газ при этом отводится сверху. Эта стадия продолжается 15 сек. Последняя, шестая, стадия заключается в пропуске в течение 5 сек. воздуха для вывода остатков газа из генератора и каналов в главный коллектор. Эта стадия называется продувкой после газификации.

Газогенератор для получения водяного газа показан на рис. 34.

Загрузка топлива и удаление золы

Загрузка топлива в генераторах водяного газа раньше производилась во всех установках вручную периодически, в настоящее же время ручная загрузка применяется только в малых генераторах [34]. Промежутки времени между отдельными периодическими засыпками составляют 45—75 мин. При этом состав газа в промежутке между двумя засыпками сильно изменяется; так например при периодической загрузке в генератор 1 *м* топлива в час за 10 минут до загрузки анализ газа показал: CO_2 — 6%; CO — 37%; H_2 — 53%; N_2 — 4%, и



1 — вращающаяся колосниковая решетка системы Рамбуша, *2* — опорный ролик решетки, *3* — поддон, *4* — привод золоудаления, *5* — зольный карман. *6* — дутьевая коробка. *7* — клапан для спуска пыли и золы из коробки, *8* — подвод пара снизу, *9* — штуцер для отвода газа, *10* — подвод пара сверху, *11* — автоматическое загрузочное приспособление, *12* — смотровая дверка, *13* — люк охлаждающего кожуха, *14* — охлаждаемая жух, *15* — питательная труба охлаждающего кожуха, *16* — охлаждаемая водой крышка, *17* — подвод воды в крышку, *18* — отвод воды, *19* — подвод воды в затвор решетки, *20* — отвод воды, *21* — сектора решетки, *22* — косники решетки. *23* — головка решетки, *24, 25* — балки с приливами для плитчатых колосников, *26* — букса для головки решетки, *27* — нож, удаляющий золу, *28* — рычаг ножа, *29* — упорный винт для поворота ножа, *30* — масляная ванна приводного механизма

34. Генератор водяного газа

через 10 мин. после загрузки: CO_2 — 4%; CO — 41%; H_2 — 50%; N_2 — 5%. Изменение состава газа вызывается изменением толщины и сопротивления слоя топлива, а также понижением температуры перед загрузкой.

В настоящее время в больших установках применяют механические загрузочные приспособления. Они могут быть приспособлены как для периодической, так и для непрерывной загрузки.

Удаление золы представляет в генераторах водяного газа особо трудную операцию.

В период воздушного дутья в генератор подается только воздух, и в нижней части генератора развиваются очень высокие температуры, способствующие плавлению золы, а в период парового дутья температуры значительно снижаются, и в случае наличия расплавленного шлака последний превращается в плотную массу.

При ручном способе зола удаляется 2—3 раза в сутки. Для этой цели генератор выключают на 1—1½ часа, открывают дверки, служащие для чистки, и через них взламывают и удаляют шлак. Вместе с шлаком выгребается и часть топлива, что определяет большую потерю с выгребом. В современных генераторах большой мощности удаление золы и шлака производится непрерывно механическим путем, что способствует более равномерному режиму и избежанию потерь. Применяется как сухое золоудаление, так и мокрое. При сухом золоудалении может быть применено [34] более высокое давление (применялось до 2 500 *мм* вод. ст.), но в этом случае механизм золоудаления менее доступен и требует остановки генератора при выгрузке золы из кармана. Мокрое золоудаление более доступно и не требует остановок генератора; его недочетом являются ограниченность в допустимом давлении и сильные колебания уровня воды при изменениях давления. Применение водяного затвора является более подходящим при производстве карбюрированного водяного газа, при котором работают с меньшими давлениями в целях получения продувочных газов с большим содержанием окиси углерода.

До последнего времени применяли генераторы водяного газа без охлаждающих кожухов, и при этом шлак приплавлялся к кирпичам футеровки. Для устранения этого недочета в генераторах водяного газа начали применять охлаждающие кожухи.

Показанный на рис. 34 генератор представляет собой современную конструкцию генератора водяного газа большого размера (диаметр 3 000—3 600 *мм*). Загрузка топлива в этом генераторе производится непрерывно автоматически с помощью приспособления *11*, вращающегося и распределяющего топливо по сечению генератора. Для удобства монтажа загрузочного приспособления и обслуживания свод генератора перекрыт механической охлаждаемой водой крышкой. Подробнее загрузочное приспособление описано ниже (рис. 81).

Золоудаление осуществляется с помощью вращающегося поддона и решетки системы Рамбуша, смонтированной на поддоне. Уплотнение нижней части генератора сухое и производится металлическим кожухом, основная плита которого служит опорой для поддона

решетки. Кожух снабжен двумя карманами, в которых собираются зола и шлак. Периодически при включении генератора задвижки карманов, приводимые в движение гидравлической силой, открываются, и зола и шлак удаляются в вагонетку, устанавливаемую под карманом. В дутьевой коробке под решеткой возможно скопление золы и пыли, уносимых с газами, для удаления которых служит специальный клапан. Через отверстия клапанов в кожухе и в дутьевой коробке возможен при выключении генератора осмотр решетки и приводных приспособлений.

В некоторых больших генераторах водяного газа применяют для механического удаления золы и шлака и другие решетки, совершенно отличного от описанной типа, а именно с вращающимся брусом (см. ниже генератор Геца).

В целях значительной интенсивности и бесперебойности работы генератор снабжен охлаждающим кожухом, вверху которого собирается используемый для дутья пар.

Обслуживание решетки и шуровка генератора в случае сильного заплакования возможны через имеющийся лаз.

Данные о работе генераторов водяного газа и использовании тепла топлив в них

Результаты испытаний генераторов водяного газа ([35]) диаметром в 3 050 *мм* описанного типа приведены в табл. 30.

Таблица 30

Результаты испытания генераторов водяного газа

Производительность одного генератора в м³/24 часа (15°, 760 мм)	Выход газа (15°)	Анализ газа в объемных процентах				
	в м³/кг кокса	CO_2	CO	H_2	CH_4	N_2
43 500	2,12	6,0	39,5	48,5	1,0	5,0
42 500	1,99	6,4	38,1	51,5	0,7	2,3
39 200	1,86	7,1	39,3	50,1	0,7	2,8
43 300	1,85	7,0	40,9	48,5	0,7	2,9

В последнее время достигается много бóльшая производительность—для кокса до 550 и для аптрацита до 320 $м^3/м^2$ час.

Водяной газ и продукты воздушного дутья на пути от генератора отдают свое физическое тепло в специальных приспособлениях, причем продукты воздушного дутья дожигаются. Вводимый в генератор пар сильно перегревается.

Использование тепла топлива и пара, введенных в генератор, в химическом тепле водяного газа составляет в среднем 50—60%; много тепла теряется с продуктами горячего дутья — 20—28%.

В табл. 31 приведены тепловые балансы ([3, 36]) генераторов водяного газа.

Таблица 31

Тепловые балансы генераторов водяного газа

Наименование статей	№ опыта		
	1	2	3
Приход тепла			
Кокс	92,52	93,41	82,81
Пар	7,35	6,50	17,10
Воздух	0,13	0,09	0,09
Всего	100,00	100,00	100,00
Расход тепла			
Теплотворная способность водяного газа	57,81	52,19	46,32
Теплосодержание водяного газа	3,23	2,04	1,82
Теплотворная способность продувочных газов	18,95	22,59	20,02
Теплосодержание продувочных газов	9,33	5,30	4,71
Теплотворная способность горючего в провале	4,54	6,94	5,23
Теплотворная способность пыли, уносимой с газом	0,33		0,93
Теплосодержание остатков и пыли	0,33	0,42	0,37
Теплосодержание водяного пара	2,20	2,32	2,06
Потеря в окружающую среду и неучтенные потери	3,28	8,20	18,54
Всего	100,00	100,00	100,00
Приблизительная средняя температура продувочных газов	700°	—	—
Приблизительная средняя температура водяного газа	503°	—	—

Примечание. Баланс 3 относится к случаю газификации кокса (6-й отчет Американского газового института) со следующими показателями: средний состав водяного газа: CO_2 — 4,2%; O_2 — 0,1%; CO — 41,4%; H_2 — 49,2%; CH_4 — 0,8%; N_2 — 4,3%; высшая теплотворная способность — 2 650 *кал/м³*, низшая — 2 380 *кал/м³*; средний состав газов горячего дутья: CO_2 — 12,2%; O_2 — 0,2%; CO — 12,8%; H_2 — 3,0%; CH_4 — 0,5%; N_2 — 71,3% (485 и 468 *кал/м³*). Под 17,10%, введенными с паром, следует понимать топливо для производства пара для генератора (8,82%) и для турбины (8,88%). Потеря в окружающую среду в 18,54% учитывает потери при получении пара для генератора (2,47%) и для турбины (2,67%), тепло, использованное

и потерянное в воздуходувке (6,15%), потери вследствие радиации и конвекции и неучтенные потери (7,25%).

К.п.д. установки водяного газа в целом может быть значительно повышен (на 5—10%) путем использования тепла отходящих газов для получения и перегрева пара. Ввод в генератор перегретого пара дает экономию в расходе кокса, повышая вместе с тем производительность генератора.

Получение водяного газа из топлив с высоким содержанием летучих

Для производства водяного газа применяют преимущественно кокс, иногда антрацит. Применение более дешевых местных топлив со значительным содержанием летучих связано с потерей этих летучих.

Кроме того коксовый остаток молодых топлив обладает высокой реакционной способностью, что способствует получению в период воздушного дутья больших количеств окиси углерода.

Стремление заменить антрацит и кокс битуминозным топливом имело место давно, что преследовало цели удешевления стоимости газа и использования менее дефицитных топлив.

Часть методов, предложенных для получения водяного газа из битуминозных топлив, предусматривает разложение в генераторе продуктов сухой перегонки и следовательно получение газа, приближающегося по теплотворной способности к обычному водяному [37].

По методу, предложенному Штрахе, воздухом продувается нижняя часть слоя топлива, и продувочные газы дожигаются в камере с насадкой — регенераторе; через некоторое время при сильном разогреве слоя кокса в генератор сверху подается прошедший через регенератор и сильно перегретый пар. Проходя через свежезагруженное топливо, пар производит сухую перегонку топлива и, смешанный с продуктами сухой перегонки, проходит сильно раскаленный слой кокса, в котором эти продукты разлагаются, а пар образует водяной газ. Разложение смолистых веществ происходит достаточно полно. Для газификации подобным методом пригодны неспекающиеся угли. При опытах, произведенных с германским каменным углем (верхнесилезским) с содержанием углерода в 52% и теплотворной способностью в 5 784 *кал/кг*, и с бурым углем, содержавшим 42,9% углерода, 19,6% влаги и 8,1% золы, был получен газ с средней теплотворной способностью в 2 500 *кал/м*^{3}. Расход топлива на 1 *м*^{3} газа составил 0,6 *кг* каменного угля и 1 *кг* бурого угля. К.п.д. газификации был равен в случае каменного угля 72% и в случае бурого угля — 66%.

По указанию Крамера и Арта [3, 37], газификация битуминозного топлива, предусматривающая разложение в генераторе продуктов сухой перегонки, протекает следующим образом. Два генератора соединены с общим регенератором. Воздушное дутье производится одновременно в обоих генераторах, причем продукты воздушного дутья дожигаются в регенераторе. Паровое дутье производится попеременно — то в один, то в другой генератор. Получившийся в одном генераторе водяной газ, смешанный с продуктами сухой перегонки, сжигается в регенераторе, а продукты горения пропускаются через

второй генератор сверху вниз, где они превращаются в горючий газ. Этот способ себя не оправдал.

Можно продукты парового дутья не подвергать сжиганию, а только сильно подогревать в регенераторе для разложения углеводородов. Загрузка топлива в этих случаях идет в шахту, через которую должно быть пущено паровое дутье.

Известно получение водяного газа из битуминозных топлив путем работы с обращенным направлением газов в период и воздушного и парового дутья. В других конструкциях предусматривался пропуск газа и паров, полученных из битуминозного топлива, через отдельную шахту, в которой газифицировался кокс.

Условия рынка вынуждали за границей к переходу в установках водяного газа от работы на коксе к работе на битуминозном топливе. Переход потребовал изменения периодов горячего и холодного дутья для лучшего использования тепла продувочных газов и лучшего распределения тепла в слое топлива.

Повышение экономичности газификации в частности достигалось путем примешивания к водяному газу продуктов воздушного дутья в течение небольшой последней части периода (последние 10—17 сек.), когда в газах имеется высокое содержание окиси углерода вследствие высокой температуры слоя и значительной активности топлива, большей, чем каменноугольного кокса. Эти продукты воздушного дутья могли получаться также и путем подачи воздуха в этот небольшой период сверху вниз, что способствует более равномерному распределению температур в слое топлива и получению лучшего по качеству газа вследствие большего восстановления в слое углекислоты, получающейся при горении топлива.

При работе с частичным обратным воздушным дутьем отдельные периоды процесса протекают в следующей последовательности: прямое воздушное дутье, обратное воздушное дутье, прямая подача пара (прямое газование), обратное газование, прямое газование и продувка. Продолжительность обратной подачи пара составляет от $^1/_3$ до $^2/_5$ всего периода газования.

Разложение смолистых веществ, остающихся в газе в период подачи пара, на постоянные газы может быть достигнуто путем пропуска газа по выходе из генератора через камеры, заполненные сильно разогретой насадкой (перегреватели, регенераторы, фиксаторы, крекеры). Разогрев этих камер производится путем дожигания в них продуктов горячего дутья.

При переходе с работы на коксе к работе на битуминозных углях оказалось, что генераторы, особенно при больших размерах, работают не всем сечением и что середина слоя по оси генератора представляет собой мертвый, плохо прококсованный столб топлива. Для устранения этого недочета весьма полезным оказалось устройство в середине генераторов шамотных сердечников (кернов) или перегородок.

Опыт показал, что уголь, применяющийся для получения водяного газа, не должен быть сильноспекающимся и не должен содержать пыли; давление дутья не должно быть высоким — более 500—550 *мм* — во избежание сильного уноса.

Обладающий большой реакционной способностью, полукокс молодых топлив может разлагать водяной пар с образованием углекислоты при низких температурах. Гвоздьем [141] были проведены опыты по газификации на водяной газ при низких температурах (800°) богемского бурого угля. Количество подаваемого пара, перегретого до 450°, было велико и составляло 2 *кг/м*³ газа. Газифицировался богемский бурый уголь с влажностью 38,5%, зольностью 7,2% и низшей теплотворной способностью в 2 540 *кал/кг*. Продолжительность горячего дутья составляла 2 мин. и холодного—8 мин. Состав газов воздушного дутья был следующий: CO_2 — 16,2%; C_mH_n — 0,1%; O_2 — 0,1%; CO — 4,2%; H_2 — 6,0%; CH_4 — 1,8%. Состав водяного газа: CO_2 — 24,8%; C_mH_n — 0,6%; O_2 — 0,1%; CO — 7,9%; H_2 — 56,3%; CH_4 — 6,3%; N_2 — 4,0. На 1 *м*³ водяного газа было израсходовано 1,45 *кг* бурого угля и 2,3 *кг* водяного пара. Количество получаемого в период газования водяного газа постепенно уменьшалось и составляло в первую минуту 24,2% и в последнюю—6,1%.

Генератор имел диаметр 730 *мм* и высоту — 4 200 *мм*. Интенсивность газификации составляла 160 *кг/м*² *час*.

Подобный способ газификации, связанный с потерей в период воздушного дутья значительной части летучих, может дать следующие преимущества: получение газа с повышенным содержанием водорода и избежание образования в период воздушного дутья больших количеств окиси углерода и шлакования.

Получение водяного карбюрированного газа

Водяной газ может быть карбюрирован или парами бензина и бензола (холодная карбюрация) или масляным газом (горячая карбюрация). Карбюрация газа повышает теплотворную способность газа и его светимость. Карбюрация может преследовать цели удешевления передачи газа, приближения его теплотворной способности к определенной норме (стандартный газ), а также улучшения его использования в печах, для которых часто требуется возможно более лучеиспускающее пламя. Применение имеет преимущественно горячая карбюрация, для которой используется тепло, содержащееся в продувочных газах. Последние дожигаются в карбюраторе (крекер, фиксатор, перегреватель) — камере с огнеупорной насадкой, в результате чего насадка разогревается до температуры 700—800°. При проходе через камеру водяного газа туда вспрыскивается нефтяное топливо, разлагающееся под влиянием нагрева на более легкие углеводороды — постоянные газы (метан, этилен и др.) и летучие жидкости, обладающие высокой теплотворной способностью. Получаемый газ (смесь газов) называется карбюрированным водяным газом.

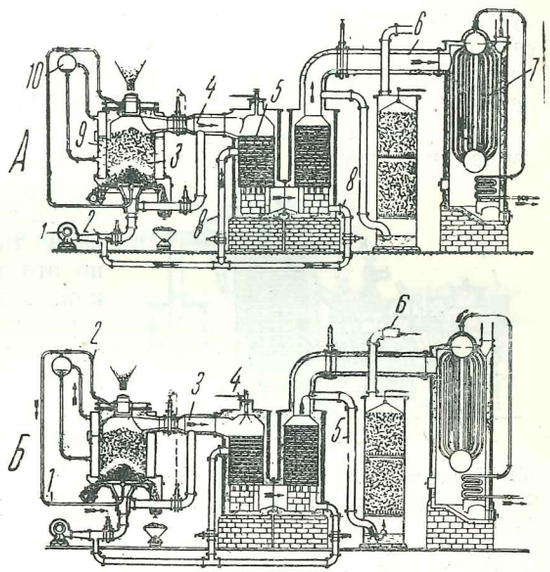
Карбюрации может быть подвергнут также смешанный генераторный газ. В этом случае разогрев карбюратора осуществляется или за счет сжигания осадков, выделяющихся в период впуска жидкого топлива, или за счет сжигания в насадке газа или другого топлива.

На рис. 35 представлена установка Пинча для получения водяного карбюрированного газа. Продукты горячего дутья в этой установке

дожигаются в заполненных насадкой карбюраторе и перегревателе. Тепло газов, выходящих из перегревателя, используется в котле для получения пара. При вдувании в генератор водяного пара и получении водяного газа в карбюратор вспрыскивается нефтяное масло, разлагающееся в карбюраторе и перегревателе с получением нефтяного газа. Полученный водяной газ поступает для охлаждения и очистки в скруббер и оттуда через коллектор в газгольдер.

Распыление нефтяного топлива производится или паром или механически.

Нефтяные масла [3] представляют собой нефть с отогнанными газолиновыми и керосиновыми фракциями. Они кипят при температуре 150—400° и дают в перегонном кубе 5—10% кокса. Лучшие масла состоят из углеводородов парафинового ряда. Атмосфера водяного газа способствует получению при разложении масла продуктов с более высокой теплотворной способностью. При процессе карбюрирования водяного газа водяной пар, содержащийся в газе, частично взаимодействует с коксом и смолой, выделяющимися при разложении нефти, и образует водяной газ; водород газа также взаимодействует в некотором количестве с парами масел. Количество образующегося нефтяного кокса составляет 5—15% и образующейся смолы 20—30% от веса масла.



35. Установка для получения водяного карбюрированного газа:

А — горячее дутье: *1* — вентилятор, *2* — ход воздуха, *3* — генератор, *4* — ход продуктов горячего дутья, *5* — карбюратор, *6* — ход отходящих газов, *7* — паровой котел, *8* — подача воздуха для дожигания продуктов воздушного дутья, *9* — охлаждающая пароводяная рубашка, *10* — паросборник

Б — паровое дутье: *1* — паропровод для подачи пара снизу, *2* — паропровод для подачи пара сверху, *3* — ход водяного газа, *4* — подача нефти в карбюратор, *5* — ход газа в скруббер, *6* — выход карбюрированного водяного газа

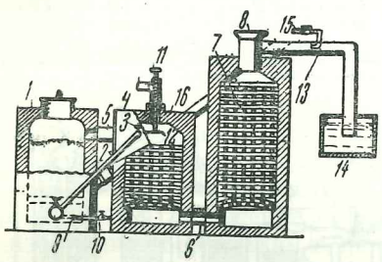
Температура в карбюраторе составляет 730—760°. Более резкие колебания имеют место только вверху насадки. При более высокой температуре масло разлагается с выделением углерода и нафталина, а при более низкой увеличивается количество образующихся смол и неразложенного масла. Углерод и нафталин засоряют хода, а смола и масло образуют с водой трудно отделяемую эмульсию.

В обоих случаях уменьшается количество тепла, отдаваемого маслом газу.

Количество газа, получающегося при разложении масла, составляет 0,5—0,6 *м³/кг*.

На кирпичной насадке карбюратора, в месте подачи масла (вверху), образуется коксовый нагар, частично выгорающий в период горячего дутья. Отложения кокса и сильное разрушение кирпичей вверху насадки вызывают необходимость в периодической их чистке и замене разрушенных кирпичей новыми. Иногда применяют карбюраторы без насадки. В этом случае требуется очень тонкое распыление масла.

Продукты горячего дутья часто содержат значительно больше тепла, чем требуется для поддержания необходимой температуры в карбюраторе и перегревателе. Часть тепла может быть использована также в котле-утилизаторе, но это не уменьшает количества кокса, которое должно быть загружено в генератор для производства определенного объема водяного газа. Большее количество тепла может быть использовано и притом с возвратом тепла в генератор в случае применения обратного дутья пара, перегретого за счет тепла продуктов горячего дутья (рис. 36).



36. Установка Уитвелла для получения водяного карбюрированного газа

Примерный состав карбюрированного водяного газа: CO_2 — 5,3%; C_mH_n — 5,9%; CO — 34,7%; H_2 — 38,3%; CH_4 — 10,0%; O_2 — 0,3%; N_2 — 5,5%; высшая теплотворная способность — 4 260 *кал/м²*.

При карбюрировании водяного газа может повышаться содержание в газе сероводорода, а также могут вводиться сернистые соединения, не содержавшиеся совсем в водяном газе [3] (CS_2, COS, меркаптаны), что усложняет очистку газа.

Применение в генераторах для получения карбюрированного водяного газа обратного тока пара с прохождением последнего через перегреватель и карбюратор преследует иногда цель очистки последних от оседающего в них коксового нагара.

Газование обратным током с пропуском пара через карбюратор дает возможность уменьшить удельный вес водяного газа, что иногда требуется для удовлетворительной работы горелок, приспособленных для коксового газа. На изменение удельного веса газа особенно влияет содержание в газе водорода. Давно замечено, что водяной газ, получаемый при обратном газовании, имеет более высокое содержание водорода, чем при прямом. Так Гвоздь [37] приводит для сравнения следующие составы газа. При прямом газовании: CO_2 — 5,3%; O_2 — 0,2%; CO — 38,8%; CH_4 — 1,8%; H_2 — 48,0%; N_2 — 5,9%; уд. вес — 0,53. При обратном газовании: CO_2 — 4,7%; O_2 — 0,3%; CO — 38,1%; CH_4 — 2,1%; H_2 — 53,6%; N_2 — 1,2%; уд. вес — 0,50. Это уменьшение веса объясняется захватыванием водяным паром при обратном газовании из карбюратора паров масла, разлагающихся в слое топлива с образованием водорода и метана. Добавка масла к водяному пару при обратном газовании может дать значительное снижение веса газа. Гвоздь приводит следующий состав водяного газа, полученного при добавке к пару в период обратного дутья масла: CO_2 — 1,2%; C_mH_n — 1,8%; CO — 21,0%; CH_4 — 18,1%; H_2 — 57,5%; N_2 — 0,4%.

При выработке карбюрированного водяного газа иногда [3] газ обратного парового дутья (способ Крисмана) не направляют в карбюратор во избежание сильного охлаждения последнего, так как водяной газ, получающийся при обратном ходе, имеет более низкую температуру, чем при прямом ходе.

Данные о работе установок для получения водяного карбюрированного газа и использовании тепла в них

При испытании установки для производства водяного карбюрированного газа Американским институтом инженеров-газовиков были получены следующие результаты (табл. 32) [36].

Таблица 32

Результаты трех испытаний установки водяного карбюрированного газа (расчет на 1 000 *м³* карбюрированного газа)

Наименование статьи	№ опыта		
	1	2	3
Загружено кокса (в *кг*)	569	579	565
» с коксом углерода (в *кг*)	479	491	482
Подано масла для карбюрации (в *л*)	243	244	247
Содержание углерода в масле (в *кг*)	214	214	217
Теплотворная способность карбюрированного газа (в *кал/м³*)	4300	4270	4310
Количество водяного газа (в *м³*)	840	840	840
Получено смолы (в *л*)	36,6	39,4	33,4
Подано пара для генераторов (в *кг*)	472	477	464
Подано пара для воздуходувок (в *кг*)	193	160	200
Подано пара для эксгаустеров и насосов (для масла и котлов) (в *кг*)	303	303	303
Получено пара в утилизационном котле (в *кг*)	968	1 120	978
Общий к. п. д.	68,0	68,2	67,1

В табл. 33 приведены тепловые балансы, составленные на основании результатов проведенных опытов.

Таблица 33

Балансы тепла при производстве водяного карбюрированного газа

Наименование статей	№ Опыта		
	1	2	3
Приход			
Теплотворная способность загруженного в генератор кокса	59,70	60,07	59,52
Теплотворная способность карбюрационного масла	40,26	39,67	40,42
Теплосодержание воздуха	0,04	0,06	0,06
Всего	100,00	100,00	100,00
Расход			
Теплотворная способность карбюрированного газа	63,40	62,23	62,77
Теплосодержание газа	4,19	4,08	4,13
Теплосодержание неразложившегося пара	2,12	2,04	1,92
Теплотворная способность смолы	6,73	7,18	6,31
Теплосодержание смолы	0,29	0,31	0,27
Теплотворная способность газов горячего дутья	7,55	5,46	6,71
Теплосодержание газов горячего дутья	4,14	4,28	4,31
Тепло, потерянное при получении пара в котле	4,49	5,75	5,04
Тепло, потерянное с продувочной водой из котлов	0,07	0,05	0,04
Теплотворная способность возвращенного кокса	2,28	—	—
Теплотворная способность горючего в остатках	2,02	4,15	4,00
Теплосодержание золы и шлака	0,21	0,21	0,21
Неучтенные потери	2,51	4,26	4,69
Всего	100,00	100,00	100,00
К. п. д. утилизационных котлов	41,9	49,6	43,4

Получение карбюрированного водяного газа из топлив с высоким содержанием летучих

Карбюрированию подвергают водяной газ, получаемый как из кокса или антрацита, так и из битуминозного угля.

На рис. 36 [37] представлена установка Уитвелла для получения водяного карбюрированного газа из битуминозного топлива или из кокса. В этой установке предусмотрено получение водяного газа также при обратном дутье паром. Целью обратного дутья была очистка насадки карбюратора и перегревателя от сажи, газифицировавшейся при пропускании пара. Это позволило применить для карбюрации низкосортные масла и для газификации каменные угли, смолистые вещества которых также значительно засоряют насадку. Кроме того это увеличило количество тепла, возвращаемого в генератор для получения водяного газа.

Работа установки Уитвелла протекает следующим образом. В период воздушного дутья воздух проходит через воздухопровод и открытый клапан в генератор *1* и через трубопровод *2* и клапан *3* в карбюратор *4*. Газы через трубопровод *5* проходят в карбюратор *4* и через трубопровод *6* в перегреватель *7*, где отдают свое тепло насадке карбюратора и перегревателя, после чего отводятся через клапан *8* в атмосферу. В период газования снизу вверх через клапан *10* и паропровод *9* в генератор снизу пускают пар. Полученный водяной газ проходит карбюратор и перегреватель, причем возможно газ карбюрировать, для чего через клапан *11* подается в карбюратор масло, распыливаемое специальным приспособлением *12*. Водяной газ отводится через трубопровод *13* и гидравлический клапан *14* в магистральный трубопровод. В период газования сверху вниз открывают на паропроводе вентиль *15* и пар через трубопровод *13* попадает в перегреватель *7* и карбюратор *4*. Сильно перегретый пар очищает насадку от сажи и проходит в генераторе сверху вниз, образуя водяной газ. Последний через трубопровод *16* попадает в гидравлический затвор *14*. Трубопровод *16* соединен с трубопроводом *13* и часть получающегося в период обратного дутья газа может увлекаться обратно в генератор, что связано с увеличением количества использованного в перегревателе и карбюраторе тепла для возврата в генератор.

Для сравнения показателей работы на коксе и битуминозном угле Гвоздь [37] приводит таблицу тепловых балансов, составленную в расчете на 100 $м^3$ масляного водяного газа с теплотворной способностью в 4 710 $кал/м^3$ (табл. 34 см. стр. 112).

В зависимости от количества вводимого в карбюратор масла может изменяться теплотворная способность получаемого газа. Обычно она не превышает 5 000 $кал/м^3$.

Непрерывное получение водяного газа

Установки для получения водяного газа работают по принципу периодического производства водяного газа в генераторах, что имеет следующие недостатки:

1. Требуется наличие многочисленных дорогих клапанов для переключения циклов.
2. Управление генераторами является сложным и требуется дорогостоящая его автоматизация.
3. Производство газа протекает неравномерно в силу постепенного падения температуры в слое, что обусловливает ухудшение состава газа к концу периода газования и уменьшение количества разлагаемого пара.

Таблица 34

Тепловые балансы генераторов при работе на коксе и битуминозном угле

Статьи \ Топливо	Кокс		Битуминозный уголь	
	кал	%	*кал*	%
Приход				
Теплотворная способность топлива:				
49,4 *кг* · 7 088 *кал*	350 000	50,2		
43,3 *кг* · 7 882 *кал*			341 000	46,1
Тепло, внесенное карбюрационным маслом:				
33,4 *л* · 9 320 *кал*	311 300	44,6		
38,25 *л* · 9 320 *кал*			356 500	48,2
Теплосодержание пара:				
56,2 *кг* · 645 *кал*	36 250	5,2		
64,3 *кг* · 645 *кал*			41 500	5,7
Всего	697 550	100,0	739 000	100,0
Теплотворная способность масляного водяного газа	471 000	67,6	471 000	63,6
То же дегтя	57 000	8,2	67 000	9,0
Теплосодержание водяного газа, смолы и пара	50 000	7,2	63 600	8,6
Теплосодержание и теплотворная способность газов горячего дутья	30 400	4,6	39 000	5,4
Тепло, использованное в паровом котле	26 000	3,7	20 000	2,7
Потери горючего в золе	12 700	1,8	10 000	1,4
Потери в окружающую среду	24 700	7,2	24 700	9,3
Остаток (прочие неучтенные потери)	25 750		43 700	
Всего	697 550	100,0	739 000	100,0

4. Коэфициент полезного действия и использования тепла топлива в этих установках, даже наиболее совершенных, ниже, чем в обычных генераторных установках.

5. Установка не используется в период воздушного дутья и перестановки клапанов.

Указанные причины в соответствии со все растущим потреблением водяного газа побудили настойчиво искать возможностей непрерывного получения водяного газа.

Потребное для целей получения водяного газа тепло может быть введено в генератор с помощью высоконагретого водяного пара, частичной газификацией топлива кислородом, добавляемым к водяному пару, обогревом шахты снаружи или изнутри (например электрическим током) и другими способами.

Подача всего потребного тепла путем одного лишь нагрева водяного газа невозможна, и поэтому прибегают также к вводу высоконагретой смеси водяного пара и части полученного газа (Пинч-Гилле-бранд). Подобная установка описана в разделе «Генераторы для получения двойного водяного газа».

Недостатком этого способа является помимо трудности достаточно высокого подогрева пара и циркуляционных газов необходимость в циркуляции очень больших количеств таковых.

Особый интерес в связи с получением в некоторых производствах отбросного кислорода и с удешевлением способов добычи его приобретает газификация с помощью парокислородного дутья.

Использование электрического тока как источника тепла для газификации возможно в следующих направлениях: применение в шахте сопротивлений, передающих тепло слою топлива, пропускание через слой топлива тока и следовательно использование слоя топлива как сопротивления и передача тепла с помощью вольтовой дуги, образуемой введенными в шахту электродами [37].

Газогенератор с внутренним обогревом шахты электрическим током по проекту Стассано построен в Италии. Слой топлива в нем является электрическим сопротивлением между электродами, введенными в шахту газогенератора. При прохождении тока через уголь от одного куска топлива к другому образуются светящиеся электродуги, нагревающие уголь и газы до высоких температур.

Применение электрического тока дает возможность достигать требуемого распределения температур в слое и регулировать протекающие в нем процессы. При дешевизне электроэнергии и соответствующей необходимости возможно также повышение температуры газа путем его обогрева.

По данным Стассано, на получение 1 $м^3$ водяного газа расходуется 1,6 *квт-ч*. Использование электроэнергии для введения тепла в шахту генератора при газификации вследствие высокой стоимости не имеет применения.

Генератор с дополнительной подачей тепла извне [38] через стенку (генератор Геллера), описан в разделе «Генераторы для пылевидного топлива».

Имеются также предложения передачи тепла, необходимого для проведения процесса получения водяного газа, замкнутым током расплавленного шлака, нагреваемого за пределами генератора (газификация пылевидного топлива в горизонтальной канальной печи, на дне которой находится шлаковая ванна), а также расплавленными металлами [37].

Непрерывный процесс получения водяного газа связывают иногда с вопросом использования низкосортного дешевого, влажного и мелкого топлива.

Следует отметить также возможность получения водяного газа путем подачи в камеры коксовальных печей (в конце процесса коксования) водяного пара, проходящего через коксовый пирог и образую-

щего водяной газ. Подобное получение водяного газа имеет целью повышение выхода коксовального газа или содержания в нем водорода. К коксовальному газу можно добавить 10—20% водяного газа, не уменьшая теплотворной способности газа ниже 4 600 *кал*/*м*³ [39]. Вместе с водяным паром в коксовую печь может быть введен карбюрирующий материал.

6. ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДВОЙНОГО ВОДЯНОГО ГАЗА И НА КИСЛОРОДНОМ ДУТЬЕ

Принцип устройства

Одной из причин, препятствующих распространению водяного газа, является получение его из дорогих топлив — кокса или антрацита. Попытки получения водяного газа из топлив с высоким содержанием летучих с сохранением последних делались давно в целях применения более дешевых топлив, обогащения газа, улавливания продуктов сухой перегонки и соединения в одном аппарате процесса коксования и получения водяного газа. Впервые эта проблема была разрешена Штрахе [37], создавшим генератор для получения двойного газа — газа, представляющего собой смесь водяного и перегоночного газов. Генератор двойного газа (рис. 37) снабжен в верхней части ретортой, в которой прогревается свежезагруженное топливо, из которого при этом выделяются продукты сухой перегонки.

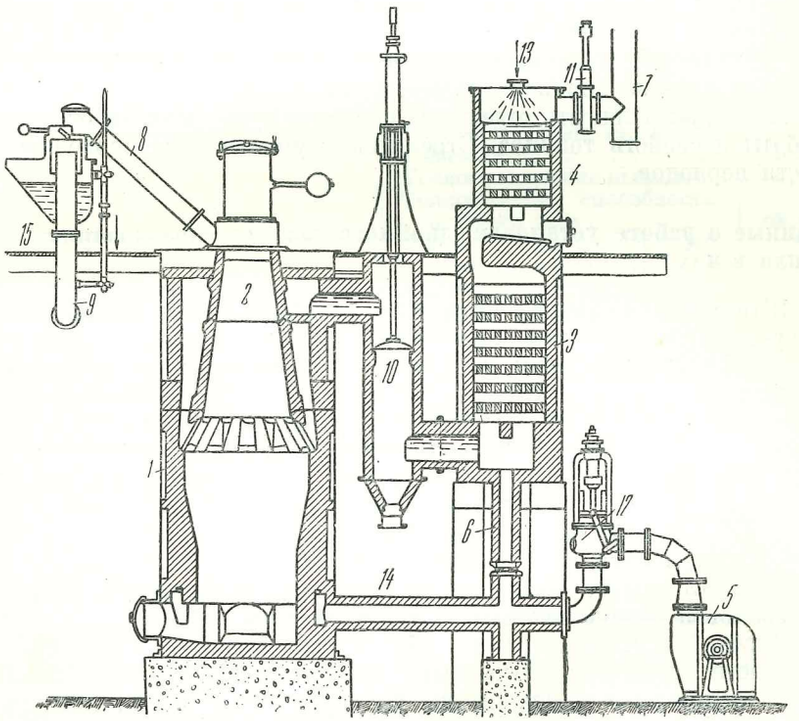
В первоначальной конструкции газы, получавшиеся при продувании воздуха снизу генератора, сжигались в верхней части генератора и благодаря выделяющемуся при этом теплу реторта сильно прогревалась через стенки. Воздух для сжигания газов подавался через щели в верхней части генератора.

В результате перегонки из реторты вниз опускался полукокс, продукты же сухой перегонки отводились при воздушном дутье вблизи загрузочной коробки, причем давление у места их отвода регулировалось таким образом, чтобы через это отверстие не выделялись продукты воздушного дутья.

После разогрева содержимого генератора и реторты, так же как и при получении водяного газа, пускался снизу пар; получаемый водяной газ проходил через реторту, где выделялись продукты сухой перегонки из топлива, и смешивался с ними, образуя двойной газ.

При опытах обнаружилось, что передача тепла через стенки реторты недостаточно интенсивна. Поэтому в более поздних конструкциях (рис. 37) газы горячего дутья обогревают реторту лишь за счет своего физического тепла, а дожигание их производится в специальном теплообменнике, служащем для сильного перегрева пара, подаваемого в генератор; в этом случае тепло газов горячего дутья используется лучше. Как видно из рисунка, установка состоит из генератора *1*, снабженного ретортой *2*, пароперегревателя *3* и испарителя *4*. Газы горячего дутья выходят из генератора *1*, обогревают снаружи реторту *2*, попадают при открытом клапане в перегреватель *3*, дожигаются в нем за счет воздуха, подаваемого вентилятором *5* через трубопровод *6*, отдают часть своего тепла насадке и поступают в испаритель *4*, в котором также отдают часть своего тепла насадке и выходят в дымовую трубу *7*. Выделяющиеся в период воздушного дутья продукты сухой перегонки из реторты по обводному газопроводу могут поступать в газопровод *9* к очистной установке.

Перед пуском пара закрываются клапаны: на газопроводе *10*, воздухопроводе *12*, на дымоходе *11* и открывается клапан, перекрывающий газопровод *9*. В испаритель *4* подается распылителем *13*



37. Генератор двойного водяного газа фирмы «Vergasungs Industrie Akt. Ges.» в Вене

вода, испаряющаяся на сильно разогретой насадке, и водяной пар через перегреватель *3* и ходы *6* и *14* попадает в газогенератор *1*, где в нижней части происходит получение водяного газа, а в верхней — сухая перегонка топлива. Полученный двойной газ через газопровод *8* и гидравлику *15* попадает в газопровод *9* и направляется в газоочистительную установку. При значительном охлаждении слоя и уменьшении разложения пара вновь пускают воздушное дутье.

В других генераторах для двойного газа процесс швелевания происходит в швельшахте, надстроенной над корпусом генератора. Газы горячего дутья отводятся ниже основания швельшахты и используются в других устройствах. Для достаточного подогрева загружен-

ного топлива при паровом дутье вводится соответственное избыточное количество перегретого водяного пара. Подобные конструкции проще и дешевле. Они также позволяют избегать ремонтов, связанных с применением реторт, и чисток ходов для продуктов воздушного дутья.

В новейших крупных генераторах для получения двойного газа применяют автоматические удаление золы, управление и загрузку топлива. В Германии в подобных установках первоначально стремились получить первичную смолу, позднее же перешли к работе с максимальным получением высококалорийного газа. В обоих случаях стремятся к достаточной перегонке топлива в швельшахте во избежание разложения продуктов перегонки, потери их в период горячего дутья и уменьшения зоны газификации.

Продолжительность отдельных периодов дутья зависит от условий работы и свойств топлива. Стремятся к уменьшению продолжительности периодов.

Данные о работе установок двойного газа и использовании тепла в них

Штрахе [37] приводит следующие данные о работе установки для получения двойного газа при 45-часовом испытании. При опыте была прогазифицирована смесь из 8 569 *кг* верхнесилезского угля (содержание золы — 8,5%; влаги — 7,5%; летучих — 28%; высшая теплотворная способность — 6 330 *кал/кг*; выход смолы — 9,1%) и 1 362 *кг* кокса (влаги — 21%; золы — 9,1%; теплотворная способность 5 690 *кал/кг*). Получено было 130 $м^3$ двойного газа на 100 *кг* смеси топлива (165 $м^3$ на 100 *кг* органической массы). Состав газа был следующий: CO_2 — 7,8%; CO — 33,8%; CH_4 — 5,0%, C_mH_n — 0,8%; H_2 — 50,1%; N_2 — 2,3%; O_2 — 0,2%; высшая теплотворная способность — 3 260 *кал/*$м^3$; низшая — 3 013 *кал/*$м^3$; выход смолы составил 7,26% от веса угля.

Тепловой баланс генератора приведен в табл. 35.

Высокий к.п.д. генератора объясняется примесью значительного количества кокса, облегчающего процесс газификации благодаря разрыхлению слоя и улучшению передачи в слое тепла, связанному с большей теплопроводностью кокса.

Интенсивность газификации при получении двойного газа, отнесенная к площади сечения шахты генератора, составляет для каменного угля 120—160 *кг/*$м^2$ *час*.

При газификации в установке двойного газа бурого угля, высушенного по методу Флейснера, были получены следующие результаты [37].

Данные по углю: влажность 12,9%, зольность 9,3%; технический анализ: кокса — 38,4%, летучих — 39,4%, высшая теплотворная способность — 5 220 *кал/*$м^3$; швельанализ в трубке: выход газа — 17,4 $м^3$*/кг*, тепло в газе — 756 *кал/кг*, выход смол — 9,1%, CO_2 в газе — 29,0%, плотность газа — 1,117 *кг/*$м^3$, элементарный анализ: C — 52,01%; H — 4,15%, S — 0,48%.

Состав полученного газа был следующий: CO_2 — 8,4%; CO — 34,2%; CH_4 — 6,3%; C_mH_n — 0,2%; H_2S — 0,5%; H_2 — 38,4%; O_2 — 0,3% и N_2 — 11,7%; теплотворная способность 3 030 *кал/*$м^3$. Содержание CO_2 в газах

Таблица 35

Тепловой баланс генератора двойного газа

Приход		Расход	
Наименование статей	%	Наименование статей	%
Теплосодержание топлива	0,10	Теплосодержание двойного газа	2,40
» пара	0,59	Теплосодержание неразложившегося пара	1,46
» воздуха	0,32	Теплосодержание смолы	0,08
Теплотворная способность топлива	98,99	Теплосодержание газов горячего дутья	6,37
		Теплосодержание шлаков	0,10
		Теплотворная способность двойного газа	68,40
		Теплотворная способность газов горячего дутья	7,06
		Теплотворная способность смолы	8,60
		Теплотворная способность углерода в уносе и шлаке	3,47
		Потеря в окружающую среду	4,05
Итого	100,00	Итого	100,00

горячего дутья — 5,4%. Выход двойного газа — 76,4 $м^3$ на 100 *кг* угля. Содержание горючего в шлаке — 29,3%.

Тепловой баланс процесса приведен в табл. 36.

Использование тепла газов горячего дутья может повысить к.п.д. установки.

Значительная реакционная способность бурого угля способствует получению в газах горячего дутья значительного количества окиси углерода.

Данные о работе установки Пинча для получения двойного водяного газа, состоящей из генераторов диаметром в 3 *м* с вращающимися решетками, в которых процесс швелевания протекает в швельшахте, надстроенной над генератором и не имеющей внешнего обогрева, следующие [37]. Топливо — буроугольные брикеты состава: влаги — 11,27%, золы — 9,80%, летучих — 31,03%, выход кокса — — 57,7%, теплотворная способность — 5 530 *кал/кг*; швельанализ по Фишеру: кокса — 51,72%, дегтя — 12,20%, подсмольной воды — 16,80%, газа (15°, 750 *мм*) — 135,02 *л/кг*. Выход, состав и теплотворная способность газа приведены в табл. 37, в которой цифрой I помечены данные, относящиеся к газификации; II — к перегонке в горизонтальной реторте и III — в вертикальной реторте. Выход смолы составлял приближенно при перегонке в горизонтальной реторте — 4,61 *кг* на 100 *кг* и при получении двойного газа — 7,2 *кг*.

Таблица 36

Тепловой баланс процесса получения двойного газа из подсушенного бурого угля

Приход		Расход	
Наименование статей	%	Наименование статей	%
Теплотворная способность угля	98,5	Теплотворная способность двойного газа	44,1
Теплосодержание угля	0,1	Теплотворная способность смол	14,1
» воздуха	0,1	Теплотворная способность шлаков	3,2
» пара	1,3	Теплотворная способность уноса	0,2
		Теплотворная способность газов горячего дутья	16,4
		Теплосодержание газов горячего дутья	8,2
		Теплосодержание двойного газа	0,3
		Тепло испарения влаги угля	1,4
		Тепло сухой перегонки угля[1]	6,5
		Потеря в окружающую среду (по разности)	5,6
Итого	100,0	Итого	100,0

Таблица 37

Характеристика показателей при перегонке и газификации

	I	II	III
Выход газа из 1 *т* брикетов (0°, 760 *мм*) (в *м*³)	845	398	850
Удельный вес (воздух = 1)	0,665	0,595	0,714
Состав газа (в %):			
CO_2	13,2	12,0	20,7
C_mH_n	—	2,2	1,6
O_2	—	—	—
CO	29,60	21,70	17,1
CH_4	6,90	14,30	20,6
H_2	40,90	43,50	32,7
N_2	9,60	6.30	7,3
Высшая теплотворная способность	3 050	4 030	3 800

[1] Большая величина статьи вызывает сомнение *(Д. Г.)*.

При опытах продолжительность отдельных периодов была та же, что и при нормальной работе на смеси угля и кокса, хотя температуры в слое были более низкие. К.п.д. газификации составлял 46,6%.

Опыт газификации на двойной водяной газ показал, что спекаемость топлива, наличие в нем пыли и свойство топлива распадаться при нагревании сильно ухудшают процесс. Кроме того большие затруднения доставляет образование в генераторе внутреннего малоактивного или мертвого ядра. Выше упоминалось, что с образованием неактивного ядра можно бороться применением шамотного сердечника (керна), выходящего или не выходящего за пределы зоны газификации. Было также предложено отводить газы из середины шахты, что способствует прохождению газов через середину слоя. Высказываются также соображения, что слой топлива, находящийся под нагрузкой топлива в швельшахте, уплотняется, и поэтому количество газов, проходящих через середину топлива, уменьшается сравнительно с обычным, и в качестве мероприятия, необходимого для улучшения работы генератора, предлагается совершенно отделить топливо в швельшахте и в шахте.

Бурые небрикетированные угли за границей газифицируют в смеси с каменными.

На газовом заводе в Дрездене [166] был переконструирован генератор двойного газа. Вместо высокой швельшахты была устроена широкая и низкая, в которой уголь разравнивался мешалкой Чапмана. Недостатком такой конструкции являлось образование инертного конуса топлива, не участвующего в газообразовании. Для устранения инертного конуса на решетке генератора был устроен полый керн, снабженный отверстиями для подачи воздуха в горизонтальном направлении. Подача воздуха внутрь позволила сжигать большее количество горючих продуктов воздушного дутья в самом генераторе и тем самым вести процесс более эфективно как в смысле экономичности, так и в отношении разогрева топлива. Благодаря такой реконструкции генератора удалось газифицировать значительно спекающийся уголь. Производительность генератора зависит от свойств и крупности угля. Однако по реконструкции даже при газификации смеси из 50% пылевидного угля с высокой спекаемостью и 50% мелочи длиннопламенного угля она не была ниже нормы. После трехмесячной работы на стенах генератора не было шлака. Керн был в исправности и отверстия сохранили свое сечение.

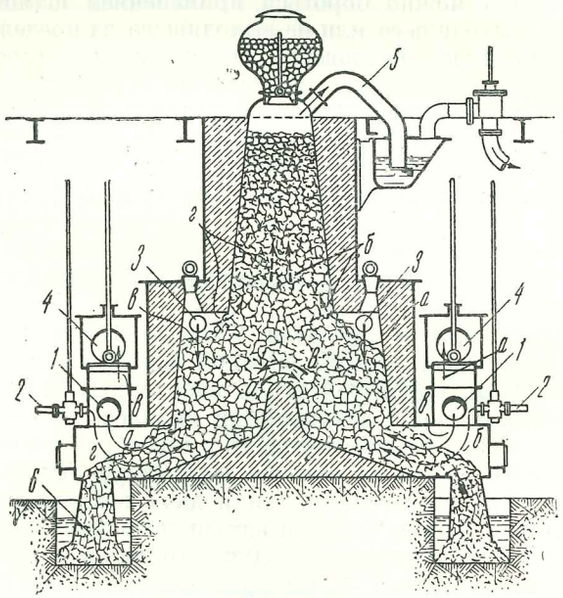
Газогенераторы тройного газа

Интересны соображения, послужившие основанием для получения так называемого тройного газа.

На рис. 38 представлен генератор тройного газа [17]. Он состоит из двух частей: верхней — узкой и нижней — более широкой. Верхняя часть заполнена свежезагруженным топливом, а нижняя — коксом, полученным из топлива, опускающегося сверху. Воздух пропускается в нижнюю часть генератора сверху вниз и наклонно и разогревает засыпку, сжигая углерод кокса в CO_2 и CO. После достаточного подъема

температуры снизу генератора пускают пар, образующий при взаимодействии с коксом водяной газ. Последний, попадая в верхнюю часть генератора, вследствие своего нагрева выделяет из топлива продукты сухой перегонки, смешивается с ними и выходит в конденсационное устройство.

В процессе получения тройного газа в случае применения угля, перегоняющегося лишь при высокой температуре, возможно к паровому дутью добавить небольшое количество воздуха, выделяющего



38. Генератор для получения тройного газа;

1, 3 — подвод воздуха, *2* — подвод пара, *4* — отвод продуктов воздушного дутья, *5* — отвод газа, *6* — удаление золы и шлака

при сжигании водяного газа дополнительное тепло. Связанное с этим небольшое ухудшение состава газа не имеет значения сравнительно с доставляемыми преимуществами. В случае, если высокой температуры для перегонки угля не требуется, а наоборот, желательно увеличить подвод пара для увеличения выхода аммиака, возможно через воздушные отверстия добавить пар.

На рис. 38 стрелками и буквами показаны движение газов и последовательность процессов при получении тройного газа: *а* — подача воздуха в верхней части одной стороны и в нижней части другой и удаление получающегося газа в трубу; *б* — подвод пара с одной стороны шахты для получения водяного газа, добавление воздуха для повышения температуры с этой же стороны и выделение продуктов сухой перегонки при прохождении газов через верхнюю суженную часть шахты; *в* и *г* — аналогично *а* и *б*, но с противоположных сторон.

Тройной газ состоит из трех частей: 1) водяного газа, образующегося при подаче в нижнюю часть шахты пара, 2) перегоночных газов, увлекаемых в верхней шахте поступающими снизу газами, и 3) обычного воздушного газа, получаемого благодаря дополнительному подводу воздуха при необходимости повышения температуры в верхней части шахты.

Состав тройного газа мало отличается от состава двойного. При применении 75% вестфальского каменного угля и 25% рейнского влажного бурого угля и средней теплотворной способности смеси в 5 710 *кал/кг* выход газа составил 150 $м^3$ на 100 *кг* при высшей теплотворной способности газа в 2 800—3 000 *кал/м³*. Средний состав газа был следующий: CO_2 — 13,3%; C_mH_n — 0,3%; O_2 — 0,4%; CO — 23,9%; CH_4 — 5,5%; H_2 — 51,5%; N_2 — 5,1%; низшая теплотворная способность газа — 2 570 *кал/м³*; выход смолы очень хорошего качества составлял 5—6%.

Описанные генераторы не получили распространения повидимому вследствие затруднительности оборудования их автоматическим золоудалением и недостаточного использования в отдельных стадиях процесса всего сечения генератора.

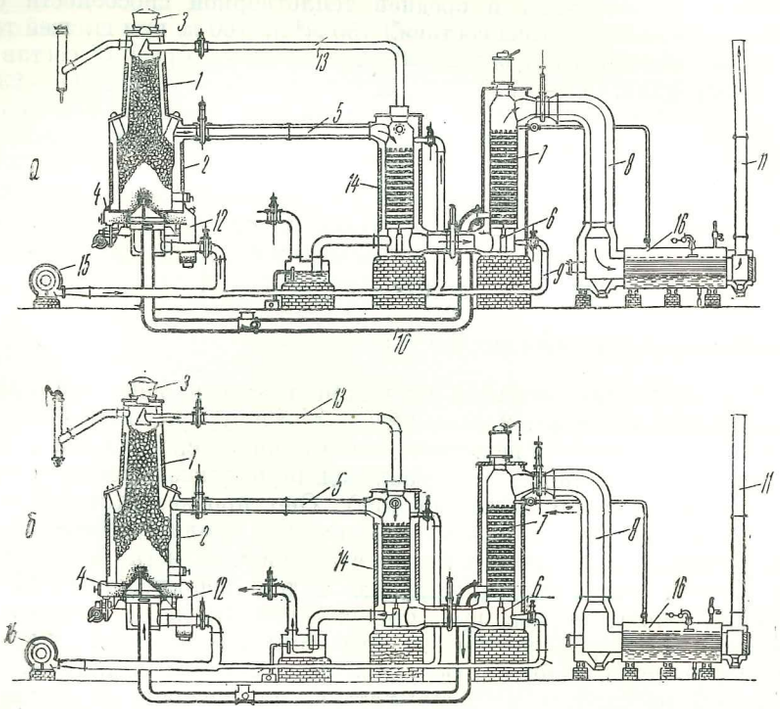
Получение карбюрированного газа

При получении двойного газа каменные угли дают газ с теплотворной способностью в 3 200—3 250 *кал/м³* и буроугольные брикеты — 3 000—3 050 *кал/м³*. Увеличение теплотворной способности и количества газа возможно за счет разложения получающейся при газификации смолы (самокарбюрирование). Оно производится двумя путями: или с предварительным улавливанием смолы в газоочистительной установке и последующим превращением ее в газ в газогенераторе или в карбюраторе, или же путем непосредственного разложения смолы в газе при прохождении последнего через карбюратор. Карбюрированием в слое топлива избегают установки отдельного карбюратора и большой потери тепла в нагреве двойного газа по выходе из карбюратора, но контроль и установление необходимой для разложения смолы температуры в этом случае сложнее и требуется установка специального аппарата — смолоотделителя.

Из имеющихся способов для разложения смол в газогенераторе следует отметить введение смол сверху швельшахты и вспрыскивание смолы в слои более горячего кокса [37]. Способ с подачей смолы сверху слоя основан на том, что смола при стекании по слою и нагревании многократно подвергается возгонке и разложению, пока не превратится в газы и кокс, подвергающийся газификации в более горячих слоях. Разложение смолистых веществ отчасти происходит в самих газогенераторах в случае достаточно высокой температуры в верхней части слоя, что имеет место при сухих топливах и невысоком слое. Однако полное разложение смол может быть достигнуто лишь путем введения их в более горячие слои кокса. При прохождении смолистых веществ через наиболее горячие слои кокса они разлагаются пре-

имущественно на углерод и водород и не дают значительного повышения теплотворной способности газа.

Улавливание смолы из газа для подачи в генератор происходит с помощью обычных смолоуловителей, в которых можно при желании улавливать высококипящие фракции смолы путем поддерживания достаточно высокой температуры газов. Теплотворная способность газа может быть повышена путем самокарбюрации смолой в среднем на 250—350 *кал*.



39. Схема установки Пинча для получения двойного газа:

1 — верхняя шахта, *2* — нижняя шахта, *3* — загрузочное приспособление, *4* — сухой затвор генератора, *5* — отвод продуктов горячего дутья, *6* — камера сгорания, *7* — пароперегреватель, *8* — газопровод к паровому котлу, *9* — воздухопровод к камере сгорания, *10* — паропровод к генератору, *11* — дымовая труба, *12* — карман для золы, *13* — газопровод двойного водяного газа, *14* — карбюратор, *15* — вентилятор, *16* — паровой котел

Дополнительное повышение теплотворной способности газа возможно за счет введения в карбюратор или в слой топлива масла извне.

На рис. 39 показана схема установки Пинча для получения двойного водяного газа. На рис. 39,*а* показаны ход воздуха от вентилятора и движение газов воздушного дутья и продуктов горения. Последними обогреваются карбюратор, пароперегреватель и котел-утилизатор.

На рис. 39,*б* показано движение пара и двойного водяного газа в период газования. Пар из котла-утилизатора перегревается в одной камере, в другой камере происходит карбюрирование двойного водяного газа.

Ниже приводятся данные о работе установки Крейза в Nanterre [37]. Установка снабжена камерой для разложения смол — фиксатором, испарителем с насадкой из углового железа и пароперегревателем с огнеупорной насадкой.

Обогрев фиксатора, пароперегревателя и испарителя производится продуктами горячего дутья.

Производительность установки — 1 000 *м³/час* газа с теплотворной способностью в 3 600 *кал/м³*. Давление воздуха под решеткой составляет 900 *мм*. Температура в фиксаторе составляет примерно 750°, а температура газов при выходе из перегревателя — 350°. Содержание CO_2 в газах горячего дутья при входе в фиксатор — 12% и при выходе из испарителя — 18%; содержание CO соответственно падает с 15 до 5%. Пар перегревается до 400°. Двойной водяной газ, имеющий теплотворную способность в 3 100—3 200 *кал/м³* и несущий с собой пары смол, поступает в фиксатор в нижней его части; в фиксаторе пары смол разлагаются на постоянные газы (преимущественно метан). Газ из фиксатора поступает через гидравлический затвор в

Таблица 38

Результаты испытаний установки двойного карбюрированного газа

Данные	I	II	Данные	I	II
Топливо:			Выход (в *м³* на 1 000 *кг*)	1 232	1 229
влажность (в %)	1,50	2,30	Теплотворная способность газа (в *кал/м³*)	3 632	3 650
летучих в (%)	34,14	34,08	Бензола в газе (в *г/м³*)	—	7,375
углерод остатка (в %)	56,47	56,35	Средний состав газа (в %):		
золы (в %)	7,89	7,27	CO_2	5,5	
высшая теплотворная способность (в *кал/кг*)	7 141	7 220	CO	29,8	
Состав (в %):			C_mH_n	1,8	
			H_2	44,1	
C	—	74,94	CH_4	11,0	
H	—	4,98	N_2	7,8	
O	—	8 18	Состав газа до и после карбюрации (единичные — не средние — пробы) (в %):	до	после
N	—	1,37			
S	—	0,96	CO_2+H_2S	8,2	7 8
Продолжительность опыта (в часах)	72	51,5	C_mH_n	0,7	2 2
Продолжительность работы (в часах)	66⅝	49⅝	CO	29,1	27,6
Расход угля (в *кг*)	52 800	47 100	H_2	50,5	47,5
Количество золы (в *кг*)	3 910	3 400	CH_4	7,1	10,7
Обратного кокса от веса угля (в %)	1,77	2.82	N_2	4,4	4,2
Получено газа (в *м³*)	65 068	58 090	Теплотворная способность (в *кал/м³*)	3 200	3 710

коллектор. Продукты сухой перегонки, выделяющиеся в швельшахте в период горячего дутья, отводятся в вспомогательный приемник газа и подвергаются очистке от смол.

В описываемой установке все клапаны приводятся в движение автоматически; вентили, подверженные действию высокой температуры, снабжены водяным охлаждением.

В табл. 38 приведены данные двух испытаний установки на саарском угле [37].

Теплотворная способность газа была довольно постоянна. Предельные значения составили 3 400—3 750 *кал/м³*. Произведенные во время второго испытания исследования побочных продуктов дали следующие результаты: выход смол, не считая легких масел, — 4%; уд. вес смолы — 1,121; теплотворная способность смолы — 8 980 *кал/кг*; содержание пыли в смоле — 4,43%; воды в смоле — 2%; отгон до 175° — 1,24%; 170—230° — 7,10%; 230—270° — 8,43%; 270—340° — 29,08%; пека — 49,4%. Масла состояли из углеводородов жирного ряда, быстро окислявшихся; ароматические углеводороды отсутствовали; содержание фенолов было значительно. Содержание аммиака, не улавливавшегося в установке, при выходе из перегревателя составляло 3 *кг/т* угля. Данные указывают на значительный эффект карбюрации, а именно на повышение теплотворной способности на 450—500 *кал/м³*.

Тепловой баланс установки представлен в табл. 39.

Таблица 39

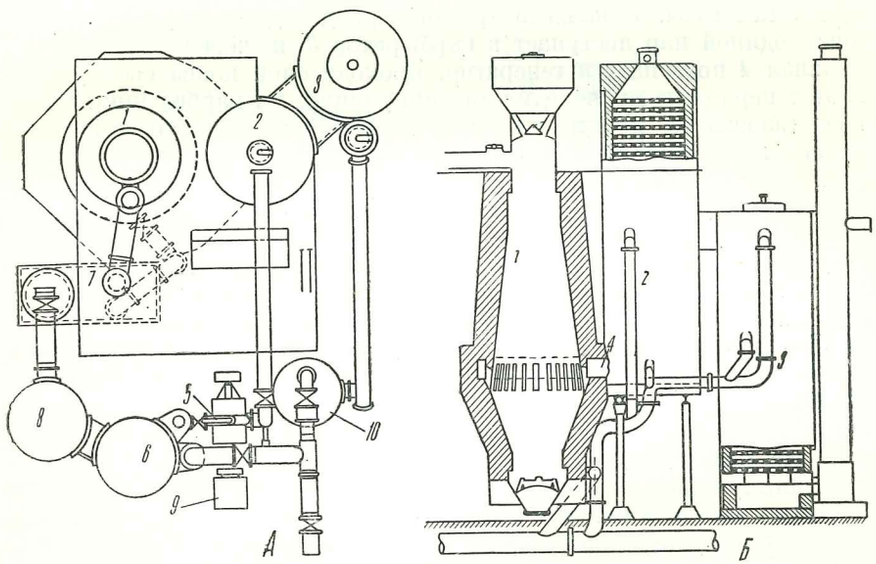
Тепловой баланс установки двойного карбюрированного газа

Приход		Расход	
Наименование статей	%	Наименование статей	%
Теплосодержание:		Теплосодержание:	
угля, воды, воздуха	0,4	двойного газа, влаги газа, паров дегтя, дымовых газов	13,4
Теплотворная способность угля	99,6	Теплотворная способность:	
		двойного газа	61,9
		дегтя	5,0
		дымовых газов	5,3
		горючего в остатках	2,6
		Остаток (в окружающую среду и пр.)	11,8
Всего	100,0	Всего	000,0

Современные установки для получения двойного карбюрированного газа снабжаются генераторами с вращающимися решетками и котлами-утилизаторами.

Подвод дополнительного тепла в швельшахту

В работе генераторов двойного газа выявился недостаток, заключающийся в том, что сухая перегонка не успевает произойти в швельшахте, а это вызывает излишние потери углеводородов в период горячего дутья и уменьшает высоту реакционной зоны. Увеличение количества тепла, передаваемого топливу, достигается разными путями: введением в генератор излишнего сильно перегретого пара, возвратом в генератор сильно подогретой части получающегося двойного газа и переносом ею тепла кокса в швельшахту и подводом перегретого пара или сильно подогретой части двойного газа у основания швельшахты.



40. Установка двойного газа с обогревом циркуляционным газом в Presten (Англия): *А* — план, *Б* — разрез

Обогрев швельшахты потоком горячего газа использован в представленной на рис. 40 установке для получения двойного карбюрированного маслом водяного газа с высокой теплотворной способностью (4 055 *кал/м³*) [37].

Установка состоит из генератора *1*, снабженного высокой (4,3 *м*) швельшахтой, регенератора *2* и карбюратора *3*. У места соединения нижней шахты генератора и швельшахты находится кольцевой канал *4*, сообщающий генератор с регенератором *2* и соединяющийся с внутренностью генератора многочисленными щелевидными отверстиями.

Газы горячего дутья через канал *4* попадают в регенератор, дожигаются в нем и отводятся частично через карбюратор *3* (сжигание

возможно и в последнем) в дымовую трубу. В период газования пар пускается под решетку, а циркуляционный газ подается вентилятором *5* из скруббера *6* в регенератор *2*, в котором он, проходя сверху вниз, нагревается. Из регенератора циркуляционный газ попадает в канал *4*. Водяной газ и нагретый циркуляционный газ смешиваются и проходят швельшахту. Полученный газ через гидравлический затвор *7*, трубчатый холодильник *8* и скруббер *6* отводится вентилятором *9*. При карбюрации часть газа проходит карбюратор *3* и скруббер *10*.

Для циркуляции применяется только не карбюрированный газ.

Продолжительность горячего дутья — 2 мин., газования — 6 мин. После газования снизу в верхнюю часть карбюратора или генератора в течение нескольких секунд пускается пар, вытесняющий остающиеся там газы. В каждый третий период ведется обратное газование: водяной пар поступает в карбюратор *3* и через регенератор *2* и канал *4* поступает в генератор, проходя слой кокса сверху вниз. В этот период не происходит ни циркуляции, ни карбюрации. Обратным газованием достигаются выравнивание температур в шахте и лучшее использование регенератора. Продукты сухой перегонки, выделяющиеся в швельшахте в период горячего дутья, отводятся по специальному трубопроводу в газоочистительную установку.

Работа установки хорошо контролируется с помощью соответствующей аппаратуры. Подача масла в карбюратор регулируется автоматически. Изменение количества циркулирующего газа производится с помощью регулирования числа оборотов вентилятора.

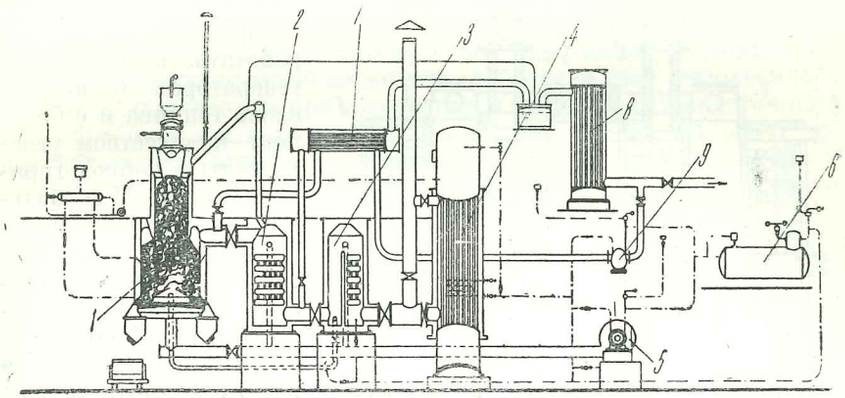
При пуске установки выявилось, что значительное содержание в угле мелочи и пыли вызывало зависание топлива и сильный унос, что было устранено путем отсева мелочи из топлива. Выявилось также, что в регенераторе образуется нагар, который требовалось прожигать два раза в день по полчаса. Лучшее охлаждение и очистка от смол циркуляционного газа дали возможность сократить продолжительность прожигания до 10 мин. в сутки.

О работе установки имеются следующие данные. Среднее число периодов в сутки — 138; длительность газования в сутки — 18 ч. 24 м.; расход угля в сутки — 8,95 *т*; выход газа — 1 350 *м³/т*; высшая теплотворная способность не карбюрированного газа — 3 200 *кал/м³*, карбюрированного — 3 910 *кал/м³*; расход масла — 159 *л/т*; состав дестилляционного газа, выделяющегося из швельшахты в период горячего дутья: CO_2 — 6,4%, C_mH_n — 1,0%, CO — 14,1%, CH_4 — 18,0%, H_2 — 39,1%, N_2 — 20,9%, теплотворная способность — 3 400 *кал/м³*; состав не карбюрированного двойного газа: CO_2 — 4,6%, C_mH_n — 0,6%, CO — 32,6%, CH_4 — 7,9%, H_2 — 47,8%, N_2 — 6,5%, теплотворная способность — 3 270 *кал/м³*; состав карбюрированного маслом газа: CO_2 — 3,1%, C_mH_n — 5,1%; CO — 32,1%, CH_4 — 14,4%, H_2 — 39,7%, N_2 — 5,6%; теплотворная способность — 4 580 *кал/м³*. Данные относятся к влажному газу.

Влажность угля составляла 2%, зольность — 2—16%. К.п.д. установки достаточно высок, но производительность ее оказалась малой. Уменьшение диаметра швельшахты (первоначально вверху — 1,07 *м* и внизу — 1,83 *м*) благоприятно повлияло на процесс. Циркуляция газа оказалась экономичной. Тепло отходящих газов может быть дополнительно использовано в котле-утилизаторе.

В других установках циркулирующая часть газа попадает в теплообменник непосредственно из генератора и, подогревшись до 700°, поступает обратно в швельшахту.

В настоящее время для циркуляции применяется преимущественно очищенный газ, что связано с сильным износом вентиляторов при горячем смолистом газе, неудобством паровых инжекторов, сильным засорением насадки регенератора и невозможностью поддержания режима, благоприятного для разложения смол и масел.



41. Установка двойного газа с обогревом циркуляционным газом

На рис. 41 представлена установка Бамага. В ней газы горячего дутья выходят из шахты *1* генератора и проходят через два теплообменника *2* и *3*, в которых дожигаются и отдают значительную часть своего тепла. Далее они попадают в котел *4*, который соединен с охлаждающим кожухом генератора.

Получаемый к котле пар приводит в движение воздуходувку *5*. Отработанный мятый пар поступает в аккумулятор пара *6*.

При газовании пар из аккумулятора направляется во второй теплообменник *3*, перегревается и поступает в генератор. Получающийся газ проходит швельшахту и поступает в теплообменник-карбюратор *2*, где происходит разложение смоляных паров. В газопровод газ попадает, пройдя предварительно теплообменник *7*, в котором подогревается циркуляционный газ, гидравлический затвор и холодильник *8*.

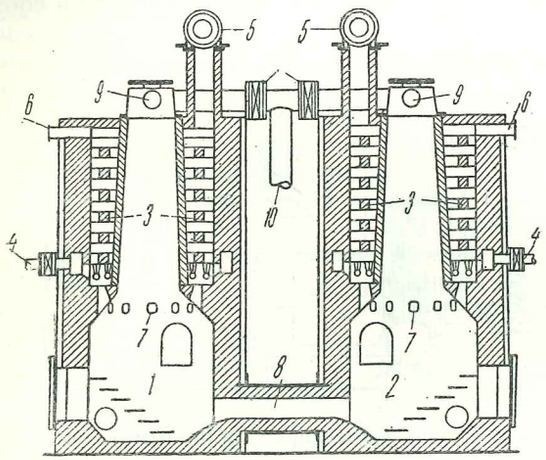
Вентилятором *9* засасывается из газопровода часть газа, которая через теплообменник *7* прогоняется в кольцевое пространство у основания швельшахты.

Этим устройством достигается также использование тепла газа, выходящего из карбюратора с высокой температурой.

Особые конструкции установок двойного газа

Иногда в газогенераторах двойного газа горячее дутье производится в поперечном направлении для получения высокого раскаленного слоя кокса. При этом имеет место плохое выгорание горючего в остатках.

Иногда применяют установки, состоящие из двух соединенных генераторов. В подобных установках Гумфрея и Глазгофа [37] горячее дутье ведется одновременно через оба генератора снизу вверх; газование же ведется последовательно, причем в одном генераторе через слой кокса сверху вниз и в другом через слой кокса и швельшахту снизу вверх; таким образом в образовании водяного газа участвует слой кокса обоих генераторов, что позволяет работать в отдельных генераторах с низким слоем топлива и с большим количеством углекислоты в период горячего дутья. При большом расходе газа шахты могут работать отдельно.



42. Сдвоенный генератор водяного газа системы Tully

На рис. 42 представлена подобная установка (система Tully) [3,37]. В период горячего дутья воздух подается в генераторы *1* и *2*, и продукты горячего дутья дожигаются в регенераторах *3*, в которые через трубопроводы *4* подается воздух. Продукты горения отводятся через трубопроводы *5*. В период парового дутья в один из регенераторов через штуцер *6* подается пар; он перегревается, проходит через отверстия *7* в слой кокса в шахте *1* сверху вниз, поступает через канал *8* в генератор *2*, где проходит сначала слой кокса, а потом швельшахту.

Полученный газ отводится через отверстия *9* в газопровод *10*. Эти установки применяются на ряде маленьких заводов в Англии.

Использование тепла в установках двойного газа

К.п.д. газификации при получении двойного газа составляет в среднем—при отсутствии карбюрации 60% и при наличии таковой — 66% [37]. Теплосодержание двойного газа при работе с крекингом смол в крекерах составляет значительную величину — 5—6%, так как газ выходит из крекера с высокой температурой (приблизительно 700°). При работе без крекирования смол потеря не велика в силу низкой температуры газа. Количество неразложенного пара в случае двойного газа меньше, чем в случае водяного, что объясняется большей реакционной способностью полукокса и меньшими скоростями пара при получении двойного газа.

Способы повышения теплотворной способности двойного водяного газа

Путем газификации битуминозных топлив на двойной водяной газ с разложением смолы получают газ с примерной теплотворной способностью в 3 600 *кал/м*³. В случае необходимости повышения теплотворной способности газа таковое может быть произведено проще всего путем дополнительного карбюрирования газа смолой или маслами. Высокая цена и дефицитность смолы и масел вынуждают часто применять другие способы для обогащения газа, к числу которых следует отнести следующие: отъем из зоны газификации части кокса, что повышает относительное содержание в двойном водяном газе продуктов сухой перегонки; добавка к газу высококалорийных газов, полученных при коксовании и швелевании твердого топлива или обработке жидкого топлива (нефтегаз); отдельный отвод части получающегося при газификации водяного газа или швельгаза [37].

При отъеме кокса получается меньше водяного газа и ухудшаются условия для перегонки топлива в швельшахте.

Отъем кокса производится из верхней части нижней шахты, где он не слишком обогащен золой, и следовательно может быть использован для других нужд.

В некоторых случаях при отборе кокса его охлаждают путем впуска в нижнюю часть шахты пара или холодного газа, благодаря чему значительная часть тепла, уносимого коксом, возвращается в газогенератор.

Фирма «Дельвик-Флейшер» развила идею Штрахе об устройстве в генераторе реторты, обогреваемой продуктами горения газов воздушного дутья, и создала конструкцию, в которой топливо непрерывно подогревается в ретортах за счет горения газов воздушного дутья и части водяного газа [14, 37]. За счет преимущественного внешнего нагрева в реторте достигаются температуры выше 800°. Сжигание газов производится в специальной топке, куда газы поступают из генератора через пылеуловитель. Подача водяного газа осуществляется с помощью воздушного инжектора. Продукты горения, пройдя топочные каналы, направляются в котел.

Установка снабжена отверстием для отъема кокса и подводом смолы для карбюрирования, расположенным несколько выше наиболее горячей зоны реторты.

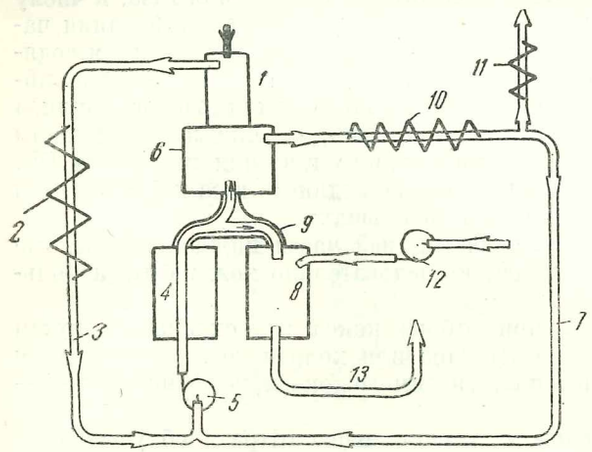
В подобной установке при газификации каменного угля получается 0,95 *м*³/*кг* газа с теплотворной способностью в 3 800 *кал/м*³. Карбюрация газа смолой газа повышает теплотворную способность газа до 4 000 *кал/м*³. Дальнейшее повышение теплотворной способности может быть достигнуто отъемом кокса.

Недостаток способа — уменьшение выхода газа вследствие того, что часть его идет на обогрев реторты; преимущество — легкое обслуживание и быстрый пуск в ход, что имеет значение для малых установок.

Непрерывное получение двойного водяного газа

Периодическое получение двойного водяного газа имеет все те же неудобства, что и перечисленные в отношении водяного газа. Одинаковы и пути, с помощью которых переходят к осуществлению непрерывного процесса: высокий подогрев пара, подвод дополнительного тепла путем нагревания камеры газификации снаружи или изнутри, подведение высоконагретой циркулирующей части газа, частичная газификация за счет кислорода, добавляемого к водяному пару, и т. д.

Следует отметить опыты и успехи, имеющиеся в этой области при пользовании высоконагретой смесью водяного пара и части газа (Пинч—Гиллебранд), парокислородным дутьем (Винклер) и внешним обогревом генератора (Геллер). Газификация пылевидного топлива в генераторах Геллера и Винклера описана в разделе о газификации мелкого и пылевидного топлива.



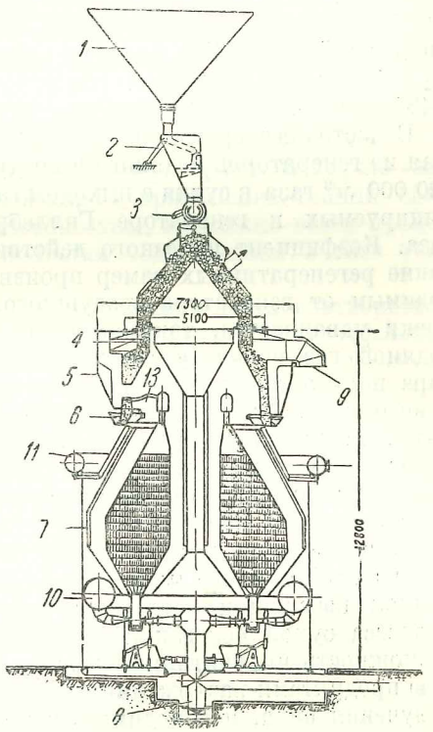
43а. Схема работы генератора Гиллебранда

Генератор Гиллебранда. На рис. 43,*а* представлена схема устройства генератора Гиллебранда, предназначенного для получения непрерывным путем водяного газа из дешевых влажных бурых углей и допускающего получение и двойного водяного газа.

Согласно схеме [142, 167] газы из швельшахты *1*, состоящие из смеси газов сухой перегонки и циркуляционного газа, содержащие много водяного пара, проходят электрический смолоотделитель *2* и поступают потоком *3* в разогретую регенеративную камеру *4* с помощью вентилятора *5*. К этому газу добавляется некоторое количество водяного газа, необходимое для разогрева регенератора (поток *7*). Газы в регенераторе подогреваются от температуры 60—70° до 1250—1300°, после чего поступают частью в генератор *6* и частью в регенератор *8* (поток *9*) для его разогрева. В генераторе при взаимодействии водяного пара подаваемой смеси и углерода топлива происходит образование водяного газа, а также разложение оставшихся в газе после смолоотделителя парообразных веществ и углеводородов. Полученный водяной газ с температурой 700—750° частично направляется через испаритель и промыватель *10* к потребителю (поток *11*) и для подогрева регенератора (поток *7*) и частично в швельшахту *1* для подсушки и сухой перегонки. Воздух в регенератор *8* для сжигания газа подается вентилятором *12*. Продукты горения из регенератора с температурой 200—250° отводятся потоком *13*. По нагреве регенератора *8* и охлаждении регенератора *4* переводятся соответствующие клапаны (на рисунке не показаны), и нагреваемые газы поступают в регенератор *8*, а сжигаемый газ и воздух — в регенератор *4*.

На рис. 43,*б* представлена промышленная установка генератора Гиллебранда.

Брикеты подаются в бункер *1* генератора ковшевым элеватором, причем величина подачи фиксируется автоматическими весами *2*. Топливо равномерно распределяется автоматическим питателем *3* в восьми дистилляционных железных, расположенных кольцом камерах *4*, в которых происходит сухая перегонка топлива за счет тепла части газов, поступающих из камеры газификации, охлаждающихся с 700 до 100°. Из камер сухой перегонки полукокс поступает в шахту газификации *5*, снабженную 48 отверстиями *13* для ввода подогретого до 1250 — 1300° циркуляционного газа и пара и вращающейся кольцевой решеткой для удаления золы *6*.



43б. Схема промышленной установки генератора Гиллебранда

Камеры сухой перегонки и газификации *4* и *5* расположены кольцом, под которым находятся регенеративные камеры *7*; в некоторых из камер сжигается газ для их подогрева, а в некоторых подогреваются циркуляционный газ, водяной пар и газы сухой перегонки, подаваемые кольцевым трубопроводом *10*. Часть подогретого в регенераторах газа подается в другие четыре регенератора, в которых он сжигается за счет специально добавляемого кольцевым воздухопроводом *11* воздуха. Отходящие газы с температурой в 250° отводятся в дымовую трубу боровом *8*. Избыточный водяной газ направляется в газгольдер через штуцер *9*. Управления клапанами связаны между собой и с механизмом, управляемым мотором.

Производительность установки составляет 50—55 *т* брикетов бурого угля в сутки. Испытание установки дало следующие показатели. Состав брикетов: влажность — 14,5%; зола — 6,3%; C — 54,5%; H — 3,6%; S — 1,0%; O + N — 20,1%; теплотворная способность —

4 771 *кал/кг*; температура плавления золы в восстановительной среде 1300—1320°. Согласно данным швельанализа, в алюминиевой реторте (до 540° С) выход смолы составлял 7,2%, полукокса — 51,4%. Производительность установки по топливу составляла 57,66 *т* брикетов в сутки, по газу — 58 750 $м^3$; выход газа (15°, 760 *мм*) составил 1,02 $м^3/кг$, смолы — 0,048 *кг/кг*; химический к. п. д. — 49,5%; термический к. п. д. — 59,2%. Расход воды — 11,3 $л/м^3$, электроэнергии — 0,027 *квт-ч*/$м^3$, добавочного пара — 0,25 $кг/м^3$. Полученный газ имел следующий состав: CO_2 —10,1%; CO — 33,6%; H_2 — 54,2%; CH_4 — 0,4%; N_2 — 1,7%; теплотворная способность: высшая — 2 743 и низшая — 2 480 $кал/м^3$.

В настоящее время работает комбинированная установка, состоящая из генераторов водяного и воздушного газа производительностью 120 000 $м^3$ газа в сутки с выходом газа 1,2—1,3 $м^3/кг$ брикетов, газифицируемых в генераторе Гиллебранда и генераторе воздушного газа. Коэфициент полезного действия установки более 70%. Нагревание регенеративных камер производится генераторным газом, подводимым от генератора воздушного газа. Производительность установки удваивается, так как ранее применявшийся для нагревания водяной газ используется как полезный. Бóльшая часть водяного пара получается в котле-утилизаторе за счет физического тепла водяного газа. Пар используется в турбине, обслуживающей вентиляторы, откуда поступает как добавка в циркуляционный газ.

Этот способ предусматривает газификацию преимущественно низкосортных влажных бурых углей, допускающих широкое использование тепла газов для подсушки и сухой перегонки угля. Циркуляция парогазовой смеси дает возможность путем простой регулировки подвести в слой топлива тепло, необходимое для процесса, при одновременном избежании местных перегревов и шлакования. Выделение процесса сухой перегонки в самостоятельный отдельный цикл дает возможность получить смолу более высокого качества, не загрязненную продуктами разложения смолы, выделяющейся в генераторе. Для получения пара, необходимого в процессе, может быть использована влага топлива, что избавляет от необходимости отвода большого количества загрязненной воды.

Кислородное дутье

Применение кислорода для газификации до сих пор ограничивается его стоимостью. Для добычи кислорода имеется много способов. Наиболее разработанным и рациональным в настоящее время является способ, основанный на глубоком охлаждении воздуха.

Концентрация обогащенного кислородом воздуха обычно составляет 42—43%, 65 и 98%.

Для целей газификации имеет значение применение как специально добытого кислорода, так и отбросного кислорода, получающегося в некоторых производствах, например при электрохимическом получении водорода из воды. Одним из преимуществ этого способа газификации является возможность перевода существующих

газогенераторных установок на работу на парокислородном дутье, требующего только изменения в коммуникации и подводе дутья. Особые преимущества дает газификация на парокислородном дутье топлив с высоким содержанием летучих, так как при этом расход кислорода на 1 *т* топлива является меньшим и производительность установки большая, и кроме того газификация возможна при более низких температурах.

В случае газификации с малой добавкой пара, т. е. при высоких температурах, в получаемом газе содержится много окиси углерода; удаление шлака должно производиться в жидком виде. Газ отличается от водяного повышенным содержанием окиси углерода. При работе на смеси из 78% по весу кислорода и 22% водяного пара в получаемом газе содержалось 80% окиси углерода. В случае газификации со значительной добавкой пара и применения топлив, обладающих высокой реакционной способностью, возможно вести процесс при низких температурах и с большим содержанием в газе углекислоты.

При применении буроугольного швелькокса и удовлетворительной производительности (200 $кг/м^2$ *час*) температура газификации была снижена до 700° и даже ниже [141]. Количество вводимого водяного пара было очень значительно (температура парокислородной смеси 95°). Состав полученного газа: CO_2 — 24,6%; C_mH_n — 0,2%; O_2 — 0,2%; CO — 26,1%; CH_4 — 1,0%; H_2 — 46,9%, N_2 — 1,0%; высшая теплотворная способность — 2 347 $кал/м^3$. Степень разложения пара находилась в пределах 50—60%, расход кислорода составлял 0,155 $м^3/м^3$ газа.

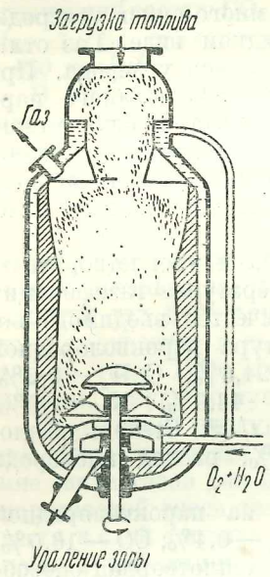
При газификации древесного угля при 750° на парокислородной смеси получался газ состава: CO_2 — 33,4%; O_2 — 0,4%; CO — 16,0%, H_2 — 48,1%; CH_4 — 1,1%; N_2 — 1,0%; высшая теплотворная способность составляла 2 000 $кал/м^3$, низшая — 1 805 $кал/м^3$, температура выходящего газа — 450°. При 825° получался газ состава: CO_2 — 21,5%; O_2 — 0,3%; CO — 34,0%; H_2 — 42,0%; CH_4 — 1,0%; N_2 — 1,2%; высшая теплотворная способность — 2 416 $кал/м^3$. Расход кислорода составил 0,16—0,18 $м^3/м^3$ полученного газа.

При газификации с помощью парокислородной смеси при низких температурах топлив с высокой реакционной способностью после удаления углекислоты можно получить газ, по составу пригодный для синтеза спиртов. Возможно также получить газ, сходный по составу с водяным газом, однако лишь при малых добавках пара во избежание образования больших количеств углекислоты.

При газификации проф. Драве [25] буроугольных брикетов на парокислородном дутье в опытном генераторе с площадью сечения в 1 $м^2$ и со швельшахтой диаметром в 550 *мм*, при интенсивности газификации в 200 $кг/м^2$, ограниченной мощностью воздуходувки, были получены следующие данные. Температура насыщения кислорода водяным паром — 89—93°, что соответствует соотношению водяного пара и кислорода, равному 3—3,4; состав газа: CO_2 — 13,2%, O_2 — 1,1%; C_mH_n — 2,3%, CO — 32,9%, H_2 — 42,8%, CH_4 — 1,1%, N_2 — 6,6%. При повышении производительности воздуходувки интенсивность газифи-

кации была повышена до 500 *кг/м² час* и ограничивалась сечением газопровода.

При газификации в Горловке инж. Полубояриновым подмосковного угля на парокислородном дутье в генераторе диаметром в 2,6 *м* со швельшахтой были получены следующие результаты: состав угля: C — 35,34%, H_2 — 2,90%, O — 10,19%, N — 0,60%, S — 2,72%, A — 19,00%, W — 29,25%; температура насыщенной паром парокислородной дутьевой смеси — 91°; расход технического кислорода — 0,156 *м³/кг*; расход пара — 0,425 *кг/кг*; состав газа: CO_2 — 20,7%, H_2S — 2,3%, O_2 — 0,2%, C_mH_n — 0,8%, CH_4 — 4,8%, CO — 31,0%, H_2 — 37,4%, N_2 — 2,8%, низшая теплотворная способность — 2 432 *кал/м³*, выход газа — 0,825 *м³/кг*; температура газа — 70°.



44. Генератор для газификации под высоким давлением

Особые выгоды представляет газификация на парокислородном дутье в генераторах с выпуском жидкого шлака в силу легкости достижения при большом содержании в дутье кислорода высоких температур. При этом могут быть также использованы шлаки и чугуны, выпускаемые из генератора. В разделе «Генераторы с выпуском жидкого шлака» приведены данные о работе генераторов с выпуском жидкого шлака на парокислородном дутье.

Газогенераторы, работающие под высоким давлением

Как уже указывалось в гл. I, в последние годы возник большой интерес к получению газа под давлением.

Сжатие газа и уменьшение скоростей обусловливает увеличение производительности генератора и малое сопротивление слоя топлива; достигается возможность работы при более низких, чем обычно, температурах, и уменьшение шлакования. Особенно пригодными для газификации под высоким давлением и при низких температурах являются топлива, обладающие высокой реакционной способностью, как то: древесный уголь, торфяной и буроугольный кокс.

Необходимость получения для нужд химической промышленности газа, богатого водородом, побудила к строительству опытных газогенераторных установок, работающих на парокислородном дутье. Удаление получающихся углекислоты и сероводорода отмывкой водой облегчается нахождением газа под высоким давлением. Очистка газа от смол проста. Сжимать приходится только кислород, подаваемый в небольшом количестве. В случае подачи газа на дальнее расстояние давление газа может быть использовано также для транспорта газа. С увеличением давления расход кислорода понижается. Опытный

газогенератор фирмы Лурги [25, 26, 40] для газификации на парокислородном дутье снабжается кислородом от установки Линде. Паровоздушная смесь перед поступлением в генератор подогревается до 450—500°.

Газ из генератора поступает в пылеотделитель, охлаждается и освобождается от смолы, после чего из него удаляют углекислоту и сероводород.

Таблица 40

Результаты опытов газификации под давлением на парокислородной смеси

Наименование статей	Полукокс (буроугольный)		Тощий каменный уголь (6% летучих)		Высушенный бурый уголь (Саксония)		Высушенный лигнит	
	Давление (в *ат*)							
	1		18		26		30		26	
	Сырой газ	Очищен. газ	Сырой газ	Очищен. газ	Сырой газ	Очищен. газ	Сырой газ	Очищен. газ	Сырой газ	Очищен. газ
Состав газа (в %):										
CO_2	25 5	3,0	35,0	3,0	35,2	3,0	38,2	3,0	32,1	3,0
C_mH_n	0,2	0,3	0,3	0 4	0,3	0,4	0,9	1,3	0,4	0,6
O_2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0 3
CO	21,0	27,3	17 0	25,5	9,7	14 5	10,9	17.2	15,5	22,1
H_2	51,4	66,8	34,0	50,8	43,1	64 8	37,2	53,2	39,0	55,6
CH_4	1,8	2,3	13,3	19,8	11,5	17,3	12,7	19,9	12,8	18,3
Высшая теплотворная способность (в *кал/м³*)	2 340	3 141	2 770	4 271	2 670	4 120	3 185	4 990	3 070	4 520
Удельный вес (воздух = 1)	0,647	0,384	0,810	0,461	0,738	0,375	0,829	0,436	0,7.6	0,421
Состав топлива (в %):										
влага		2,0		—		2,0		14,2		11,7
зола		18 0		—		9,0		10 2		5,6
C		72,2		—		81,8		55,7		57,9
H		2,6		—		3,6		4,7		51,0
O		3,8		—		2.7		14,4		18,6
N		1,2		—		0,9		0,9		0,7
Высшая теплотворная способность (в *кал/кг*)		6 600		—		7 510		5 405		5 825
Низшая теплотворная способность (в *кал/кг*)		6 450		—		7 300		5 055		5 480
Выход газа сырого (в *м³/кг*)		2,59		1,91		2,51		1,41		1,64
Выход очищенного газа (в *м³/кг*)		1,99		1,28		1,68		0,90		1,15
Высшая теплотворная способность газа, полученного из 1 *кг* топлива		6 250		5 520		6 918		4 490		5 200

Генератор высокого давления представлен на рис. 44. Он имеет площадь сечения в 1 $м^2$, высоту около 3 $м$ и снабжен вращающейся решеткой и охлаждающим кожухом, в котором получается пар. Загрузка топлива и удаление золы производятся через специальные за-

Таблица 41

Результаты опытов газификации под давлением на парокислородной смеси

Данные	А		Б	
Топливо (бурый уголь):				
размер кусков (в *мм*)	3—8		3—8	
влаги (в %)	21,65		19,00	
золы (в %)	6,50		12,00	
смолы (в %)	10,13		12,40	
высшая теплотворная способность (в *кал/кг*)	4 860		4 700	
Давление (в *ата*)	20,9		20,8	
Чистота кислорода (в %)	72,0		73,2	
Интенсивность газификации (в *кг/м² час*)	680		821	
	Сырой газ	Очищенный газ [1]	Сырой газ	Очищенный газ [1]
Состав газа (в %):				
CO_2	31,47	2,00	31,10	2,00
H_2S	0,83	—	2,00	—
C_mH_n	0,55	0,80	1,00	1,50
O_2	0,10	0,15	0,10	0,15
CO	13,95	20,25	15,90	23,65
H_2	37,00	53,80	31 40	46,75
CH_4	13,80	20,00	15,40	22,95
N_2	2,30	3,00	3,10	3,00
Теплотворная способность газа [2] (в *кал/м³*)	2 901	4 220	3 050	4 550
Выход газа [3] (в *м³* на 1 000 *кг*)	1 380	878 [4]	1 224	710 [4]
Выход смолы (в % от веса угля)	4,62		7,37	
Выход бензина (в %)	1,27		2,02	
К.п.д. газификации (включая смолу и бензин) (в %)	93,2		90,9	
Расход пара (в *кг* на 1 *м³* очищенного газа)	1,11		1,06	
Расход чистого кислорода (в *м³* на 1 *м³* очищенного газа)	0,145		1,161	

[1] Рассчитано по сырому газу с остатком 2% CO_2 при 90% O_2.
[2] Определено калориметром Юнкерса без бензина и H_2S.
[3] За вычетом расхода на перегрев пара.
[4] Выход газа в 4 200 *кал/м³* при крекировании смолы из буроугольных брикетов — 1 070 *м³* на 1 000 *кг*.

творы. Применение охлаждающего кожуха предупреждает разъедание кожуха кислородом и обезуглероживание кожуха образующимся водородом.

В табл. 40 приведены результаты опытов в генераторе Лурги при различных топливах. Интенсивность газификации составляла при этом до 600 *кг/м² час*.

При дальнейших опытах интенсивность газификации при мелкозернистом топливе (3—8 *мм*) доводили до 900 *кг/м² час*. При этом шлакования не наблюдалось и шуровки не требовалось. Заметного пылеобразования не было, что связано с малыми скоростями газа вследствие применения высокого давления (10—20 *ат*). Сопротивление слоя топлива при высоте его в 3 *м* было меньше 60 *мм* вод. ст.

Результаты дальнейших исследований представлены в табл. 41.

Как указывает Губман, при газификации на парокислородной смеси под давлением в 5—10 *ат* и очистке газа путем промывки водой под давлением от углекислоты и на 95% от содержащегося в нем сероводорода, а также путем сжижения — от метана и окиси углерода получается газ, содержащий 72% H_2. Полученный газ может быть использован для целей синтеза, а окись углерода и метан могут найти самостоятельное применение. При газификации же под давлением в 20 *ат* после отмывки газа от углекислоты и сероводорода может быть получен газ, пригодный для городского снабжения, следующего состава: CO_2 — 2%, CH_4 — 22%, C_mH_n — 0,4%, CO — 18,4%; H_2 — 56,2%, N_2 — 3%; теплотворная способность — 4 300 *кал/м³* [26].

В целях устранения неудобств, связанных с получением кислорода и необходимостью загрузки и чистки генераторов, находящихся под высоким давлением, и вместе с тем сохранения преимуществ, связанных с газификацией под давлением, имеются предложения работы прерывистым процессом, как в генераторах водяного газа, с тем, чтобы воздух подавался под обычным давлением, а пар — под высоким. При этом отпадает необходимость в производстве кислорода, получается высококалорийный газ, и загрузка и чистка генераторов могут происходить при нормальных условиях [40].

7. ГЕНЕРАТОРЫ С ВЫПУСКОМ ЖИДКИХ ШЛАКОВ

Принципы работы

В генераторах с выпуском жидких шлаков в нижней части генератора поддерживаются столь высокие температуры, что шлаки находятся в расплавленном состоянии и могут быть спущены.

Получение шлака в жидком виде упрощает уборку золы, допускает применение топлив с легкоплавкой золой, дает возможность использовать металл и шлак, получаемые в качестве отхода, позволяет значительно увеличивать производительность генератора и имеет ряд других преимуществ.

До последнего времени эти генераторы, работающие с большой интенсивностью, не получили широкого применения вследствие легкости застывания шлака, большого уноса пыли и сильного разъедания футеровки.

Целый ряд возникших в последние годы проблем, в частности получения газа с высокой теплотворной способностью, с большим содержанием водорода, на дутье, богатом кислородом, и необходимость создания конструкций большой производительности, а также необходимость использования топлив с легкоплавкой золой, вновь вызвали интерес к этим генераторам.

Для увеличения текучести и понижения температуры плавления золы в генераторах с выпуском жидкого шлака к топливу примешиваются флюсы.

Имеется сходство между подобными генераторами и домнами, обусловленное общностью процессов, протекающих в зоне горна в доменной печи и в соответствующей зоне генератора, работающего на жидком шлаке. При этих процессах соединения железа, содержащиеся в золе топлива и в добавках к топливу, восстанавливаются до металла углеродом топлива. Кремний, марганец и фосфор также восстанавливаются из соответствующих кислородных соединений и образуют сплав с железом.

В качестве флюсов в генераторах со спуском жидких шлаков применяются доменные шлаки, известняк, и могут быть применены бедные железные, не пригодные для доменных печей, руды.

Эти генераторы могут быть также использованы для переработки отходов от металлургических процессов и бедных руд (свинцовых, медных, оловянных и т. д.).

Состав и свойства шлака

Для бесперебойной и хорошей работы генератора со спуском жидких шлаков требуется, чтобы получаемый шлак был достаточно подвижным и легкоплавким. Слишком густой шлак засоряет зону газификации, а слишком жидкий сильно разъедает футеровку генератора.

Текучесть шлака зависит от соотношения количеств CaO и суммы $SiO_2 + Al_2O_3$. Если это отношение велико или мало, то оно делает шлаки плохотекучими, густыми. При малой величине соотношения шлаки тягучи в жидком состоянии и стекловидны и хрупки в холодном (кислый шлак); при большой величине отношения шлаки в горячем состоянии не тягучи, а в холодном рассыпаются (основной шлак). Как указывает Костылев [41], согласно работам Фельда и Ройстера, особенно большое влияние на вязкость шлака оказывает глинозем, причем этими исследователями установлено, что при увеличении содержания глинозема до 20—30% шлаки могут быть достаточно жидкими и практически применимыми, хотя, согласно установившемуся мнению, содержание глинозема в шлаке не должно превышать 14,5%, так как при этом шлак уже получается очень густым.

Как показывают работы Мак-Кефери [42], в наиболее кислых шлаках (51% SiO_2) вязкость растет пропорционально содержанию глинозема. Шлаки с 50 и 45% SiO_2 обнаруживают максимум вязкости, соответственно при 20 и 25% Al_2O_3. При шлаках с 40 и 35% SiO_2 максимум вязкости передвигается к 27 и 29% Al_2O_3, при минимуме

вязкости при 7 и 8 — 12% Al_2O_3. Более основные шлаки с 30 и 25% SiO_2 имеют наименьшую вязкость при 14 и 22% Al_2O_3 соответственно. Для шлаков, содержащих SiO_2 в пределах 25—40%, наилучшая текучесть достигается при 1500°, когда сумма SiO_2 и Al_2O_3 равна 47%.

Прибавление к шлакам магнезии уменьшает вязкость. Добавление MgO до 5% увеличивает при той же вязкости пределы содержания извести. При содержании MgO в 20% все шлаки в пределах содержания CaO в 22—58% делаются жидкими. Практически уже 10% MgO гарантирует получение текучих шлаков, особенно если содержание глинозема в них велико.

Легкоплавкость шлака характеризуется количеством тепла, расходуемого на расплавление 1 *кг* шлака. На расплавление 1 *кг* легкоплавкого шлака затрачивается около 350 *кал*, и шлак имеет температуру плавления в 1200°.

Температура расплавления шлака зависит от его химического состава. В жидкоплавких шлаках соотношение кремнезема и суммы окисей кальция и магния лежит в пределах 0,8—0,9. Относительное увеличение содержания в шлаке кремнезема или извести увеличивает температуру его плавления.

Гау Бабю составлена трехосная диаграмма, связывающая плавкость шлаков с содержанием в них SiO_2, Al_2O_3 и CaO. Пользуясь этой диаграммой, можно подобрать флюсы таким образом, чтобы получился легкоплавкий шлак. Можно также пользоваться диграммами Мак-Кефери. С увеличением количества компонентов, входящих в состав шлака, понижается температура его плавления. Особенно выгодно в этом отношении введение MgO с заменой им CaO в шлаке.

Процессы в горне

Тепло в горне генератора с выпуском жидких шлаков затрачивается на плавление шлака, плавление чугуна, восстановление окислов железа, кремния и фосфора, разложение известняка, разложение водяного пара, а также на потерю в окружающую среду.

Рамбуш и Риксон [43] излагают ряд соображений о ходе процесса в генераторах с выпуском жидкого шлака.

Шлаки с высоким содержанием кремнезема плавятся медленно, в большом температурном интервале, от состояния размягчения до жидкоплавкого; известковистые же шлаки плавятся быстро, в малом температурном интервале.

При высокой температуре кремнекислота восстанавливается углеродом, причем получающийся кремний соединяется с железом. С уменьшением восстановления кремнекислоты шлак получается более кремнеземистым, а с увеличением — более известковистым. По этой причине в шихте, содержащей необходимое количество флюса, химический состав шлака в значительной мере зависит от температуры наиболее горячей зоны у фурм, значительно превышающей температуру шлака.

Чем ниже температура жидкоплавкого состояния шлака, тем большая часть тепла, выделяющегося в горне или вносимого в горн, потребляется самим горном и тем меньшее количество остаточного тепла уносится в шахту.

В условиях постоянной температуры дутья режим горна можно охарактеризовать следующим образом.

При содержании в шихте необходимого количества флюса и наличии достаточного количества окислов железа тепло в горне хорошо используется с образованием легкоплавкого шлака. Потребление тепла на плавление шлака при низкой температуре жидкоплавкого состояния достигает максимума, и генератор работает удовлетворительно.

Если количество окислов для восстановления недостаточно и выплавлено мало железа, температура горячей зоны повышается, восстанавливается большее количество кремнекислоты, получается известковистый шлак с высокой температурой жидкоплавкого состояния, потребление тепла понизится, газогенератор будет работать на горячем ходу и произойдет сплавление шихты, загружаемой в генератор, выше слоя шлака, вызывающее затруднение в ходе процесса. Если количество окислов для восстановления и количество выплавленного железа больше, чем нужно, температура горячей зоны понизится, восстановление кремнекислоты задержится, получится кремнеземистый шлак с повышенной температурой жидкоплавкого состояния и тепла нехватит для плавки; в результате наступят застывание шлака и остановка генератора.

Большое значение для благоприятного прохождения процесса газификации в генераторах с выпуском жидкого шлака имеют сохранение коксовым остатком топлива кусковатого прочного строения и окончание сухой перегонки топлива к моменту образования жидкого шлака. В противном случае истертое, мелкое топливо смешивается с шлаком, делается недоступным для воздействия кислорода и понижает подвижность расплавленного шлака (замусоривание горна), в результате чего нарушается нормальный ход генератора.

Применение подогретого дутья

При наличии возможности изменять количество вводимого в генератор тепла путем регулирования температуры дутья генератор может бесперебойно работать при различном составе шихты и расходе тепла в горне. При низком и высоком содержании в шихте железа процесс необходимо вести на сильно подогретом дутье; при высоком содержании в шихте углерода (70—80%) и нормальном ходе генератора в горне выделяется больше тепла, чем может быть использовано. Это подтверждается практикой работы на генераторах со спуском жидких шлаков при применении одного кокса без добавки железной руды и скрапа.

Применение сильно подогретого дутья и регулирование температуры его обеспечивают максимальные выходы чугуна без ущерба для процесса газификации низкосортных топлив.

Использование металла и шлака

Шлаки и чугуны, получающиеся в генераторах со спуском жидких шлаков, могут быть использованы. Состав получаемых шлаков зависит от состава золы топлива. Последний характеризуется высоким содержанием SiO_2 и Al_2O_3, низким — CaO и переменным — Fe_2O_3. Если содержание золы не велико, то химический состав шлака можно менять по желанию, например таким образом, чтобы получить непосредственно или путем последующей прибавки извести цемент требуемого состава. Если содержание золы в топливе велико, то флюс подбирают таким образом, чтобы получить легкоплавкий шлак.

Для использования пригодны не только основные шлаки; кислые шлаки также могут быть использованы, например в гранулированном виде — для изоляции, изготовления теплых бетонных кирпичей и в виде брусков — для мощения мостовых.

При применении генераторов со спуском жидких шлаков [43] для переработки вместе с горючим отходов производств цветных металлов (возможно и бедных руд) цинк, свинец и олово возгоняются, а медь в соединении с серой образует королек. Возгоняющиеся и уносимые генераторным газом металлы могут быть выделены при очистке газа.

Генераторы Эбельмана

Система генераторов с расплавлением шлаков является одной из самых старых. Первые подобные конструкции были осуществлены в 30—40-х годах прошлого столетия Эбельманом.

В первоначальной конструкции Эбельмана [4, 44] генераторы не имели ни верхнего, ни нижнего затвора; шахта суживалась и кверху и книзу; топливо — отбросы древесного угля — подавалось с помощью юбки-цилиндра, спущенного в загрузочное отверстие и заполненного топливом.

В качестве флюса прибавлялся доменный шлак или известняк. Эбельман применял и сухое и влажное дутье. При этом выявилось, что добавка пара вызывала застывание шлака на некотором расстоянии по вертикали от места ввода воздушной струи.

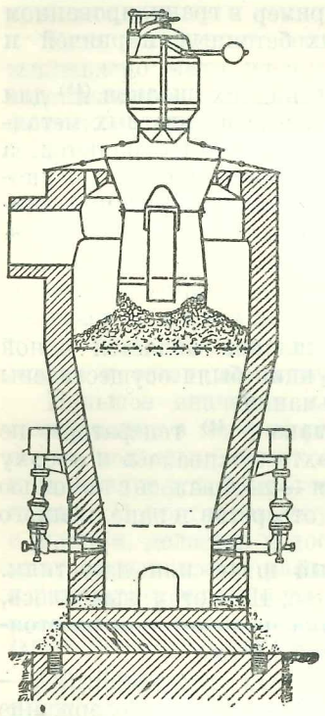
Анализ газа при применении сухого дутья был следующий: CO_2 — 0,5%; CO — 33,3%; H_2 — 2,8%; CH_4 — 0,0%; N_2 — 63,4%. Содержание CO близко к теоретическому. Эта конструкция давала сильное пыление, и в дальнейшем генераторам придавали форму, расширяющуюся кверху.

Генераторы S. F. H.

Французское общество Фише и Хертей построило в 1907 г. генератор со спуском жидких шлаков (S. F. H.), представленный на рис. 45. Он снабжен колоколом, препятствующим уносу пыли из свежезагруженного топлива и сепарации топлива, а также поддерживающим равномерный слой топлива в генераторе.

Этот генератор имел значительную производительность даже при пользовании малоценным топливом, например бурым углем с зольностью в 40%. На 1 $м^2$ сечения, считая по уровню сопел, газифицировалось 800—1 000 *кг* угля в час. Газ имел состав: CO_2 — 2,55%; CO — 29,47%; H_2 — 6,66%; CH_4 — 3,22%. Генератор не получил рас-

пространения вследствие необходимости постоянного наблюдения высококвалифицированного персонала и затруднительности шихтовки (подбора флюсов). Опыт показал, что выше сопел легко образуются своды, препятствующие опусканию топлива в область сопел и повышающие горячую зону. Капающий сверху шлак, попадая в область подачи холодного дутья, застывал и забивал генератор [4,44].

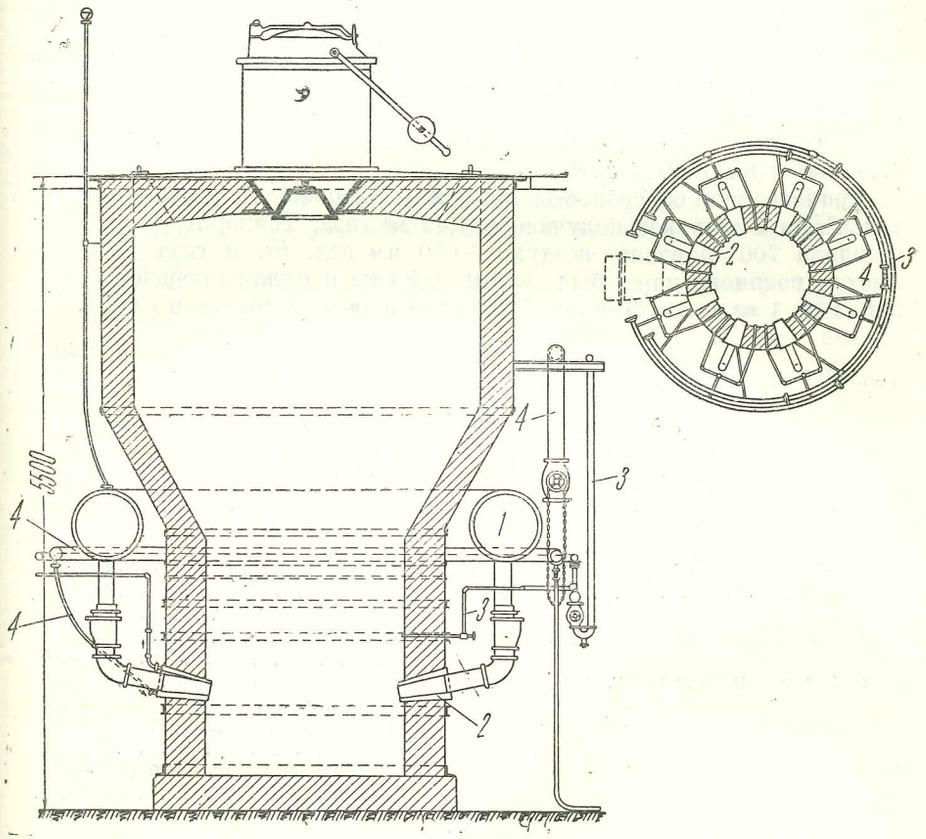


45. Генератор S. F. H.

Генератор Вюрта

В 1913 г. был испытан генератор Вюрта [4, 44, 46] (рис. 46). Этот генератор имел горн диаметром в 1,6 *м* и высотой в 1,8 *м*, был снабжен заплечиками и цилиндрической шахтой; у пода имелось два отверстия для выпуска шлака и чугуна; на высоте 1,5 *м* от отверстий находилось 8 бронзовых фурм, охлаждаемых водой; вся высота генератора составляла 5,3 *м*; газ отводился двумя диаметрально противоположными трубопроводами. Дутье подавалось вентилятором Рута, имевшим производительность в 200 $м^3/мин$ и дававшим давление в 1 200 *мм* вод. ст. Топливом являлся рурский кокс с кусками размером в 10—60 *мм* и с содержанием 12—15% золы. Состав золы был следующий: SiO_2 — 48%, Al_2O_3 — 36%, Fe_2O_3 — 9%; CaO — 3%.

При пуске обнаружились затруднения. Генератор в первые часы после пуска давал большое количество газа хорошего качества, шлаки легко спускались; по прошествии 15 час. фурмы стали затягиваться шлаком, нижняя часть генератора стала заполняться тестообразной массой, постепенно заполнившей внутренность генератора. Давление дутья увеличилось, количество газа уменьшилось; шлак перестал вытекать. Генератор с трудом был очищен от образовавшейся массы. Изменение состава шихты, диаметра фурм, давления дутья и тому подобные средства помочь не могли. Причина неудачи заключалась в преждевременном сплавлении флюсов и золы кокса в результате чрезмерного повышения температуры в верхней части генератора. Для отбора тепла был применен подвод пара паровыми соплами на высоте 50 *см* от фурм для дутья. Сначала в виде плавня применялся известняк, но куски его не успевали прореагировать с SiO_2 золы. Тогда стали применять гранулированный доменный шлак состава: SiO_2 — 30%; Al_2O_3 — 15%, CaO — 42%; MgO — 6%; Fe_2O_3 и MnO — 7%. Всего добавки составляли 10—12% от веса топлива. Воздух подавался подогретым до 240°. Получаемый шлак имел состав: SiO_2 — 38%; Al_2O_3 — 26%; CaO — 32%; MgO — 2%; Fe_2O_3 — 1%; MnO — 1%. Он выпускался с температурой 1500—1600°. Чугун получался кремнистый. Впоследствии доменный шлак заменили шлаком из того же генератора с добавкой сильно измельченного известняка для поддержания постоянства шихты.



46. Генератор Вюрта:

1 — воздухопровод, *2* — охлаждаемые водой фурмы, *3* — паропровод, *4* — водопровод

При работе без подогрева дутья иногда бывали затруднения с выпуском шлака.

Температура газа в зависимости от влажности кокса составляла 550—800°. Топливо загружалось один раз в 15—20 мин., а шлак выпускался один раз в $1^1/_2$—2 часа. Шуровка не была нужна. Ремонт горна и заплечиков производился один раз в 6—8 месяцев.

Описывающими установку [46] отмечается, что при подаче пара в генераторе создаются две отдельные зоны — нижняя горячая, в которой

получается воздушный газ, и верхняя — более холодная, в которой образуется водяной газ. Промежуточная часть между зонами должна быть возможно мала, чтобы избежать образования сводов при размягчении шлака. Количество пара не должно быть слишком большим во избежание недопустимого охлаждения зоны расплавленного шлака.

Длительная работа генератора оказалась возможной без использования предусмотренной специальной камеры для подогрева пода генератора.

При применении коксика с содержанием: C — 87,4%; H — 0,5%; H_2O — 4% состав газа был следующий: CO_2 — 2%; CO — 32%; H_2 — 7,5%; CH_4 — 0,5%; N_2 — 58%.

Содержание в газе сероводорода составило 1,52 *г/м³*, влаги — 27,8 *г/м³* и пыли 21,7 *г/м³*.

Теплотворная способность: низшая — 1 210 *кал/м³*, высшая — 1 250 *кал/м³*. Из 1 *кг* кокса получалось 4,42 *м³* газа. Температура газа составляла 700°, давление воздуха — 600 *мм* вод. ст. и газа — 50 *мм*. Расход водяного пара был равен 0,23 *кг* и охлаждающей воды — 2,2 *кг* на 1 *кг* кокса. Тепловой баланс генератора приведен в табл. 42.

Таблица 42

Тепловой баланс генератора Вюрта

Приход		Расход	
Наименование статей	%	Наименование статей	%
Теплотворная способность топлива	94,0	Теплотворная способность газа	74,3
Теплосодержание пара	2,8	Теплосодержание газа	14,7
Теплосодержание воздуха	3,2	Теплотворная способность пыли	5,6
		Теплосодержание пыли	0,3
		Нагрев охлаждающей воды	1,0
		Теплосодержание шлака и чугуна	0,9
		Потери в окружающую среду	3,2
Итого	100,0	Итого	100,0

Производительность генератора составляла 50 *т/сутки*, что при диаметре в верхней части в 2,9 *м* дает интенсивность газификации в 300 *кг/м² час*. Шлак спускался попеременно из двух имевшихся отверстий каждые 2—3 часа; небольшое количество чугуна выпускалось одновременно. Количество уносимой пыли составило 9,6% от веса топлива. Основная часть ее (6—7%) представляла собой грубую пыль, осаждавшуюся в пылеуловителе. Количество шлака составило 13,3% и чугуна 0,3%. Вода, охлаждавшая фурмы, подогревалась на 35°. Застывание шлака не имело места даже при снижении производительности наполовину.

Опыты Смита

К этому же периоду относятся опыты, проведенные Д. Смитом [43], с применением холодного и горячего дутья и подводом пара выше пояса дутьевых фурм. Топливом служил кокс с содержанием золы в 11%, а флюсом — известняк. Работа велась с малой интенсивностью; при этом наблюдались затруднения в достижении жидкоплавкого состояния шлака. При подогреве дутья до 227° условия работы облегчались, и добавка пара без ущерба для состояния шлака доходила до 0,75 *кг* на 1 *кг* кокса.

Генераторы завода «Georgs-Marienhütte»

С 1913—14 г. были начаты исследования процесса газификации в генераторах со спуском жидких шлаков на заводе «Georgs-Marienhütte» (Германия) [44].

В табл. 43 приведены данные о размерах этих генераторов.

Производительность генераторов доходит до 100 *т/сутки*. Пар не подается. Первичный воздух вдувается через охлаждаемые водой фурмы. Расплавленный чугун, получаемый из добавляемых флюсов, спускается через специальное отверстие у пода. На высоте 200 *мм* от отверстия для спуска чугуна находятся отверстия для спуска шлака.

Состав газа в среднем следующий: CO_2 — 0,6%; H_2 — 0,9%; CO — 33,4%; CH_4 — 0,5%; N_2 — 64,6%. Содержание сероводорода в газе — 0,39 *г/м³*, влаги — 7,9 *г/м³* и пыли — 5,3 *г/м³*. Теплотворная способность: низшая — 1 085 *кал/м³*, высшая — 1 095 *кал/м³*. Температура газа 800°. Давление воздуха — 400 *мм* и газа — 70 *мм*. Потребление охлаждающей воды — 7,7 *кг* на 1 *кг* кокса. Выход газа — 4,65 *м³/кг*.

Шлак выпускается приблизительно один раз в 4 часа, а чугун, в зависимости от содержания железа в флюсах,—один раз в 8—12 час. Количество спущенного чугуна варьирует в пределах 0,5—1,25 *т* на 30 *т* газифицируемого топлива.

При том же составе кокса, что и в генераторе Вюрта, количество прибавляемого шлака составляет 17,7% от веса топлива. В соответствии с крупностью кокса и сравнительно небольшим давлением дутья количество уносимой с газом пыли не велико — 2,4%. Количество спускаемого шлака составляет 18%.

Тепловой баланс генератора приведен в табл. 44.

Как видно из приведенных данных, в условиях применения кокса и отсутствия добавки пара к дутью температура газа высока и в нем мало влаги и водорода. Теплотворная способность газа зависит почти исключительно от содержания в нем CO. Опыт показывает целесообразность добавки в генератор веществ, содержащих железо. Слой чугуна, находящийся на поду генератора, предохраняет вышележащий шлак от соприкосновения с холодным подом, от местных охлаждений и застывания.

Генераторы, подобные установленным на заводе «Georgs-Marienhütte», были установлены на заводе «Gelsenkirchener Bergwerks» в Гер-

Основные размеры и производительность генераторов со спуском жидких

Производительность в 1 сутки (в *т*)	Количество газа (в *м³/час*)	Первичного воздуха (в *м³/мин*)	Диаметр основания внутренний (в *мм*)	Диаметр основания внешний (в *мм*)
10— 15	2 000— 3 000	55	1 100	1 640
20— 30	4 000— 6 000	105	1 600	2 140
30— 45	6 000— 9 000	155	1 900	2 440
50— 70	10 000—14 000	245	2 350	2 890
70—100	14 000—20 000	350	2 850	3 390

мании (Husten). На этом заводе работали на холодном дутье два генератора. В качестве флюсов применялись железная руда и скрап. Выход чугуна составлял до 200 *кг* на 1 *т* кокса. Опыты, поставленные на этом заводе с целью выяснения максимально допустимого для удовлетворительной работы генератора содержания золы в топливе, производившиеся путем добавления к коксу в различных количествах топочной золы, показали, что максимально допустимое количество золы при холодном дутье определяется выходом шлака в 90—95% от веса кокса, что соответствует содержанию в шихте 52—55% нелетучего углерода.

Опыты на заводах «Georgs-Marienhütte» и «Gelsenkirchener Bergwerks» дали возможность сделать следующие выводы. Наилучшим размером кокса является $^1/_2$—2″; коксовая мелочь должна быть отгрохочена, как препятствующая легкоплавкости шлака и способствующая уносу пыли из генератора; содержание в топливе золы и ее состав должны соответствовать количеству шлака в 90—95% от веса углерода топлива, что в большинстве случаев препятствует применению топлива с содержанием углерода менее 62%; сильно спекающиеся угли, а также угли, дающие непрочный кокс, не пригодны для газификации в генераторах с выпуском жидких шлаков; для установления количества и состава флюсов необходимо постоянство количества и состава золы; прибавление железной руды и скрапа рекомендуется увеличивать до возможного предела; расплавленный чугун способствует поддержанию шлака в жидкоплавком состоянии и представляет собой ценный побочный продукт.

Генераторы Пинча

Фирма «Пинч» вследствие застывания шлака и затруднений с его отводом заменяет основание генератора шлаковым сменным мешком, уплотненным асбестовым шнуром, расположенным на передвигающейся тележке. Каждые 6 час. мешок меняется. Во время смены мешка слой

Таблица 43

шлаков завода «Georgs-Marienhütte»

Диаметр шахты внутренний (в *мм*)	Диаметр шахты внешний (в *мм*)	Полная высота (в *мм*)	Диаметр газоотводного отверстия (в *мм*)	Средний диаметр кольцевого воздухопровода (в *мм*)	Диаметр воздухопровода (в *мм*)
1 500	2 010	4 000	600	3 000	250
2 000	2 540	5 000	800	3 500	250
2 300	2 840	5 000	800	3 800	250
2 750	3 290	6 000	1 000	4 400	375
3 250	3 790	6 500	1 200	4 900	375

Таблица 44

Тепловой баланс генератора завода «Georgs-Marienhütte»

Приход		Расход	
Наименование статей	%	Наименование статей	%
Теплотворная способность топлива	99,1	Теплотворная способность газа	72,0
Теплосодержание воздуха	0,9	Теплосодержание газа	18,3
		Теплотворная способность пыли	1,3
		Нагрев охлаждающей воды	3,8
		Теплосодержание шлака	1,5
		Потери в окружающую среду	3,1
Итого	100,0	Итого	100,0

топлива поддерживается временной решеткой. Для большей производительности фирма применяет водяное охлаждение шахт.

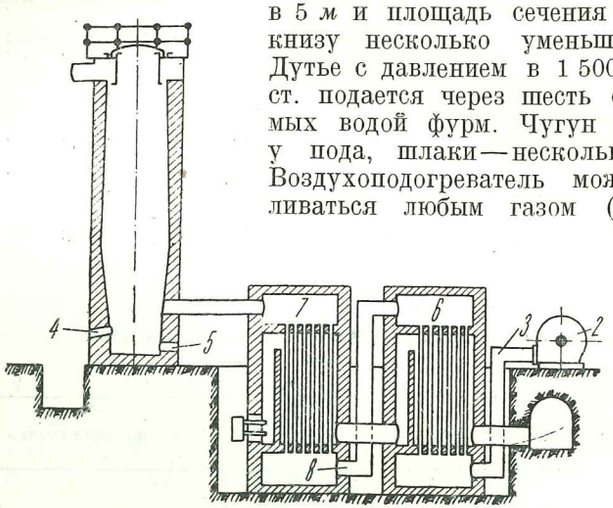
Для предупреждения перерыва в производстве газа на время смены шлаковых тележек включается в действие экгаустер, находящийся на магистрали холодного газа. Таким образом в период смены тележки генератор работает с всасыванием [44].

Генераторы, работающие на подогретом дутье

В 1920 г. в St. Etienne [13, 44, 45] была пущена установка, работавшая на сланцах с применением дутья, подогретого в специальном трубчатом подогревателе до 400—600°. Шихта состояла главным образом из сланца с содержанием золы выше 70%. Генератор работал

удовлетворительно и давал газ постоянного состава с теплотворной способностью в 1 070 — 1 250 *кал/м³*, кремнистый чугун и шлак, пригодный для изготовления цемента.

Французская фирма «Société Houillieres de St. Etienne» применяет генераторы со спуском жидких шлаков для газификации отходов от промывки угля. Дутье в генератор подается подогретое. Производительность генератора — 20—30 *т/сутки*. Генератор имеет высоту в 5 *м* и площадь сечения в 0,5 *м²*, книзу несколько уменьшающуюся. Дутье с давлением в 1 500 *мм* вод. ст. подается через шесть охлаждаемых водой фурм. Чугун отводится у пода, шлаки — несколько выше. Воздухоподогреватель может отапливаться любым газом (рис. 47).



47. Генератор с воздухоподогревателем:
1—газогенератор, *2*—вентилятор, *3*—воздухопровод, *4*—спуск шлака, *5*—спуск чугуна, *6*—воздухоподогреватель с металлическими трубами, *7*—воздухоподогреватель с трубами из огнеупорного материала, *8*—соединительный воздухопровод

Подогрев воздуха дает возможность применять многозольные топлива.

Состав газа меняется в зависимости от состава топлива. При применении топлива с содержанием золы в 31% и летучих — в 26% состав газа был следующий: CO_2 — 2,6%; CO — 29%; H_2 — 11,7%; CH_4 — 4,4%; теплотворная способность — 1 570 *кал/м³*. Газ из кокса с содержанием золы в 22% имел состав: CO_2 — 0,6%; CO — 33%; H_2 — 1,5%; теплотворная способность — 1 045 *кал/м³*.

В 1924 г. в St. Etienne была организована фирма «L'air chaud» для распространения генераторов со спуском жидких шлаков, работающих на низкосортном топливе с подогретым дутьем и использованием чугуна и шлака.

В 1926 г. [43] в St. Etienne были смонтированы два генератора для газификации смеси сланца и низкосортного кокса производительностью по 120 *т* шихты в сутки. Диаметр генератора — 2,2 *м*, высота — 7,8 *м*; изнутри он футерован огнеупорным кирпичом, снаружи охлаждается брызгалками. В поду генератора имеются две летки, расположенные одна против другой и ведущие в приямок для разделения чугуна и шлака. Давление, создаваемое воздуходувкой,—3 000 *мм*. Подогрев дутья возможен до 600°. Выпуск шлака производится через полчаса; шлак поступает в яму и гранулируется водой, а расплавленный чугун собирается в жолобе, откуда спускается в форму с последующим охлаждением водой. Шлак направляется на дальнейшую переработку на цемент.

Последние эксплоатационные данные по работе установки характеризуются следующими данными.

Состав мытого сланца: влаги — 3%, золы — 55%, летучих — 16%, нелетучего углерода — 29%. Состав золы сланца: SiO_2 — 36%; Al_2O_3 — 19%; CaO — 14%; MgO — 3%; FeO — 25%. Состав кокса: влаги — 10%, золы — 24%, летучих — 1%, нелетучего углерода — 75%. Состав золы кокса: SiO_2 — 50%; Al_2O_3 — 28%; CaO — 6%; MgO — 1%; FeO — 12%; в известняке — 54% CaO. Состав газа: CO_2 — 3,5%; CO — 32,5%; H_2 — 4%; CH_4 — 1%; N_2 — 59%; низшая теплотворная способность — 1 180 *кал/м³*. Состав чугуна: C — 2,7%.; Si — 4,7%; S — 0,02 — 0,05%; P — 0,15%. Состав шлака: SiO_2 — 34%; Al_2O_3 — 22; CaO + MgO — 43%; $\frac{SiO_2}{CaO+MgO} = 0{,}79$.

Температура воздушного дутья 450°.

Суточный расход материалов на генератор: сланца — 40,4 *т*, кокса — 37 *т*, известняка — 22,6 *т*, скрапа — 5 *т*. Валовой выход газа — 220 000 *м³*, чистый (за вычетом расхода на воздухоподогреватель и сушилку для шлака) — 185 000 *м³*; выход шлака — 35 *т* (перерабатывается в 50 *т* цемента); выход кремнистого чугуна — 11 *т*.

Описанные генераторы работали попеременно в непрерывной эксплоатации в течение 6 лет.

В генераторе «L'air chaud» с успехом газифицировали также железистые сланцы с получением в виде побочных продуктов шлака и кремнистого чугуна, а также низкосортные каменные и бурые угли. Содержание нелетучего углерода в шихте подбиралось в пределах 30—45%, и температура воздушного дутья составляла 400—600°.

При использовании в шихте железной руды или железистых отходов целесообразно изготовление из них в смеси с топливом брикетов, так как в этом случае легче протекает восстановление железа непосредственно углеродом.

Содержание кремния в чугуне вследствие высокой температуры в горне достигает 9%. Путем добавления в шихту железного скрапа содержание кремния можно понизить до 4—7%. Получающийся чугун содержит мало серы. Содержание фосфора в чугуне зависит от содержания его в золе. Содержание алюминия в шлаке выше, чем в доменном шлаке; железо практически отсутствует.

Количество шлака и ход процесса зависят от количества флюса, содержания нелетучего углерода и температуры дутья. Возможность регулирования температуры дутья облегчает ведение процесса.

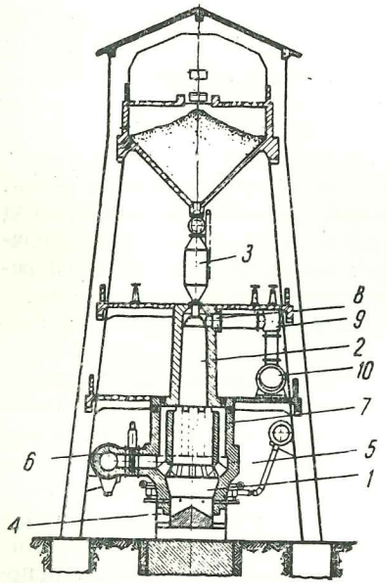
Построенный во Франции генератор производительностью в 50 *т* при применении низкосортного угля с содержанием 30% золы и 30% летучих работал с добавкой железистых брикетов, изготовлявшихся

из колчеданных огарков в смеси с угольной мелочью. Состав шихты был следующий: низкосортного угля — 36,5%, кокса — 10,4%, железистых брикетов — 14,8%, известняка—25,2%, скрапа — 13,1%. Газ имел теплотворную способность в 1 300 *кал/м*³. Он очищался с помощью смолоуловителя Тейсена и сжигался под котлами; кремнистый чугун и шлак, пригодный для изготовления цемента, получались в качестве побочных продуктов.

Генератор Ремана

Большой интерес представляет газификация в генераторах со спуском жидких шлаков малоценных топлив. При этом основным затруднением повидимому явится унос пыли, тем более что в случае применения мелкого и легко распадающегося топлива потребуется увеличение давления дутья.

Фирмой «Реман» [44] предложена для этой цели конструкция генератора, в которой газ по выходе из генератора попадает в кольцевую камеру, разделенную на несколько частей и играющую роль пылеуловителя. Осевшая пыль отводится специальными трубами вниз и с помощью клапанов может быть примешана к воздуху, подаваемому в генератор.



48. Генератор фирмы «Kohle und Erz» со швельшахтой

Генератор фирмы «Kohle und Erz»

На рис. 48 представлен генератор фирмы «Kohle und Erz» со спуском жидких шлаков и с швельшахтой для каменного угля ([15, 44]). Генератор *1*, имеющий горячий ход и работающий на чистовоздушном дутье, снабжен швельшахтой *2* и загрузочной коробкой *3*. Жидкий шлак спускается через отверстие *4*. Из реакционной зоны большая часть горячего газа с температурой 1100° отбирается в кольцевой канал *5* и оттуда газопроводом *6* подается в газосборник. Небольшая часть газа, примерно 25%, направляется через каналы *7* и шахту генератора к швельшахте, и за счет ее тепла происходят перегонка и коксование угля. Смесь генераторного газа и продуктов перегонки с температурой 150° газопроводами *8*, *9* и *10* подается к очистительной установке, где из нее улавливаются смола и аммиак.

Состав швельгаза примерно следующий: CO_2 — 2—4%; CO — 32—35%; H_2 — 17—20%; CH_4 — 2—3%; N_2 — 47 — 48%. Теплотворная способность 1 550 — 1 813 *кал/м*³. Состав газа нижнего отъема: CO_2 — 0,8 — 1%; CO — 32—34%; H_2 — 1—2%.

При угле с теплотворной способностью в 7 000 *кал/кг* выход газа составил 3,6 *м*³/*кг* и выход первичной смолы — 90 *г/кг*; в химическом тепле газа — 64% тепла топлива, теплосодержание газа — 12%; на 1 *т* топлива получается 12 *кг* сульфата аммония.

Генератор фирмы «Koppers»

Фирма «Koppers» во избежание застывания шлака предлагает сжигать некоторую часть генераторного газа и за счет выделяемого тепла подогревать шлаки. Продукты сгорания паровым инжектором подаются в генератор, где углекислота восстанавливается в окись углерода.

Этот способ несовершенен и неэкономичен и распространения не нашел [44].

Применение генераторов с выпуском жидких шлаков при получении цветных металлов

Горючий газ получается также в шахтных печах металлургии цветных металлов, служащих для получения свинца, олова и меди. Восстановление окислов происходит частично за счет кокса, добавляемого в шихту в количестве, минимально необходимом для плавки, и частично за счет образующейся окиси углерода. Дутье применяется холодное во избежание слишком большой возгонки металла и уноса его с газом, хотя и при холодном дутье часть олова и свинца возгоняется, частично превращаясь в окись; часть возгона осаждается в верхней части печи и возвращается в нижнюю зону, а часть уходит с газом. Цинк, содержащийся в руде, целиком возгоняется и в виде окиси оседает в верхней части печи, вызывая через некоторый период остановку печи.

В случае работы генератора со спуском жидкого шлака с горячим дутьем на смеси из топлива, бедных руд или отходов металлургических производств и известняка цинк, кадмий, свинец и олово при соответствующей температуре возгоняются, а топливо шихты газифицируется. Возгоняющиеся металлы уносятся с газами и выделяются при осушке газа преимущественно в виде окисей. Медь и сернистые соединения, содержащиеся в шихте, образуют легкоплавкий королек, состоящий из сернистой меди и сернистого железа. При шихте, содержащей много соединений железа, получается чугун с содержанием кремния, марганца, меди и фосфора [43].

Таким образом в подобном случае продуктами процесса являются газ, возгоняемые окислы и чугун или королек.

Целесообразно брикетирование руды с применяющимся топливом — угольной, коксовой или антрацитовой мелочью. Шихта в этом случае состоит из брикетов с небольшой добавкой известняка и кокса.

При опытах, показавших возможность применения разнообразных руд и отходов, свинец, олово, цинк и кадмий возгонялись и выде-

лялись при очистке газа; в некоторых случаях возгонялись серебро и марганец; теплотворная способность газа составляла 800—1 240 *кал/м*³.

Работа генератора зависит от содержания в шихте нелетучего углерода, содержания металлов и температуры дутья; получение чугуна или королька зависит от состава шихты и условий ведения процесса.

С 1927 г. во Франции [43] работал газогенератор с возгонкой производительностью в 120 *т* в сутки, оборудованный фирмой «Fusion et Voltisation», связанной с фирмой «L'air chaud». Этот генератор перерабатывал отходы производства электролитического цинка в смеси с коксом и известняком. Позднее этот генератор был заменен другим с производительностью в 200 *т*, имеющим прямоугольное сечение 3,45 × 1,40 *м* и высоту в 6,9 *м*. Последний генератор имеет наружное водяное охлаждение, ряд охлаждаемых водой фурм и с одного конца летку. Отходы состоят преимущественно из феррита цинка — $ZnO \cdot Fe_2O_3$ с общим содержанием цинка в 30% и свинца — 7%; в виде осадка они задерживаются на барабанных фильтрах и смешиваются с коксовой мелочью; смесь подсушивается и брикетируется. Содержание нелетучего углерода в брикетах составляет около 16%. В генератор загружаются брикеты, смешанные с низкосортным коксом и известняком. Воздух подогревается до 550°. Газ из генератора проходит пылеуловитель, два мокрых скруббера и дезинтегратор Тейсена. Выделение возгона, состоящего преимущественно из окисей и частично из сульфидов, происходит в мокрых скрубберах и аппарате Тейсена. Улавливание осадков производится в отстойнике Дорра и на барабанном фильтре, подсушка их — в барабанной сушилке, отапливаемой генераторным газом.

Средний состав исходных материалов — цинковых отходов: Zn — 20% (15% $ZnO \cdot Fe_2O_3$, 4% $ZnSO_4 \cdot H_2O$, 1% ZnS); Pb — 7% ($PbSO_4$); Fe_2O_3 — 25—30%; S — 6—7%; SiO_2 — 7—8%; CaO — 2%; Cu — 1% (CuO); Ag — 500 *г/т*. Содержание углерода в коксовой мелочи — 70% и в коксе — около 75%. Суточная загрузка: брикетов (60 *т*) и коксовой мелочи (15 *т*) — 75 *т*; кокса — 28 *т*, известняка — 17 *т*. Углерода в брикетах — 16% и в шихте — 26%.

В конечном продукте — концентрате, состоящем преимущественно из окисей цинка и свинца в смеси с сульфидами,—содержится: 50—60% Zn, 12—22% Pb и 6—8% S. Концентрат обрабатывается разбавленной серной кислотой; нерастворимый сернокислый свинец идет в продажу, а раствор сернокислого цинка возвращается в производство.

Шлак и металлы из горна выпускаются в ковш каждые 30 мин. Шлак содержит много железа и идет в отвал. Металл застывает в ковше и потом идет в обработку как содержащий серебро. Состав металла: Fe — 50—60%; Cu — 3—5%; S — 25—27%; Zn — 1%; Ag — 2*кг/т*; Au — следы. Состав шлака: SiO_2 — 35—45%; CaO — 28—35%; FeO — 5—20%; Al_2O_3 — 12—15%; ZnO — 0—1,5%; Pb — следы.

Выход газа, содержащего 10% CO_2 и 24% CO с теплотворной способностью в 800 *кал/м*³ — 190 000—290 000 *м*³*/сутки*; выход шлака—

35—40 *т*, королька—15—18 *т*, концентрата—20—22 *т*. Концентрат дает 10—12 *т* цинка и 4—6 *т* $PbSO_4$. Около 80 000 *м*³ газа расходуется на подогрев воздуха и сушку. Остаток газа может быть использован под котлами.

Экономический эффект работы генераторов зависит от местных условий.

Опыты комбинирования процессов газификации и доменного в СССР

Вопросы комбинирования процессов газификации и доменного в СССР исследуются давно. В 1922/23 г. на Кулебакском и Выксунском заводах производились опыты плавок чугуна на смеси торфа и древесного угля и на одном торфе [47].

Применявшийся торф был малозолен. При повышении влажности торфа выше нормы в 30% процесс несколько нарушался, так как торф, попадая непросушенным в зону высоких температур, растрескивается и замусоривает горн. Средний состав газа: CO_2 — 8%; CO — 25%; H_2 — 14% (до 18%); CH_4 — 3,75%, C_2H_4 — 0,5%. Имело место значительное выделение с газом смол. Ход домны при работе на одном торфе хорошего качества был вполне нормален.

Торф сухой, но содержащий мелочь, давал худшие результаты, чем более влажный, но крупный.

В 1930/31 г. на Выксунском и Косогорском заводах были проведены опыты плавки чугуна на торфяном коксе с содержанием золы в 6—9%. Эти опыты дали на Выксунском заводе хороший результат. На Косогорском заводе результат был несколько худшим (но удовлетворительным) вследствие малой прочности кокса.

В 1931 г. опыты по плавке чугуна в домне на торфе были поставлены на Косогорском заводе. Опытная плавка на торфе в данном случае должна была дать ответ как на вопрос об использовании в домнах торфа, так и на вопрос об утилизации отходов сернокислотных производств.

Использование огарков, получаемых после обжига медьсодержащих уральских пиритов, дает возможность получить значительное количество железа (50—55% в огарках) и меди (1—1,5%). Домна имела высоту в 25 *м* и объем в 375 *м*³. При опытах применялся торф с влажностью до 25%, зольностью до 4% и степенью разложения в 35—50%. Размер торфин был следующий: 75 × 75 × 320 *мм*.

Материалом для агломерата, изготовленного на Косогорском заводе, послужили колчеданные огарки, загрязненные землистыми примесями. Среднее содержание железа в этом агломерате составляло 57% и кремнезема—около 14%; содержание серы доходило до 0,4%, содержание закиси железа составило в среднем 21% (16—24%). В небольшом количестве был применен ленинградский агломерат, содержавший 65% железа, 8% кремнезема и около 0,2% серы. Хотя некоторое время печь и работала целиком на этом агломерате, от него отказались вследствие его пылеватости.

Содержание фосфора в агломератах составляло от следов до 0,11%. Подсобной рудой в переходной шихте на передельный чугун служила криворожская с 59—61% железа, сильно пылеватая и довольно фосфористая (до 0,14% фосфора). При работе на литейной шихте употреблялись и местные руды — киреевская и призаводская — бедные бурые железняки с 42 — 40% железа, фосфористые и сильно порошковатые.

Флюсом служил известняк, чистый по составу, но непрочный. Согласно заключению комиссии, проводившей опыты, были сделаны следующие выводы. При добыче торфа для доменной плавки необходимо выделить пласты торфа со степенью разложения в 35—65%. Торф должен содержать не более 30% влаги. Максимальный размер торфяного кирпича должен быть равен половине обычной длины при нормальном поперечном сечении. Кирпичи должны быть прочные и без трещин. Удовлетворяющие требованиям кирпичи имеют большую поверхность, быстрее сохнут и коксуются, а также способствуют лучшему распределению шихты и газов в домне.

Торф применявшихся формы и размеров вызывал прогары и создавал рыхлую укладку и неравномерное распределение шихты и газов по сечению домны.

Шлак должен содержать 46—48% извести. Более кислые шлаки (42—46% извести) способствуют при горячем горне получению горячего передельного чугуна, содержащего много марганца и кремния.

Более основные шлаки (с 52% извести) дают хороший малосернистый мартеновский чугун, но они слишком трудноплавки для работы на торфе. Интенсивность плавки нужно поддерживать, исходя из расчета 1,1 *т* воздушносухого торфа в сутки на 1 $м^3$ полезной вместимости домны (примерно 1 000 *кг/час*) с тем, чтобы время пребывания торфа в генераторе составило 12—15 час., что уменьшает в полтора раза производительность сравнительно с работой на минеральном коксе.

Температура дутья должна быть близка к возможному максимуму (750—800°), так как такой нагрев является единственным средством концентрировать достаточный жар в горне для работы на основных шлаках. Давление дутья в 35—40 *см* рт. ст. при полезной высоте печи в 20,8 *м* является достаточным для работы на торфе, несмотря на временное появление некоторого количества мусора. Меньшее сопротивление печи, чем при торфяном коксе, свидетельствует о том, что торф на значительной высоте печи сохраняет форму крупных кусков. Сход колош при торфе более правилен, чем при торфяном коксе, хотя и наблюдались небольшие осадки.

Отрицательным явлением при работе на торфе явилось постепенное или периодическое замусоривание горна, прекращавшее спуск шлака через шлаковую летку, с последующим появлением шлака на фурмах и перерывом работы последних.

Для облегчения борьбы с замусориванием горна при работе на одном агломерате или с добавкой 50% криворожской руды оказалось необходимым прибавлять оборотный шлак и даже кремнистый материал с соответственным количеством флюса для доведения относительного количества шлака до 0,5—0,6.

Печь дважды переводилась на минеральный кокс для исправления ее состояния; во избежание неполадок стали в каждую смену систематически добавлять холостые колоши минерального кокса, на основании чего комиссия пришла к выводу, что постоянная работа домны возможна лишь при условии добавки кокса в размере примерно 5% от веса торфа.

Расход торфа при шихте из агломерата и руды на единицу мартеновского чугуна определился в 3,5—4. Полученный чугун был разнообразного состава, наряду с сернистым был получен горячий чугун мартеновской шихты, содержавший 1,5—3% марганца и 4,64% кремния.

Комиссия сделала вывод, что плавка на торфе допускает получение чугуна желаемого состава.

Шлаки, полученные при опытах, отличались от обычных только низким содержанием сернистого кальция и несколько меньшей основностью. Состав газа соответствовал обычному газогенераторному. Средние пределы колебаний состава газа характеризуются табл. 45.

Таблица 45

Средние пределы колебаний состава газа за отдельные периоды опыта

Состав газа \ Топливо	Торф	Торф с малой добавкой кокса	Кокс		Торф с добавкой кокса	
CO_2	10—12	9—10	8—10	7—8	7,5—10	10—11,5
C_2H_4	0,3—0,8	0,5—0,7	—	—	0,2—0,4	0,4
CO	27—29	28—30	29—31	31—33	30—32	28,5—30,5
CH_4	2,4—3,4	1,0—1,8	0,4—0,5	0,2—0,25	1,5—3,5	2,0—3,5
H_2	9—10	11—12	3,0—3,6	1,5—2,5	7—10	8—10,5

Выход газа на 1 *кг* абсолютно сухого торфа колебался в пределах 2,16—2,52 $м^3/кг$. Количество полученной смолы не превышало 6% от веса абсолютно сухого торфа. В смоле содержалось большое количество твердых примесей, в том числе золы — 7,8—16,2% от веса сухой смолы.

Опыты в СССР по плавке чугуна на торфе с дутьем, обогащенным кислородом

В 1933 г. в Чернореченском химическом комбинате комиссией по выплавке чугуна на торфе при президиуме Мособлисполкома совместно с Институтом азота были проведены опыты газификации торфа в опытной домне Института азота [48].

Домна имела цилиндрический профиль, 4 фурмы и следующие размеры: общая высота — 13,14 *м*, полезная высота — 11,14 *м*, высота шахты — 8 *м*, диаметр шахты — 1,7 *м*, диаметр горна — 1,5 *м*, полезный объем — 24 $м^3$.

Смешение кислорода с воздухом и подача смеси в домну производились паровой воздуходувкой в 75 л. с. с максимальным числом оборотов — 100 и давлением в 1 *ат*.

Кислород имел среднюю концентрацию 61—65% и являлся отбросом производства.

Торф с Орловского болота, применявшийся в виде кирпичей нормальных размеров, содержал 13,7—33,2% влаги (в среднем 23%) и 4,14—9,84% золы (в среднем 7,62%). Состав золы колебался в следующих пределах: SiO_2 — 42,25—54,59%; полуторных окислов — 27,06—35,25%; извести — 14,16—21%; серы — 3,12—4,3%.

Плавка велась на смеси криворожской и бакальской пылеватых (до 60% пыли и мелочи) руд.

Содержание кислорода в дутье колебалось в пределах 30—60%; влажность его составляла до 1%; температура дутья вследствие компрессии составляла 40—50°. Иногда при работе на 60%-ном кислороде в дутье добавлялся пар с температурой в 160°.

Затруднения при налаживании работы заключались в согласовании процесса коксования торфа с металлургическим процессом. Увеличенные скорости схода колош вызывали повышение содержания закиси железа в шлаке и в результате — повышение содержания серы в чугуне. Кроме того имели место расстройства хода при форсировке процесса в целях выявления высшего предела скорости процессов коксования и образования чугуна. Вообще же печь работала очень ровно и без зависаний. Даже при резких изменениях — до 10% и выше — в содержании кислорода, что соответствует колебанию теоретической температуры в горне до 500°, печь продолжала работать совершенно спокойно. Случаев замусоривания горна не наблюдалось. Кокс получался в больших кусках и прочный.

Нормальный состав колоши на литейный чугун был следующий: торфа — 2 000 *кг*, криворожской руды — 400 *кг*, бакальской руды — 200 *кг*, известняка — 160 *кг*, песка — 15 *кг*. Количество шлака было установлено в 0,8—1,0 к единице чугуна.

Когда процесс был изучен, получились стандартные чугуны; нестандартные получались только при перебоях, вызывавшихся неисправностью оборудования.

При переходе на торф с влажностью до 60% температуры в распаре сильно понизились, что не отразилось на ходе коксования, но расстроило металлургическую часть процесса. Во время продувки леток при этом было замечено небольшое количество мусора.

Состав газа изменялся с концентрацией кислорода в дутье. При 40% кислорода в дутье состав газа был следующий: CO — 44,3%; O_2 — 0,2%; CO_2 — 12,9%; H_2 — 11,6%; C_mH_n — 1,1%; CH_4 — 3,9%; N_2 — 26,0%; теплотворная способность (калориметрическая) — 2 260 *кал*/$м^3$; выход газа на 1 *т* воздушносухого торфа — 1 100 $м^3$.; Состав газа при 49% кислорода в дутье: CO — 47,5%; O_2 — 0,15%

CO_2 — 11,4%; H_2 — 11,7%; C_mH_n — 1%; CH_4 — 4,9%; N_2 — 22,3%; теплотворная способность — 2 440 *кал*/$м^3$; выход газа — 1 000 $м^3$/*т*; состав газа при 58,5% кислорода в дутье: CO — 51,0%; CO_2 — 13,1%; H_2 — 14,9%; C_mH_n — 0,9%; CH_4 — 4,5%; N_2 — 26,3%; теплотворная способность — 2 630 *кал*/$м^3$; выход газа — 930 $м^3$/*т*.

Выход смолы составлял 10% от веса абсолютно сухого торфа. Пыли в смоле было 10% от веса смолы.

Состав чугунов сильно колебался, а именно: кремния — 2—8,85%; марганца — 0,5—5,28%; серы (в стандартных чугунах) — 0,008—0,06%.

При нормальной работе печь давала до 7—7,5 *т* чугуна в сутки, в среднем — 6 *т*. Расход горючего составлял 6 *т* на 1 *т* чугуна, т. е. 36 *т* в сутки (782 *кг*/$м^2$ *час* — на воздушносухое топливо и 164 *кг*/$м^2$ *час* — на торфяной кокс).

Опытами было также выявлено, что максимальная скорость прохождения шихты через печь без нарушения металлургической стороны процесса — 6 час., что печь работает нормально при понижении температуры в распаре до 500° (при коксе — 1000—1100°) и что влажность торфа не должна превышать 25—30%.

Регулирование режима производилось путем изменения содержания в дутье кислорода и не представляло затруднений. Повышенное содержание кислорода в дутье вызывало концентрацию высоких температур в небольшой по высоте зоне над фурмами. Это позволяло выпускать шлаки с содержанием около 60% извести и 27% кремния. В основных шлаках (53—59% извести) при повышении концентрации кислорода в дутье усиливалось образование карбидов кальция. Шлак содержал до 12% карбида кальция.

Торфяной кокс над фурмами был чист и свободен от капелек расплавленного шлака, и распар имел температуру у стен в 500—600°, что заставляет предполагать смещение шлакообразующей зоны в области горна. Окисление металла было ниже обычного. В процессе выплавки литейных чугунов были получены чугуны с содержанием до 9% кремния, т. е. бедные ферросилиции и при добавке марганцовой руды — бедные силикашпигели.

Опыты указали на возможность получения при работе со спуском жидких шлаков на парокислородном дутье при высокой форсировке процесса одновременно ценного газа и ферросплавов. При смолистых топливах, каковым является торф, дополнительным ценным продуктом является смола. Работа вполне возможна на одном торфе даже с повышенным содержанием золы (до 10%).

Грануляция шлака

Получаемый в генераторе жидкий шлак подвергается грануляции. Существуют три метода грануляции жидкого шлака: мокрый, сухой и полусухой.

При мокрой грануляции[1] охлаждение шлака и грануляция его производятся водой. Для этой цели мокрые шлаки приводят в соприкос-

[1] По материалам проектов Гипрогаза.

новение с водой; при этом они растрескиваются и распадаются на зерна различных размеров. Соприкосновение с водой достигается выпуском шлака в бассейн с водой или подводом в жолоб. Полученный по этому способу гранулированный шлак имеет влажность в 25—35%.

Сухая грануляция производится сжатым воздухом. По этому способу жидкий шлак поступает по жолобу в наклонный вращающийся барабан и при стекании с жолоба шлак подвергается воздействию сжатого воздуха, превращающего его в отдельные зерна, которые затем при вращении барабана перетираются друг о друга и о стенки барабана. Из барабана гранулят попадает на сито и в бункер. Охлаждение в этом случае достигается воздухом, отчасти водой, а также поливкой барабана снаружи. Влажность получаемого гранулята составляет 1—10%.

Взамен вращающегося барабана может быть применена мельница, состоящая из нескольких дисков различной величины, вращающихся вместе с валом, на который они насажены; диски помещены в чугунный кожух. Жидкий шлак разбивается при входе в аппарат струей воздуха на мелкие капли; капли застывают и падают на вращающиеся диски, которые отбрасывают их к стенкам и раздробляют на мелкие зерна.

При полусухом способе на шлак, текущий по жолобу, наливается вода с таким расчетом, чтобы шлак стекал с конца жолоба в тестообразном состоянии. Стекающий с жолоба шлак попадает под действие струи сжатого воздуха, раздробляющей его на мелкие части. Влажность получаемого гранулята — 5—7%.

Гранулят, получаемый мокрым способом, в ряде случаев использования подвергается подсушиванию, что связано с излишними по сравнению с другими способами расходами.

Область применения и преимущества генераторов с выпуском жидких шлаков

В генераторах с выпуском жидких шлаков [43] можно использовать колчеданные огарки, многозольные топлива с железистой золой, в том числе сланцы, являющиеся отбросом при добыче угля. В них также можно получать цветные металлы из бедных руд и отходов, что особенно выгодно при наличии комплекса металлов, часть которых может возгоняться, а часть переходить в сплав с чугуном. Этим путем могут быть переработаны цинковые отходы из реторт и отвалы цинковых и свинцовых рудников.

Особые преимущества имеет применение генераторов с выпуском жидкого шлака при богатом кислородом дутье. В этом случае можно допускать развитие высоких температур в нижней части генератора, получить ценные сплавы — специальные чугуны, которые в обычных условиях доменного процесса получить трудно, и избежать подогрева дутья.

Подводя итоги, следует указать, что генераторы со спуском жидких шлаков имеют следующие преимущества:

1. Интенсивность газификации, уменьшающая количество устанавливаемых единиц и капитальные затраты.
2. Возможность применения для газификации топлив с легкоплавкой золой.
3. Отсутствие необходимости в применении специальных механизмов для удаления остатков и уменьшение ручного труда на шуровку.
4. Хороший выжиг остатков.
5. Возможность использования топлив с высоким содержанием золы, бедных руд и отходов металлургических и др. производств.
6. Отсутствие затруднений в использовании дутья, обогащенного кислородом, и возможность получения газа, не содержащего водорода.

Недостатком этих генераторов является:

1. Большой унос пыли, ограничивающий выбор топлива.
2. Замусоривание горна непрочным топливом.
3. Большой износ футеровки нижней части генератора.
4. Возможность застывания шлака.
5. Необходимость подбора и добавки большого количества флюсов, несколько компенсирующаяся возможностью использования получаемых чугуна и шлака.

8. КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕНЕРАТОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСТРОЙСТВА КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЕТКИ И ПОДА

Колосниковая решетка является одной из главных составных частей газогенераторов.

От устройства ее зависят расположение слоя топлива, равномерность распределения дутья по сечению генератора, способ и равномерность удаления очажных остатков и следовательно режим процесса газификации.

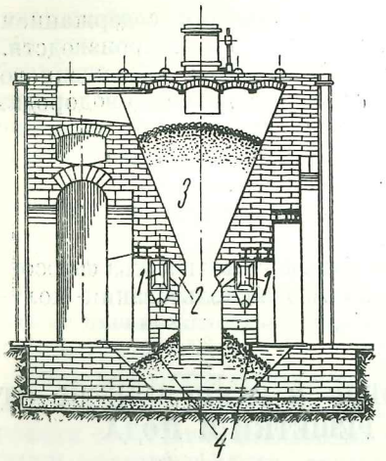
По конструкции приспособлений для распределения дутья, поддержания слоя топлива и удаления очажных остатков можно генераторы разделить на следующие группы:

а) генераторы с газификацией на поду,
б) генераторы с неподвижной решеткой,
в) генераторы с вращающейся решеткой.

Генераторы с газификацией на поду

Генераторы с газификацией на поду — бесколосниковые, т. е. они не имеют специального колосникового приспособления для поддержания слоя топлива и распределения воздуха. В них топливо лежит на поду, а воздух вводится с боковых сторон генератора. Устройство их вызывалось разными соображениями: или экономии на сравнительно дорогостоящей колосниковой решетке, или устранения провала частиц топлива через прозоры колосников, или создания специальных устройств для более совершенного распределения дутья, или же получения шлаков в жидком виде.

Иногда в генераторах с горизонтальной решеткой последнюю убирают и газифицируют топливо на поду с целью повысить слой топлива или вследствие затягивания горизонтальных колосников шлаком. Ввиду неравномерности распределения дутья по сечению в этих генераторах они могут применяться только для топлив крупнокусковых и газифицирующихся при высоком слое (дрова, торф), при которых распределение дутья по сечению генератора несколько выравнивается.



49. Генератор Геллера.

Так как такие топлива, как дрова и торф, у стенок лежат рыхло или образуют пазуху и воздух проходит здесь в большом количестве, сжигая газ, то шахту в нижней части суживают.

За границей Геллером были введены генераторы с газификацией на поду и с дутьем. На рис. 49 представлен подобный генератор. Дутье подводится из боковых коробок *1* через отверстия *2*. Внизу генератора делается водяной затвор *4* для ручного удаления золы без остановки генератора. Шахта *3* имеет сильно суженную книзу форму.

По мысли автора [44], в этой конструкции благодаря сосредоточению процесса газификации в небольшой части генератора и соответствующей регулировке добавки пара исключается шлакование, и газификация идет равномерно. Эти генераторы не получили особого распространения в силу малой производительности и отсутствия особых преимуществ.

Генераторы с газификацией на поду обычно прямоугольные, не имеют металлических кожухов и часто выполняются по несколько штук в общем блоке.

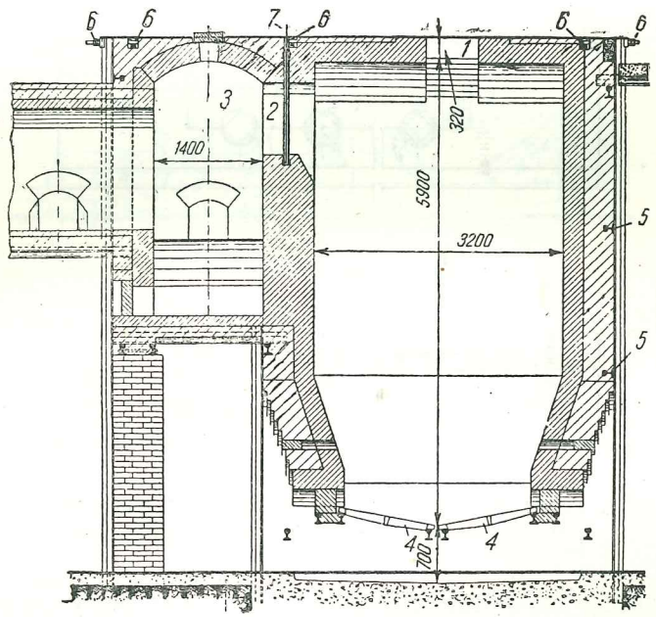
Чистка описанной группы генераторов происходит вручную.

Генераторы с неподвижной решеткой

В зависимости от рода топлива, формы генератора и условий газификации применяют самые разнообразные колосниковые решетки. Генераторы с наиболее распространенными формами неподвижных решеток можно разделить на следующие группы:

1) генераторы с горизонтальной решеткой,
2) генераторы со ступенчатой и наклонной решеткой,
3) генераторы с крышеобразной решеткой,
4) генераторы с круглой решеткой.

1. Генераторы с горизонтальной решеткой. Генераторы с горизонтальной решеткой применяются преимущественно для газификации молодых, малозольных, крупнокусковых топлив, газифицирующихся при высоком слое, а именно для дров и торфа. На рис. 50 представлен такой генератор. Обычно эти генераторы работают с естественной тягой; изредка к ним приспосабливают дутье. Значительная высота шахты и крупность кусков топлива обеспечивают хороший напор газа. Форма шахты — прямоугольная. Высоту соответственно роду газифицируемого топлива (влажное, неспекающееся — дрова, торф) делают возможно бо́льшую. Колосники применяются чугунные. Если шлакования нет, колосники прочищаются снизу от руки ломом с загнутым заостренным концом; при этом мелкая зола



50. Самодувный генератор с горизонтальной решеткой:

1 — загрузочное прямоугольное отверстие, *2* — отвод газа, *3* — коллектор, *4* — горизонтальный колосник, *5* — балки обвязки, *6*—связи, *7*—шибер

просыпается через прозоры. В случае шлакования комья шлака разбиваются над колосниками и сталкиваются с них.

Обычно горизонтальные чугунные колосники имеют у краев и в середине уширения, которыми примыкают друг к другу, создавая прозоры, необходимые для прохода воздуха и удаления золы. Чем больше прозоры, тем больше воздуха может пройти и тем лучше охлаждаются воздухом колосники. Отношение площади прозоров к общей площади решетки называется ее живым сечением. Ширина прозоров должна быть не слишком большой во избежание значительного провала частичек угля.

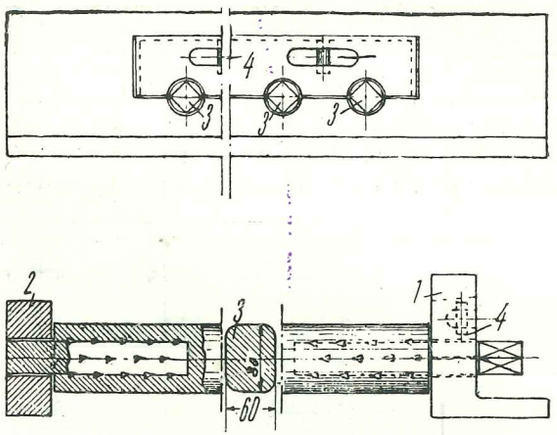
В средней части высота колосников иногда делается увеличенной. Колосники уширенными концами кладут на опорные балки, при-

чем эти балки помещают не вплотную к стене, а оставляют промежуток, чтобы иметь возможность при чистке столкнуть кусок шлака вниз через этот промежуток.

Впереди колосников кладут балки, на которые при чистке опирают лом.

Длину колосников для удобства чистки обычно делают не более 1 400 *мм*. При необходимости в большой площади решетки ее делают сдвоенной (рис. 50) и обслуживают ее с обеих сторон.

Иногда на заводах, имеющих свое гончарное производство, применяют в целях экономии шамотные колосники.



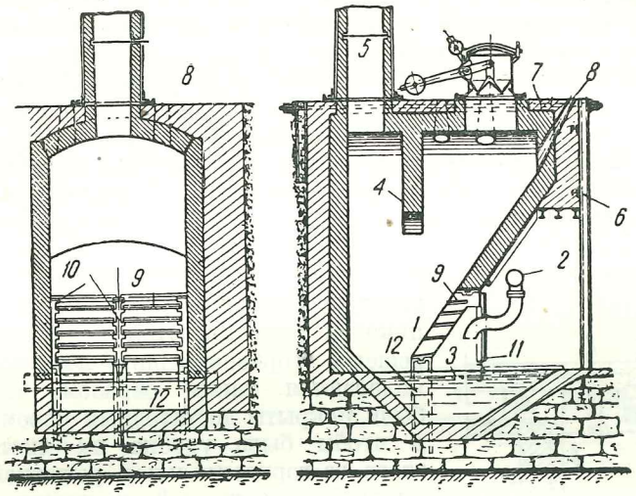
51. Горизонтальные поворачивающиеся колосники:
1, *2* — балочки, *3* — колосники, *4* — вкладыш

Применение шамотных колосников возможно лишь при малозольных и нешлакующихся топливах, не требующих значительной шуровки.

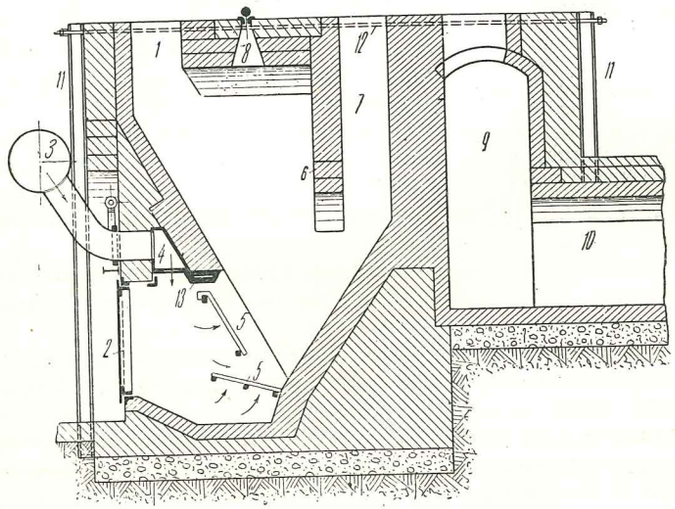
При газификации топлива с легкоплавкой золой горизонтальным колосникам иногда придают овальную форму. Колосники закладывают концами в чугунные рамы (рис. 51) и снабжают с одной стороны квадратными концами для ключа. Для взламывания шлака колосники поворачивают. В обычном положении длинные оси сечения колосников расположены горизонтально.

2. Генераторы со ступенчатой и наклонной решеткой. Газогенераторы со ступенчатой (рис. 52) и наклонной (рис. 53) решеткой известны под названием генераторов Сименса.

Уклон решетки делает процесс газификации более независимым от периодичности засыпки в силу естественного сползания сухого топлива по мере его сгорания и постоянства толщины слоя топлива. Отсюда следует, что уклон колосников должен быть больше угла естественного откоса топлива; если уклон колосников мал, требуется сдвигание топлива ломом.



52. Генератор со ступенчатой решеткой:
1 — решетка, *2* — подача воздуха, *3* — гидравлический затвор, *4* — перегородка, *5* — отвод газа, *6* — стойка обвязки, *7* — связь, *8* — шуровочное отверстие, *9* — ступень, *10* — тетива, *11* — дверка, *12* — стойка колосников



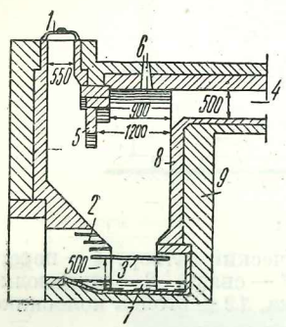
53. Генератор с наклонными колосниками:
1—загрузочное отверстие, *2* — сухой затвор, *3* — воздухопровод, *4* — коробка дутья, *5* — наклонные колосники, *6* — перегородка, *7* — отвод газа, *8* — шуровочное отверстие, *9* — коллектор газа, *10* — газопровод из коллектора, *11* — балки обвязки, *12* — связь обвязки, *13* — чугунная плита, служащая опорой для стенки генератора

Уклон колосников увеличивает поверхность решетки сравнительно с горизонтальной, а следовательно увеличивает и количество подводимого воздуха и производительность генераторов.

Ступенчатые колосники дают возможность применять мелкое топливо, дающее большой провал при других колосниках. Эти решетки имеют большое живое сечение и хорошо охлаждаются воздухом, т. е. имеют наиболее благоприятствующую для прохода воздуха форму.

Наклонные колосники применяются реже, так как они обусловливают значительный провал.

Часто ступенчатые колосники применяются в комбинации с горизонтальными или слабо наклонными колосниками (рис. 54), что значительно увеличивает поверхность колосниковой решетки. При комбинированной решетке горизонтальные колосники располагаются таким образом, чтобы они были покрыты достаточным слоем топлива и чтобы была удобна их чистка. Для этого за горизонтальной решеткой, между кладкой и решеткой и между горизонтальной и наклонными решетками оставляются просветы в 10—15 *см*, чтобы иметь возможность производить чистку всей поверхности решетки во избежание заглушения части ее.



54. Генератор со ступенчато-горизонтальной решеткой:

1 — загрузочное отверстие, *2* — ступенчатая решетка, *3* — горизонтальная решетка, *4* — отвод газа, *5* — перегородка, *6* — шуровочное отверстие, *7* — залитый водою зольник, *8* — огнеупорная кладка, *9* — красная кладка

Часто эти генераторы работают самодувно, т. е. с естественной тягой и открытым поддувалом. При этом иногда пламя выбивает из промежутков между верхними колосниками, что вызывается повышением давления газа по высоте генератора. Особенно сильно это сказывается при слабой нагрузке генератора. Чтобы избежать выбивания пламени, рекомендуется верхние ступени колосников замазывать глиной или мокрым песком.

Применение дутья значительно увеличивает производительность этих генераторов.

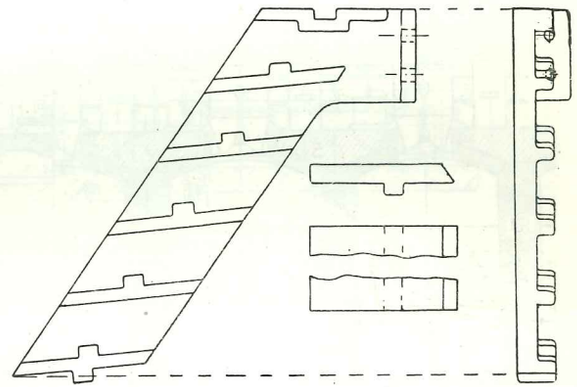
Толщина слоя топлива в генераторе устанавливается соответственно положению вертикальной перегородки (рис. 52—54), ограничивающей максимально возможную высоту слоя. При изменении рода топлива и необходимости изменения высоты слоя должна переделываться и эта перегородка. Она же препятствует при загрузке выделению из генератора газов. При применении непостоянного сорта топлива, часто меняющегося, и следовательно необходимости частого изменения высоты слоя топлива лучше обходиться без перегородки.

Поддувало под колосниками может быть бетонировано и наполнено водой; испаряющаяся влага охлаждает колосники, а водяной пар разлагается и обогащает газ. Кроме того частицы угля, падающие с колосников в воду, гаснут и бесполезно не сгорают.

Рекомендуется впереди решетки повесить железный лист, уменьшающий лучеиспускание и защищающий от жара газовщика при чистке и шуровке.

Ступенчатые решетки устраивают обычно из горизонтальных плитчатых колосников, которые кладут на тетивы — стойки с приливами (рис. 55).

Колосники делают толщиной в 20—25 *мм* и шириной 250—350 *мм*. Расстояние между ступенями принимают равным 100—200 *мм*, так как при меньших промежутках колосники от жара прогибаются [49]. Благодаря большой ширине ступеней и большим промежуткам между ними решетка хорошо охлаждается воздухом. Ступени должны лежать на тетивах таким образом, чтобы их было легко вынуть во время работы.



55. Плита и тетивы ступенчатых колосников

Наклонные колосники применяются обычно в виде брусков (квадратное железо). Длина и высота ступенчатой или наклонной решетки ограничены возможностью чистки колосников сверху, т. е. длиной лома и ростом обслуживающего.

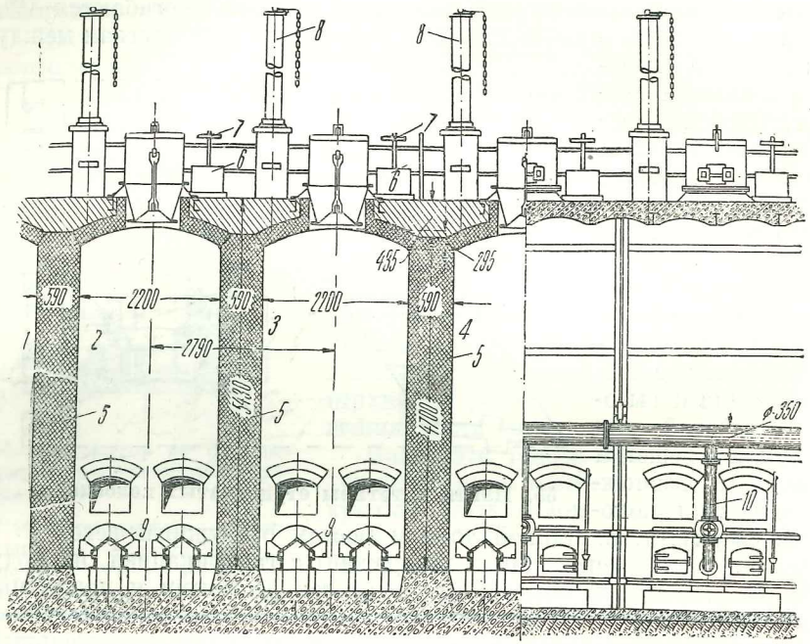
Генераторы Сименса, как и генераторы с газификацией на поду и с горизонтальными решетками, являются дешевыми и примитивными. Применяются они для топлив с высоким содержанием летучих, имеют малую производительность, дают не вполне удовлетворительный состав газа и большие потери в очажных остатках. Чистка и шуровка этих генераторов при спекающемся и шлакующемся топливе изнурительны и в значительной мере нарушают процесс газификации.

В самодувных генераторах Сименса, в которых движущее воздух и газы усилие незначительно, иногда невозможно преодоление сопротивления значительного слоя засыпки, необходимого для получения хорошего состава газа, поэтому приходится работать с меньшим слоем топлива, т. е. получать худший газ. Производительность этих генераторов форсировать невозможно. Кроме того при зашлаковании решетки или значительном слое засыпки из-за возросшего сопротивления проходу воздуха и газов может упасть давление в генераторе и газопроводе и получиться хлопок или взрыв вследствие присоса внешнего воздуха в генератор или газопровод.

Самодувные генераторы Сименса строить не рекомендуется. Что же касается этих же генераторов с дутьем, то в известных условиях для установок малых размеров они могут себя оправдать благодаря простоте и минимальной потребности в металле.

3. Генераторы с крышеобразной решеткой. К генераторам с крышеобразной решеткой относятся генераторы прямоугольной формы с решетками прямоугольной в плане и крышеобразной в разрезе формы, расположенными вдоль генератора (Дахрост).

Генераторы «Дахрост» получили значительное распространение в Германии для газификации различных топлив [50, 51]. В последние годы их начали по почину автора строить и в СССР. Они пред-



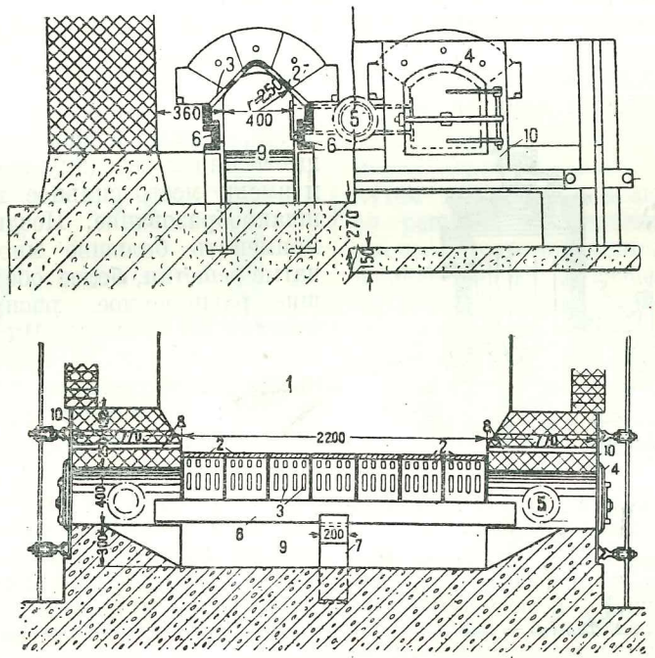
56. Группа генераторов с крышеобразной решеткой в блоке:

1, 2, 3, 4 — шахты, *5* — внутренние стены, *6* — перекидные рукава, *7* — клапана рукавов, *8* — пусковые трубы, *9* — крышеобразные решетки, *10* — подача дутья

ставляют собой определенный шаг вперед сравнительно с генераторами Сименса, так как имеют бо́льшую производительность и более экономичны. На рис. 56 и 57 представлен подобный генератор, осуществленный в СССР по проекту автора настоящей работы для торфяного топлива на стекольных заводах. Он снабжен двумя крышеобразными решетками (возможно применение и одной), лежащими на опорных чугунных балках. Решетки составлены из отдельных секций и снабжены многочисленными отверстиями. Обслуживаются решетки с обеих сторон через дверки, монтированные на фронтовых плитах [136].

В генератор через две трубы, по одной с каждой стороны, подается паровоздушное дутье. Каждая труба соединяется с чугунным трой-

ником, заложенным в кладке генераторов. В воздухоподводящие трубы подается также пар для увлажнения дутья. Таким образом чугунными тройниками подается паровоздушная смесь у обоих краев колосниковых решеток. Поддувало сделано бетонным и может быть заполнено водой. Когда на колосниках накапливается значительный слой золы, производят чистку генератора. Для этой цели во избежание выбивания пламени при открывании дверки генератор отключают от сбор-



57. Крышеобразная решетка:

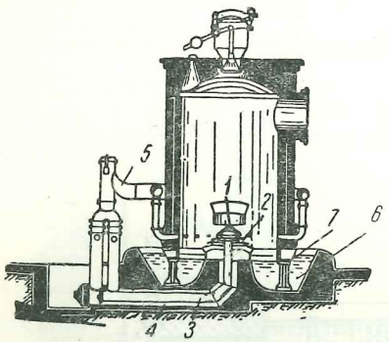
1 — шахта генератора, *2* — колосники, *3* — прозоры для прохода воздуха, *4* — дверка, *5* — подача дутья, *6* — опорные балки, *7* — промежуточная опора балок, *8* — шуровочные отверстия, *9* — поддувало, *10* — фронтовая плита

ного газопровода. Дутье в период чистки останавливается. Масса над колосниками прошуровывается через отверстия во фронтовой плите и кладке. При сильном шлакообразовании и образовании комьев для разбивания их могут быть использованы большие отверстия в кладке, находящиеся над колосниками.

Достоинством этих генераторов являются дешевизна их, малая затрата металла, хорошее распределение дутья по сечению генератора и в результате надлежащее распределение зон, получение хорошего газа и экономичность работы. Располагаются они обычно в блоке. Преимуществом применяемого в этих генераторах сухого затвора с помощью прижатой к стене фронтовой плиты сравнительно с водя-

ным является достижимость хорошего осмотра решетки и наблюдения за количеством шлака, удаляемого в разных частях решетки. Иногда и свойства золы топлива вызывают необходимость в сухом затворе. При тщательном обслуживании можно избежать удаления частиц угля. Недостатком генераторов с крышеобразной решеткой являются ручное обслуживание и необходимость остановки дутья при чистке решетки. При обслуживании печи батареей генераторов выключение генератора для чистки значения не имеет.

4. Генераторы с круглой решеткой. Генератор с круглой решеткой представлен на рис. 58. Он снабжен железным кожухом и покоится на металлических колоннах. Соответственно форме шахты колосниковая решетка круглая. Первоначально решетку делали из одного чепца, и дутье подавалось преимущественно в середину шахты, где и имели место сильное горение и шлакообразование. Позднее стали применять большие многоступенчатые решетки, более обеспечивающие равномерное распределение воздуха по сечению. Иногда, как показано на рис. 58, в целях улучшения распределения дутья при больших диаметрах генераторов подводят воздух отдельно к различным колосникам и дополнительно с периферии генератора с помощью кольцевого канала, расположенного по окружности генератора. При этом количество поступающего в разные места воздуха и пара должно тщательно регулироваться во избежание прогаров и шлакования. В чугунной крышке и своде имеются отверстия, служащие для шуровки с помощью штанг. Также и в кожухе с боков, над местом подвода воздуха, устраиваются отверстия для измельчения шлаков. Генератор снабжен водяным затвором, из которого вручную извлекаются зола и шлак без выключения дутья. Сравнительно с более старыми системами эти генераторы имеют преимущества в смысле наличия дутья и водяного затвора, т. е. большей производительности, а также непрерывности работы. Следует отметить, что при сильном шлаковании топлива остановка дутья не избегается.



58. Генератор с круглой неподвижной решеткой (Моргана):

1 — головка-чепец, *2* — кольцевые колосники, *3* — подача дутья к центру решетки, *4* — подача дутья к периферии решетки, *5* — подача дутья к периферии генератора, *6* — гидравлический затвор, *7* — опорная колонна генератора

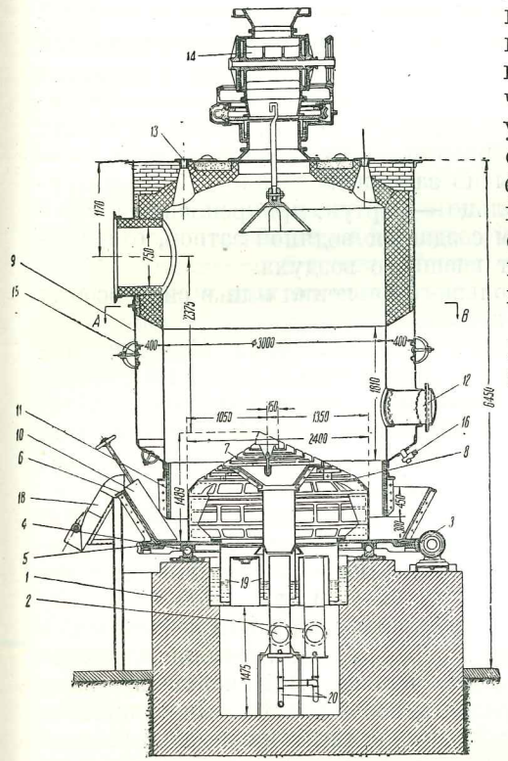
Распределение воздуха в этих генераторах хуже, нежели в генераторах с крышеобразной решеткой. В блоке очевидно они построены быть не могут. Эти генераторы существуют на некоторых заводах в СССР.

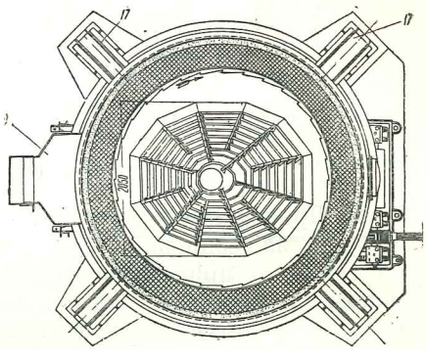
Генераторы с круглыми неподвижными решетками и гидравлическим затвором называют генераторами Моргана.

Генераторы с вращающимися решетками

Ручная чистка генератора от золы и шлака является тягостной и нарушающей режим операцией, и поэтому мысль конструкторов давно работала в направлении изыскания способов механического удаления золы и шлака. Первоначальные конструкции с цепными и другими решетками распространения не получили по причине неравномерного удаления золы и распределения дутья. Практическое значение механического удаления золы и шлака приобрело лишь с 1904 г., когда фирме Керпели удалось сочетать путем применения вращающихся решеток механизацию этого процесса с одновременным улучшением процесса газификации.

1. Принцип устройства. Шахта генераторов с вращающимися решетками (рис. 59) — круглая, снабжена железным кожухом и покоится на чугунных или железных стойках. Решетка закреплена на чугунной чаше и вращается вместе с ней. Содержимое генератора лежит на решетке и чаше. Вне чаши к кожуху или стойке неподвижно прикреплен железный лемех (шлаковый нож).





59. Генератор с вращающейся решеткой Керпели:

1 — фундамент, *2* — подвод дутья, *3* — привод, *4* — шаровая опора, *5* — поддон, 6 — борт чаши, *7* — центральная часть решетки с флянцем, штуцером и вертикальной трубой, опущенной в гидравлический затвор, *8* — периферийная часть решетки, *9* — охлаждающий кожух, *10* — шлаковый нож, *11* — фартук, *12* — люк генератора, *13* — шуровочное отверстие, *14* — автоматический загрузочный аппарат, *15* — люк охлаждающего кожуха, *16* — продувочный кран, *17* — опорная колонна генератора, *18* — лоток для золы, *19* — гидравлические затворы, *20* — трубки для отвода конденсата

При вращении чаши зола и шлак вращаются вместе с ней, причем шлак разрушается; при попадании на неподвижный лемех они скапливаются в одном месте и переваливаются через борт чаши.

На место удаленных золы и шлака в чашу изнутри генератора выдавливаются новые порции таковых. Регулированием скорости вращения чаши и высоты подъема лемеха достигается изменение количества выгребаемых остатков. Перед лемехом в чаше зола набирается толстым слоем, а за ним почти отсутствует. Это несколько нарушает распределение зон в самом генераторе и равномерность удаления золы по сечению. Для избежания этой неравномерности иногда лемех не опускают до дна чаши и кроме сбрасывающего лемеха закрепляют на кожухе несколько более коротких ножей, не выгребающих золы, что способствует более равномерному распределению золы в генераторе. Зольная чаша обычно заполнена водой и в нее погружено железное или чугунное кольцо — фартук, прикрепленный к кожуху генератора. Таким образом создается водяной затвор, отделяющий внутренность генератора от внешнего воздуха.

Иногда при необходимости большого давления или в силу особых свойств золы применяют сухой затвор.

Помимо механизации удаления золы и шлака фирма «Керпели» преследовала цель приведения решеткой в движение слоя золы и топлива с тем, чтобы предотвратить образование больших комьев шлака.

Для максимального воздействия на слой топлива и шлака были применены высокие эксцентричные решетки; эксцентриситет способствует также выдавливанию из шахты шлака и золы.

Зола у бортов чаши при вращении чаши и выемке может под влиянием давления слоя в генераторе устанавливаться на некотором определенном уровне. Обычно зола при вращении чаши без помощи ножа не выбрасывается.

2. Привод и опоры чаши. Скорость вращения чаши небольшая — 1 оборот за несколько часов. Чаша снабжена зубчатым венцом, обычно сменным, и приводится в движение червяком. На червячном валу находится храповое колесо, передвигаемое собачкой. Передвижение собачки достигается эксцентриком, посаженным на отдельный вал. Червяки должны иметь обработанные поверхности, в противном случае лишь небольшая часть червяка принимает на себя нагрузку, в результате чего часто бывают поломки. Собачкам целесообразно придавать малые размеры с тем, чтобы при повышении нагрузки в первую очередь ломались собачки, предохраняя от поломки зубья червячной передачи, шестерен и венца.

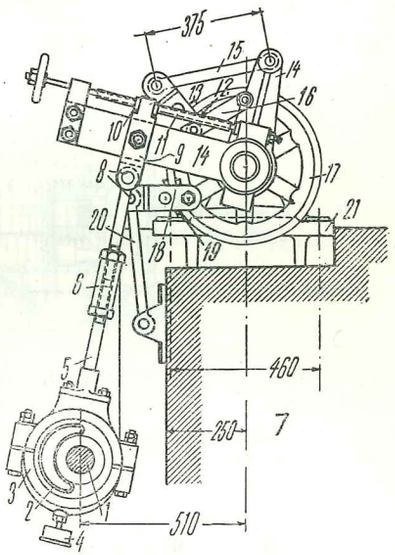
Иногда червяк приводится в движение фрикционным механизмом (рис. 60), в котором фрикционное колесо, насаженное на червячный вал, сцепляющийся с венцом чаши, поворачивается с помощью зажимных колодок.

Чаша вращается на шарах диаметром в 90 *мм* или на роликах. Шары помещаются в кольце, состоящем из двух частей — верхней и нижней. Верхняя прикреплена к поддону чаши, а нижняя укрепляется на фундаментной плите. Расположение шаров определяется связывающей их обоймой — цепью с гнездами для шаров.

При вращении решетки, особенно эксцентричной, в генераторе возникают боковые усилия. Для восприятия их половины кольца иногда делятся не по средней оси, при этом внешняя стенка нижнего кольца кончается выше центра шаров и, воспринимая боковое давление шаров, не дает возможности вытеснить их [50].

Шары применяются стальные, кованые или закаленные, обоймы — стальные. Первоначально выполняли исключительно шаровые опоры, причем бывало много неполадок в связи с тем, что из соображений экономии применяли чугунные необработанные шары.

При устройстве роликовой опоры поддон чаши вращается на роликах. Стойки, несущие ролики, прикрепляются или к поддону чаши или в фундаментной плите. Горизонтальные усилия воспринимаются специальными горизонтальными роликами, ограничивающими прикрепленное в чаше кольцо [1]. Возможно устройство конических поддерживающих роликов, воспринимающих боковые усилия и делающих излишними боковые ролики. Преимуществом роликовых опор являются наличие свободного пространства под чашей и возможность осмотра и смены роликов.



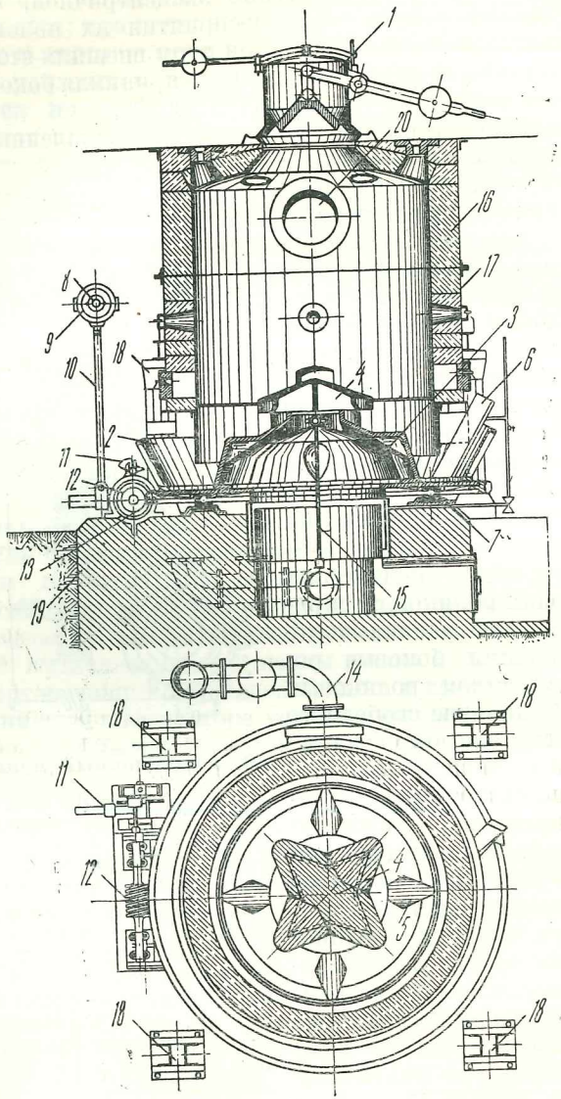
60. Фрикционный привод:

1 — вал трансмиссии, *2* — эксцентрик, *3* — хомут эксцентрика, *4* — штауфер, *5* — штанга, *6* — стяжная гайка, *7* — фундамент привода, *8* — шарнир, *9* — ползун, регулирующий ход зажимных колодок, *10* — гайка ползуна, *11* — винт с маховичком для перестановки ползуна, *12, 13* — зажимные колодки, *14* — рычаг, *15, 16* — тяги, *17* — фрикционное колесо, *18, 19* — тормозные колодки, задерживающие фрикционное колесо при обратном ходе, *20* — тяга, *21* — опорная плита

Ролики должны быть снабжены закаленными осями и бронзовыми втулками. Боковые ролики должны иметь регулирующие установочные приспособления. Стоимость обеих конструкций одинакова. Требуемая мощность для вращения чаши составляет 0,5—1 *квт*.

3. Типы вращающихся решеток. Имеется очень много вращающихся колосниковых решеток, различных по форме. Они состоят из нижней опорной коробки, колосников (ступенчатых, веерообразных, чешуйчатых и др.) и головки. Вся система охватывается болтами. Для ломки шлака при вращении решетки последней придается соответствующая форма — эксцентричная, многогранная, квадратная,—или же решетка снабжается ребрами. Дутье подводится под решетку генератора и распределяется по щелям, образуемым колосниками.

Для лучшего распределения дутья и возможности регулирования количества и влагосодержания дутья, подаваемого в различные ча-



61. Генератор с решеткой Гильгера:

1 — загрузочная коробка, *2* — вращающаяся чаша, *3* — основание решетки, *4* — головка решетки—звездочка, *5* — ребра основания решетки, *6* — лемех для удаления шлака, *7* — опорное кольцо чаши, *8* — трансмиссия для привода генератора, *9* — эксцентрик, *10* — газовая труба, *11* — привод с собачками к храповым колесам, *12* — червяк, *13* — зубчатый венец чаши, *14* — подвод воздуха в генератор, *15* — подвод пара в генератор, *16* — огнеупорная футеровка, *17* — железный кожух, *18* — опорные колонны, *19* — фундамент генератора, *20* — отвод газа

сти генератора, применяют секционную подачу дутья, подводя его раздельно к группам колосников (рис. 59).

При больших размерах генераторов иногда применяют, как и в генераторах Моргана, помимо подачи под колосники также и периферийную подачу дутья.

Колосниковая решетка фирмы Керпели представлена на рис. 59. Она имеет полигональную, эксцентричную форму и при вращении раздавливает основанием о фартук крупные куски шлака и выталкивает золу и шлак в чашу по мере опорожнения последней. Вращение решетки вызывает также движение топлива, в известной степени предупреждающее спекание угля. Решетка состоит из опорной нижней коробки, закрепленной на зольной чаше, и отдельных колосников, накладываемых друг на друга. Сверху решетки находится головка. Сквозь прозоры между колосниками проходит в генератор воздух, подаваемый из трубопроводов внутри фундамента под решетку. Устройство решетки предусматривает секционную подачу дутья к центральной и периферийной частям решетки.

На рис. 61 представлен генератор с решеткой Гильгера, имеющей в СССР значительное распространение. Решетка состоит из нижней конической коробки и головки — звездочки. Решетка расположена центрально, коробка и головка имеют ребра, дробящие шлак и приводящие в движение топливо при вращении решетки. Воздух подается через большую горизонтальную щель между колосниками. Звездочка расположена сравнительно высоко и подвергается опасности сгорания при низком спускании раскаленной зоны. Особенностью конструкции является также специальный привод, дающий возможность автоматически вращать чашу попеременно в обе стороны с разными ходами, благодаря чему чаша может находиться беспрерывно в интенсивном движении, а удаление золы имеет место лишь соответственно разности ходов решетки в обе стороны.

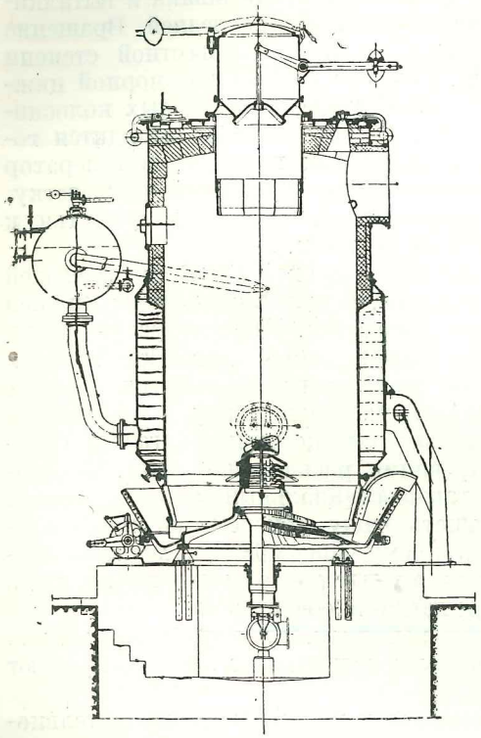
При обычных ломающих шлак решетках, если требуется только ломание шлаков, но не удаление золы, вытягивают лемех и пускают чашу во вращение.

Большое значение для равномерности работы и производительности генератора имеет чистота щелей решетки. В случае попадания туда золы она должна просыпаться внутрь под решетку, но не уплотняться в щелях.

На рис. 34 представлен генератор с решеткой Рамбуша [4]. Она устроена таким образом, что при вращении изогнутые конические поверхности секторов шевелят слой топлива. Решетка вызывает передвижение нижних слоев содержимого генератора от центра к краям, удаляя тем самым золу и шлак в нижнюю часть генератора, где они раздавливаются вертикальными поверхностями решетки. Щели колосников, распределяющие дутье, расположены косо, благодаря чему они предохранены от засорения их золой при вращении решетки в одну сторону. Сектора решетки также снабжают щелями для дутья.

На рис. 24 представлена решетка Дейца [16]. Она состоит из конических, расположенных эксцентрично чешуеобразных колосников.

При вращении решетки отдельные колосники соответственно изгибу их поверхности вызывают движение топлива. Благодаря конической форме и эксцентричному движению колосников содержимое генератора проталкивается в наружную часть чаши. Верхняя поверхность колосников изогнута таким образом, что одна часть ее проталкивает при своем движении лежащую на ней массу, а другая образует с нижним колосником щель, открытую в одну сторону. При вращении решетки по часовой стрелке щели перекрыты и не могут засориться золой.



62. Генератор Бамага

На рис. 26, 62, 63 и 64 представлены решетки фрезерного типа систем Коллера (A. V. G.), Бамага и Демага, отличающиеся формой фрезеров и чаши. При вращении подобной решетки содержимое шахты передвигается от центра к периферии с помощью спирально изогнутых лопастей-фрезеров, подрезающих золу и шлак снизу по всему сечению генератора, выносящих их наружу и раздавливающих крупные куски шлака о фартук. В результате равномерного удаления золы имеет место равномерное опускание топлива и надлежащее распределение зон.

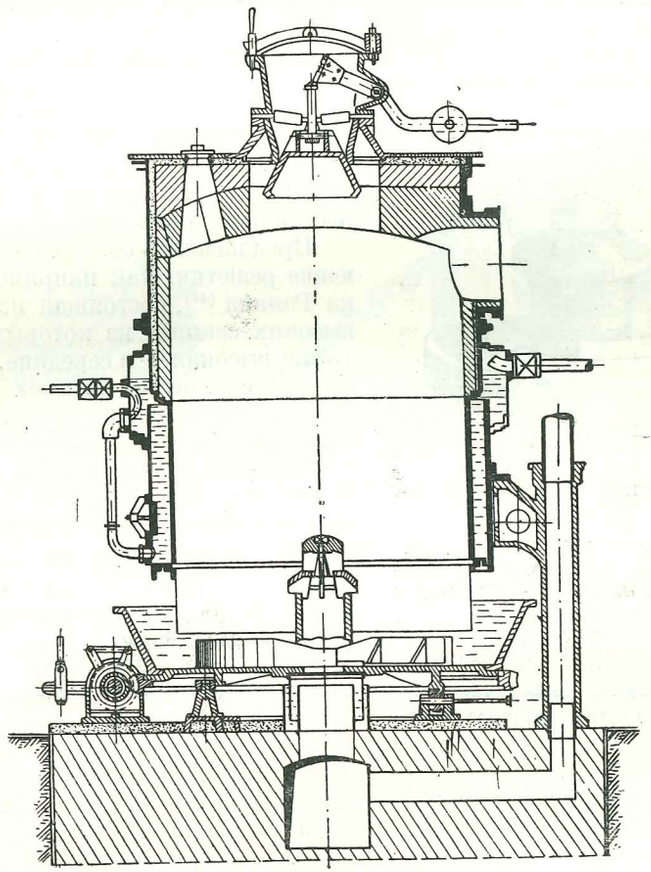
Через центральную часть решетки подается дутье. Так как эта часть решетки имеет малый диаметр, то при мелком топливе и большом диаметре генератора воздух может поступать в недостаточном количестве к топливу, лежащему вблизи стен.

Иногда взамен вращающихся решеток применяют генераторы с неподвижной большой плоской решеткой (генератор Геца) и снабжают их специальным S-образным вращающимся над решеткой скребком-золоудалителем. Решетка имеет многочисленные щели, и благодаря большой площади решетки воздух равномерно распределяется по всему сечению.

Решетка в случае засорения может быть прочищена снизу без опорожнения генератора, и кроме того зола в случае гигроскопичности не может впитывать в себя влагу. Периодически вращающийся скребок медленно сдвигает золу во вращающуюся зольную чашу, из которой зола удаляется обычным путем.

Эти генераторы за границей применяются для бурого угля и буроугольных брикетов. При удалении золы с горизонтальной решетки скребком она сильно измельчается.

Имеются и другие газогенераторы, в которых вращающаяся решетка заменена брусом, удаляющим при своем вращении золу. По-



63. Генератор Демага

казанное на рис. 91 приспособление для механического удаления золы и шлака с помощью вращающегося бруса применяется редко.

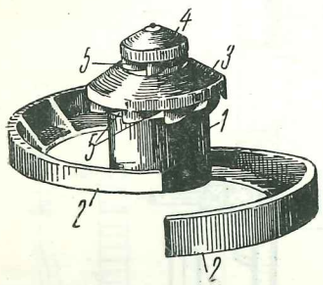
В зависимости от формы решетка может больше или меньше ломать образующиеся шлаки, более или менее равномерно распределять дутье по сечению и удалять отстатки, более или менее быть подверженной сгоранию и износу и т. д.

Различают решетки плоские, высокие, ломающие, эксцентричные, центральные, с развитой поверхностью и др. Плоские решетки имеют малую высоту и не имеют выступающих частей на колосниках и головке.

Шурующее действие решетка имеет лишь при эксцентричном расположении ее или при наличии выступов. Так как ломка образовавшихся крупных кусков шлака происходит между основанием решетки и нижней частью шахты, то во избежание сильного износа кладки шахты ее предохраняют в этом случае специальными металлическими плитами, иногда снабженными вырезами для защемления кусков шлака.

При сильно шлакующемся топливе применяют высокие решетки, расположенные эксцентрично.

При некоторых топливах не рекомендуется применение сильно шурующих решеток из-за распадения топлива в плотно лежащую мелочь. Особенное значение это имеет для бурых углей, и без того непрочных и склонных распадаться.



64. Решетка Демага (деталь рис. 63):

1 — основание решетки, *2* — винтообразные лопасти, *3* — колосник, *4* — головка, *5* — щели для дутья

Предлагались особо сильно шурующие решетки, как например решетка Ремана [44], состоящая из четырех высоких секций, из которых одна — самая высокая — в середине. Каждая секция состоит из четырех колосников, распределяющих дутье, шевелящих при вращении решетки топливо и ломающих шлак. Воздух подается в центральный сборник и отсюда распределяется по всей решетке. Под каждую секцию решетки подводится паровая трубка для подачи пара. Большого распространения эти решетки не получили.

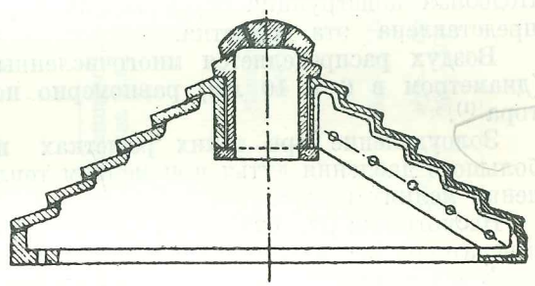
4. Устройство для сухого золоудаления. В генераторах для получения водяного газа часто применяют сухое золоудаление вследствие необходимости работать с дутьем высокого давления, при котором гидравлические затворы получились бы чрезмерно высокими и зола должна была бы подняться слишком высоко. Вообще же в этих генераторах применяют как сухое, так и мокрое золоудаление, причем и то и другое устройство имеет свои достоинства и недостатки. При мокром затворе неприятны сильные колебания уровней затворов вследствие изменения давления при перестановке задвижек, зато это устройство легко доступно снаружи во время работы; при сухом затворе механизм его не доступен во время работы, так как он закрыт и осмотр его возможен лишь при остановке генератора, кроме того карман зольного затвора может быть опорожнен также лишь при остановке генератора, зато это устройство позволяет применять большие и колеблющиеся давления [34].

В газогенераторах для получения смешанного газа вращающиеся решетки с сухим золоудалением применяются редко, преимущественно в случае соответствующих свойств золы. На рис. 34 представлено устройство механизма сухого золоудаления генератора водяного газа.

К кожуху генератора присоединены два кармана, в которых собираются зола и шлак. При вращении поддона зола ссыпается в карманы, в которых несколько охлаждается. Регулирование количества удаляемой с поддона в карман золы производится с помощью шлаковых ножей. С помощью винта и рычага, сидящего на одном валу с ножом, можно изменять угол наклона ножа к окружности вращения поддона, и таким образом нож может захватывать и сталкивать большее или меньшее количество золы.

Нижняя часть кармана снабжена клапаном, который плотно закрывает отверстие и переставляется с помощью гидравлического управления. Последнее состоит из гидравлического цилиндра, в котором ходит поршень, соединенный с рейкой, приводящей во вращение зубчатое колесо, на оси которого расположены рычаги, открывающие и закрывающие клапан.

В верхней части кармана предусматривается люк размерами 400×400 *мм* для осмотра и чистки кармана. Этот люк иногда прикрывают предохранительным клапаном.



65. Решетка Керпели высокого давления

На основной плите кожуха установлены опорные и упорные ролики, поддерживающие чугунный поддон с колосниковой решеткой.

5. Распределение дутья вращающимися решетками. Для равномерности распределения воздуха по сечению генератора важно надлежащее положение воздушных щелей в решетке. Важно подать дутье так, чтобы оно распределялось в генераторе соответственно количеству топлива, проходящему через отдельные участки, а не проходило преимущественно у мест меньшего сопротивления, в частности у стен, где топливо лежит более рыхло, вызывая периферийный огонь, прогары и сжигание газа, особенно при неоднородном и мелком топливе.

По исследованию проф. Н. Н. Доброхотова [52] при решетках Гильгера, имеющих одну щель, воздух устремляется преимущественно к стенкам, поднимая в этих местах уровень раскаленной зоны (сниженной над головкой).

Именно поэтому в решетках Керпели предусматривается секционная подача дутья, отдельно в центре и отдельно на периферии решетки, дающая возможность менять характер дутья не только в отношении давления, но и в отношении его влагосодержания.

Сторонники подачи дутья в центре генератора указывают, что именно в результате подачи дутья в месте наибольшего сопротивления слоя топлива осуществляется надлежащее его распределение по сечению; что касается ломки шлаков, то нужно принимать меры

к тому, чтобы они не образовывались, так как полагаться на предупреждение шлакования решетками вообще не следует.

В последнее время довольно большое распространение получают центральные решетки с фрезерами, в которых дутье подается в центре генератора и обеспечивается равномерное удаление золы, а следовательно и равномерное опускание слоя и равномерность процесса газификации.

Спор о преимуществах и недостатках решеток центральных и с развитой поверхностью не может считаться решенным.

При газификации мелких топлив с значительным содержанием пыли и с применением дутья большого давления имеет очень большое значение равномерность распределения дутья решеткой по сечению. Подобная конструкция осуществлена фирмой Керпели. На рис. 65 представлена эта решетка.

Воздух распределяется многочисленными мелкими отверстиями (диаметром в 6 и 10 *мм*) равномерно по всему сечению генератора [1].

Золоудаление при таких решетках применяется сухое ввиду большого давления дутья при мелком топливе и большого сопротивления мелких щелей.

Несмотря на ряд отдельных удачных выполнений устройство этих генераторов не разрешило вопроса газификации мелкого топлива.

6. Преимущества и недостатки генераторов с вращающимися решетками. Преимущества генераторов с вращающимися решетками следующие: устранение тяжелой операции ручного удаления золы и шлаков, уменьшение ручной шуровки при шлакующемся топливе, уменьшение влияния удаления золы на процесс газификации, почти полный выжиг очажных остатков, равномерность процесса газификации, хорошее качество газа, увеличение производительности генератора сравнительно с другими системами.

Недостатком генераторов с вращающимися решетками является их высокая стоимость, а в известных условиях также значительное применение в них металлических частей. Эти генераторы требуют квалифицированного, тщательного и внимательного ухода за всеми их частями.

Сравнительные показатели работы генераторов воздушного и смешанного газа приведены в табл. 46—49.

Генераторы высокой производительности

Большой интерес представляют генераторы высокой производительности с вращающимися решетками. При увеличении размеров генераторов вращающиеся решетки не обеспечивают равномерного распределения дутья по сечению генератора и равномерного схода шлака.

Удельная (на 1 $м^2$ сечения) интенсивность газификации снижается [53] с возрастанием диаметра генератора (рис. 66).

В СССР наибольшим размером генератора с вращающейся решеткой является 3,6 *м*.

Таблица 46

Средние интенсивности газификации различных топлив в различных системах генераторов (в *кг* на 1 $м^2$ сечения в час)

Тип генератора	Дрова		Торф	Бурый уголь	Брикеты бурого угля	Каменный уголь	Антрацит	Кокс
	поленья	щепа						
Самодувный с неподвижной решеткой и ручной шуровкой	100—150	—	50—75	50—100	50—90	35—70	—	—
С дутьем и неподвижной решеткой	150—225	300—400	100—300	75—150	80—120	60—120	60—120	60—120
С вращающейся решеткой	—	400—700	200—600	150—275	120—200	80—200	80—200	80—200
С автоматическим шуровочным приспособлением	—	—	—	—	—	150—350	—	—
С выпуском жидких шлаков	—	—	1 000—2 000	—	—	от 300 до 1 000		

Примечание. Более высокие величины относятся к топливам, сортированным (не рядовым) и с лучшими свойствами золы и кокса. При благоприятных свойствах топлива в обычных генераторах диаметром до 3—3,6 *м* отдельные показатели могут быть увеличены.

Таблица 47

Высота слоя и отдельных зон для различных топлив (в *мм*)

Слой \ Топливо	Дрова	Торф	Бурый уголь	Каменный уголь	Антрацит	Кокс
Весь слой вал решеткой	4 000—7 000[1]	4 000—7 000	2 000—7 000	700—1 700	700—1 600	1 100—2 000
Слой золы		от 100 до 300			от 100 до 300	
Раскаленный слой	300—2 500	300—2 500	300—2 500	400—1 000	400—1 000	100—600
Темный слой топлива	—	—	—	200—500[2]	200—500[2]	300—1 700

[1] Для поленьев: при цепе может быть и меньше.
[2] После засыпки.

Таблица 48

Распределение статей тепла в генераторах различных систем при различных топливах
(Расчет по верхнему пределу теплотворной способности)

Тип генератора	Топливо: Род	A^p в %	W^p в %	$Q_в^p$ в кал	Распред. тепла (в % от всего прихода тепла): Теплотворная способн. газа	Теплосод. сухого газа	Теплосод. влаги	Теплотворная способн. смолы	С горючим в провале и в уносе	В окружающую среду	Примечание
Самодувный с горизонтальной решеткой	Дрова	0,3	22	3 376	67,81	4,50	7,16	8,41[1]	1,35	10,77	[1] Выход и состав смолы взяты по литературным данным.
С неподвижной решеткой	Торф	2,6	30	3 560	64,4	2,6	9,7	14,9[1]	1,2	7,2	
С вращающейся решеткой, швельшахтой и охлаждающей рубашкой	Торф	3,46	27,10	3 788	67,17	7,37		19,55	0,21	5,70[2]	[2] В том числе и тепло на получение пара в рубашке.
Со ступенчатой решеткой	Сырой бурый уголь	2,4	53,1	2 518	53,1	1,65	16,81	10,09	11,89[5]	6,46	
С вращающейся решеткой без швельшахты	Бурый уголь	17,81	31,69	3 419	60,42	1,55	7,40	14,01	7,18[6]	9,44[2]	[3] Включает и потерю с охлаждающей водой.
С вращающейся решеткой и швельшахтой	Брикеты бурого угля	17,83	21,94	4 232	72,88	0,28	—	2,24	8,61[6]	—[3]	
Со ступенчатой решеткой без дутья	Камен. уголь	10,5	14,5	5 215	65	1	3	21	3	7[2]	[4] В том числе 3,2% с уносом.
С цепом Моргана	» »	—	—	—	65	13	—	—	—	—	[5] При хорошем уходе может быть сокращено.
С вращающейся решеткой	» »	6,17	3,36	7 458	73,18	9,94	2,54	4,48	0,94	8,92	[6] Большая потеря вызвана конструктивными недочетами решетки.
С вращающейся решеткой и механическим шуровочным приспособлением	» »	12,64	4,5	6 975	65,35	9,55	4,23	8,92	1,96	9,99	
С вращающейся решеткой	Антрацит	10,42	3,11	6 910	74,4	9,4	1,2	7,8	3,1	4,1	
С вращающейся решеткой	Кокс	9,8	4,5	6 590	64,6	7,7	4,9	5,4[4]	6,9	10,5[3]	
		6,84	5,80	7 092	76,8	12,5	1,0	—	5,1[4]	4,6	
		14,3	14,9	5 560	77,59	5,74	2,83	—	2,46	11,17	
		14,95	10,91	5 933	84,18	8,25	3,37	—	2,11	2,09	

A^p—зольность рабочего топлива, W^p—влажность, $Q_в^p$ — высшая теплотворная способность рабочего топлива.

Таблица 49

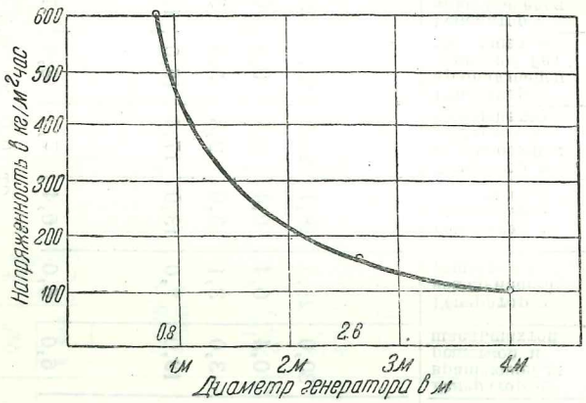
Состав воздушного и смешанного газов из различных топлив при различных системах газогенераторов (в %)

Наименование газа	Обозначение	Дровяное топливо (влажность – 30%): Генератор с неподвижной решеткой[1]	Дровяное топливо: Генератор с неподвижной решеткой	Дровяное топливо: Генератор с вращающейся решеткой и швельшахтой	Торф: Генератор с неподвижной решеткой[1]	Торф: Генератор с вращающейся решеткой	Торф: Генератор с вращающейся решеткой и швельшахтой	Бурый уголь: Генератор с вращающейся решеткой без швельшахты	Бурый уголь: Генератор с вращающейся решеткой со швельшахтой	Каменный уголь: Генератор с неподвижной решеткой[1]	Каменный уголь: Генератор с вращающейся решеткой	Антрацит: Генератор с вращающейся решеткой	Кокс: Генератор с вращающейся решеткой
Горючие составные части:													
Окись углерода	CO	29,5	28,0	30,0	28,5	28,7	28,3	23,5	27,0	21,5	25,0	29,0	30,0
Тяжелые углеводороды	$C_2H_4(C_mH_n)$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1
Метан	CH_4	3,0	2,7	3,0	3,1	3,0	2,8	3,4	3,4	2,5	3,0	0,7	1,0
Водород	H_2	10,0	15,0	13,0	7,0	13,0	17,4	16,0	17,0	9,0	13,0	14,0	11,0
Негорючие составные части:													
Углекислота	CO_2	6,0	7,0	6,0	6,0	6,4	7,3	8,0	7,5	7,0	4,3	3,0	2,5
Кислород	O_2	от 0,0 до 0,3											
Азот	N_2	51,1	46,9	47,6	55,0	48,5	43,8	48,8	44,8	59,7	54,4	53,2	55,4

[1] Сухое дутье.

Заграничные предложения конструкций генераторов большого размера идут преимущественно по пути увеличения площади решеток путем устройства кольцевых генераторов и комбинирования вращающейся решетки со ступенчатой.

Кольцевой генератор [15] с площадью сечения в 75 $м^2$, снабженный кольцеобразной решеткой и четырьмя газоотводными отверстиями, ведущими в общий газопровод, строившийся фирмой Пинч, предназначался для получения газа по способу Монда из низкосортного каменного угля с 15,4% золы, 17,6% влаги и 0,72% азота при размере кусков в 10—25 *мм*. Проектная производительность генератора составляла 240 *т/сутки*. Данные о работе не известны.



66. Изменение интенсивности газификации кокса с увеличением диаметра генератора по Терресу

При устройстве генератора, согласно рис. 67, полезная поверхность решетки генератора увеличивается в несколько раз путем комбинации вращающейся решетки со ступенчатой [10]. Пространство газификации разделено на несколько камер, которые могут быть включены и выключены без нарушения работы генератора в целом.

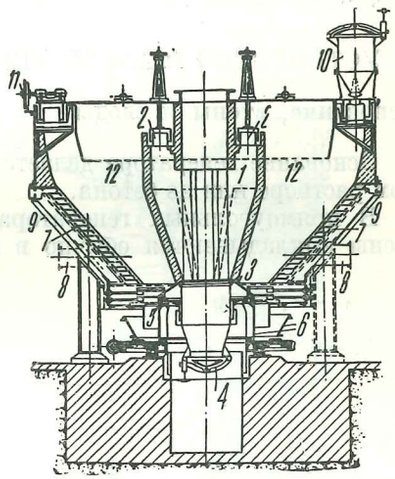
Средняя коническая часть вращающейся решетки неподвижна, и на ней помещаются чугунные кронштейны, несущие промежуточные стены отдельных камер. С помощью обоймы с шарами неподвижная коническая часть решетки центрирует вращающуюся часть. Ступенчатая решетка имеет наклон в 50° (больший, чем угол естественного откоса) и широкие перекрытые щели. Подвод дутья осуществляется через кожух под ступенчатую решетку.

Пространство над неподвижной частью решетки, внутри генератора, является газосборником и пылеуловителем и соединяется с каждой камерой генератора при помощи клапанов с плотными затворами. Предложенным путем может быть осуществлен генератор, сохраняющий испытанный способ удаления золы при помощи вращающейся решетки и с значительно большей площадью сечения шахты и решетки, чем обычные генераторы с вращающейся решеткой.

Конструкция является не вполне простой. Повидимому должно представить затруднения создание достаточной плотности между камерами и внутренним сборником, а также достижение равномерной работы всего генератора.

Другое предложение (рис. 68) устройства генератора большой производительности для сырого бурого угля сделано фирмой «Gasgenerator und Braunkohlenverwertung» [10]. Генератор объединяет в одном устройстве газификацию и предварительную подсушку.

Нижняя часть генератора снабжена корзиночной ступенчатой решеткой *4*, *5*, вращающейся на роликах. Подаваемый воздухопроводом первичный воздух разветвляется и идет по трубопроводу *1* к центру решетки и по кольцевому воздухопроводу *2* к периферии решетки *4*. Воздух, подаваемый к центру, проходит под чепец *11* и распределяется внутренней решеткой *5*. Чепец *11* может в случае необходимости охлаждаться разбрызгивающим воду приспособлением *12*. Воздух, подаваемый в кольцевой воздухопровод *2*, регулируется вентилями *6* и попадает к внешней решетке *4*. Для особых случаев предусмотрен подвод воздуха через трубопроводы *3*. Низ генератора уплотнен гидравлическим затвором.



67. Генератор Тренклера с кольцевой ступенчатой и вращающейся решеткой:

1 — газосборник - пылеуловитель, *2*—клапаны, *3* — неподвижная средняя часть решетки, *4* — клапан для спуска пыли, *5*—обойма с шарами, *6* — вращающаяся часть решетки, *7*—ступенчатая решетка, *8*—подвод дутья, *9* — уплотняющий кожух, *10*—загрузочная коробка, *11*—приспособление для перемещения загрузочной коробки, *12*—отдельные камеры генератора.

Одна часть генераторного газа идет в швельшахту, другая же центральным каналом *8* подводится в верхнюю часть генератора, подсушивает топливо и выходит через газоотвод *9*. Газ, идущий в швельшахту, омывает через кольца, расположенные в виде жалюзей, подсушенное топливо и обогащенный продуктами перегонки отводится каналами *7*.

Регулировка соотношения газов производится клапаном *10*.

Предложенный генератор должен был газифицировать 70 *т* угля в сутки.

Имеются также конструкции генераторов большого диаметра и большой производительности с неподвижной решеткой, в которых удаление золы производится с помощью шиберов, приводимых в движение гидравлическим путем. Подобный генератор системы Ричи-Гоцо имеет диаметр в 5 *м* и снабжен 8 шиберами для удаления остат-

ков, расположенными по окружности высокой пирамидальной решетки (рис. 69).

Производительность генератора — примерно 150 *т* многозольного бурого угля или торфа в сутки [10].

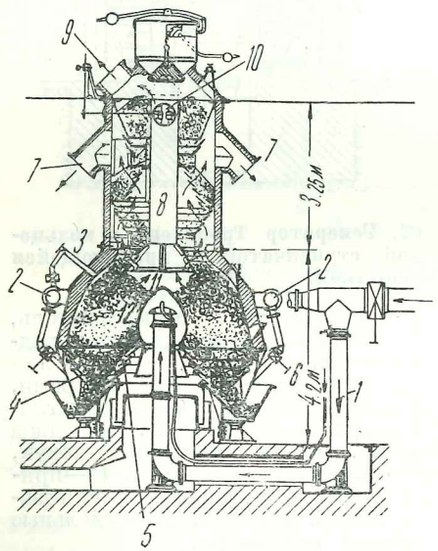
К числу генераторов большой производительности следует также отнести генераторы с выпуском жидкого шлака и генераторы Винклера, газифицирующие мелкозернистое топливо.

9. УСТРОЙСТВО ШАХТЫ ГЕНЕРАТОРА

Основание, стены и своды

Основание генератора делается или из бутового камня на цементном растворе или из бетона.

В прямоугольных генераторах без железного кожуха внешние стены выкладываются обычно в $2^1/_2$ кирпича: 1 кирпич — огнеупорный и $1^1/_2$ — красного, изредка в 1 красный кирпич. Эти шахты располагаются блоками и между шахтами кладутся промежуточные стены в 2 или $2^1/_2$ огнеупорного кирпича и больше. Иногда в стенах между шахтами засыпают слой расщебенки, чтобы расширение и сужение отдельных стен не нарушали плотности и чтобы избегались образование трещин и просачивание газа из одних шахт в другие. Толщина промежуточных стен при кладке в блоке зависит от их высоты и степени разъедаемости шлаком. В подобных генераторах при кладке стен красный кирпич через несколько рядов (4 — 5) перевязывается с огнеупорным для увеличения прочности кладки. В противном случае возможны отход и выпучивание отдельных стен.



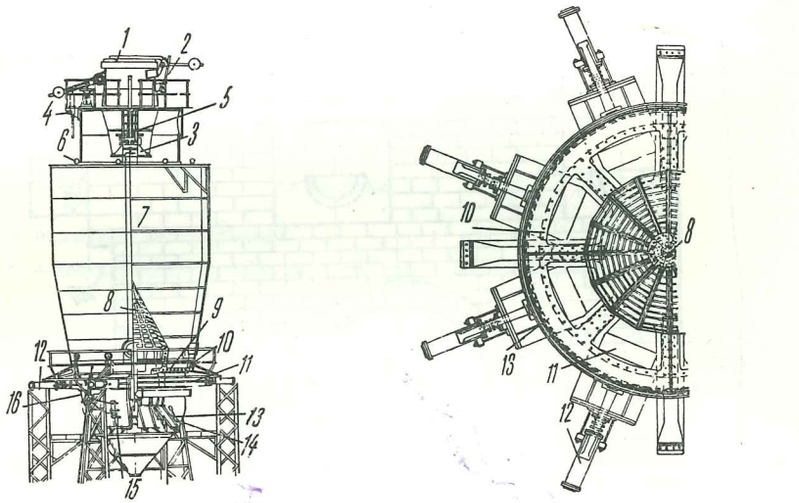
68. Генератор с кольцевой решеткой и швельшахтой фирмы «Gasgenerator und Braunkohlenverwertung»

Толщина свода делается равной одному кирпичу (230—250 *мм*). Свод выкладывается из огнеупорного нормального или фасонного кирпича. Поверх него кладется выстилка из красного кирпича или делается засыпка из изоляционного материала с целью уменьшить потери тепла и предохранить работающих от сильного жара.

Огнеупорный шамотный кирпич кладется на растворе из огнеупорной глины и шамотной толчи и в менее ответственных местах — на растворе из огнеупорной глины и песка. Швы кладки должны быть

тонкие (не более 3 *мм*). Красная кладка стен кладется на смешанном растворе (песок, известь, цемент); иногда на растворе из глины и песка.

Для установки загрузочной коробки или замыкается в своде кольцо (рис. 70) или кладка ведется внапуск, чем создается площадка для коробки (рис. 50). Иногда для уменьшения нагрузки свода



69. Генератор системы Ричи-Гоцо:

1—крышка загрузочной коробки, *2*—рычаг для крышки с гидравлическим приводом, *3*—конус коробки, *4*—рычаг конуса с гидравлическим приводом, *5*—ручной рычаг конуса, *6*—затворы шуровочных отверстий, *7*—шахта генератора, *8*—пирамидальная решетка, *9*—опорные кронштейны решетки, *10*—опорное кольцо решетки, *11*—верхние клапаны зольных карманов с гидравлическим приводом для спуска золы в карманы, *12*—гидравлические цилиндры верхних клапанов карманов, *13*—зольные карманы, *14*—нижние клапаны зольных карманов для спуска золы в зольный бункер, *15*—рычаг нижних клапанов зольных карманов с гидравлическим приводом, *16*—ручной рычаг нижних клапанов

на стены генератора кладутся балки или рельсы (рис. 56), передающие нагрузку на стены, иногда же свод перекрывается чугунной плитой.

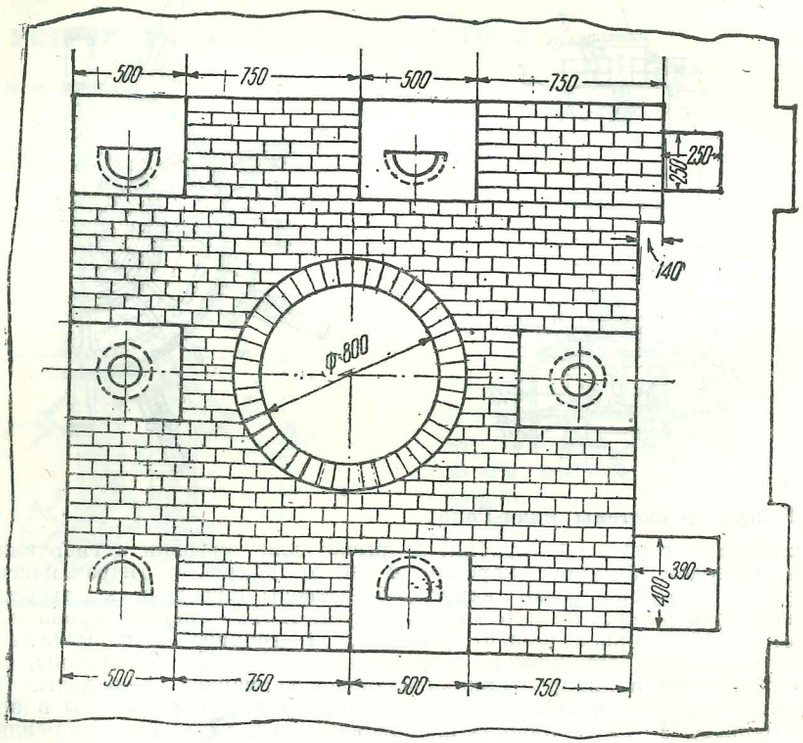
При кладке кирпичных одиночных шахт, а также в блоке в наружных стенках прокладывают балки или рельсы для предохранения их от выпучивания (рис. 50 и 52).

Иногда верхние части внутренних стен генераторов выкладывают из красного кирпича, руководствуясь соображениями дешевизны, но в силу малой их прочности этого делать не рекомендуется.

Прямоугольные шахты скрепляются железными стойками и связями (тяги). Стойки выполняют из рельсов, балок, швеллеров и пр. (рис. 71). Нижние части стоек заделывают в бетон, верхние части стягивают круглым железом.

Кладка кирпичных стен генераторов толста. При применении круглых шахт с железными кожухами она значительно тоньше.

Форма генераторов, снабженных железными кожухами, обычно круглая; эта форма более обеспечивает равномерное распределение кускового топлива по сечению генератора. Применение кожуха хорошо обеспечивает плотность и прочность генератора. Кладку в этом случае обычно выполняют из огнеупорных, обычно шамотных, фасонных кирпичей на шамотном растворе с тонким швом. Для лучшей изоляции генератора в смысле уменьшения потерь во внешнее пространство между огнеупорным кирпичом и кожухом помещают слой изоляции — трепел, пемзу, шлак. В местах устройства опор под свод кладка пят должна вплотную примыкать к кожуху.



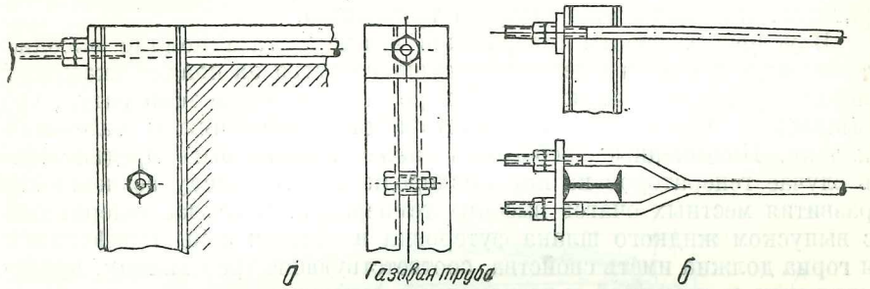
70. Кладка свода генератора прямоугольной формы

Толщина огнеупорной футеровки берется обычно в пределах 200—300 *мм*; в верхней части генератора она бывает и тоньше. В швельшахте толщина футеровки обычно не превышает 80 *мм*.

Смотровые и шуровочные отверстия выполняют из фасонных кирпичей, достаточно прочных и имеющих скосы для удобства шуровки.

Над лазами делают разгрузочные своды. Газоотводной штуцер футеруют кирпичом толщиной в 75—100 *мм*.

Обычно свод выполняется из различных фасонных брусьев, особенно в тех случаях, когда он должен служить опорой для автоматического загрузочного или шуровочного приспособления. На рис. 72

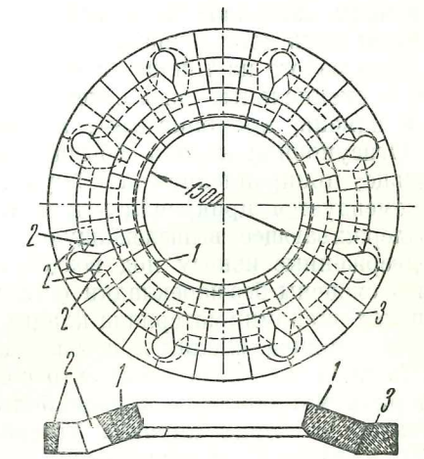


71. Детали обвязки генераторов:

а—обвязка швеллерами, *б*—обвязка двутавровыми балками

представлена кладка свода под питатель и мешалку Чапмана [4]. Своды перекрываются железными или чугунными плитами. Швельшахту обычно сводами не снабжают, а перекрывают металлическими плитами.

Для удобства монтажа автоматических загрузочных и шуровочных приспособлений иногда своды заменяют или перекрывают металлическими охлаждаемыми водой полыми крышками.



72. Устройство свода в генераторе с шуровочным приспособлением Чапмана:

1—кирпичи для замыкания кольца, *2*—кирпичи, образующие шуровочное отверстие, *3*—пяты

Огнеупорный материал

При выборе огнеупорного материала для генераторов следует считаться как с общими условиями газификации, так и с особенностями отдельных случаев. На стойкость футеровки оказывают влияние температурные условия, химическое действие шлака, могущего разъедать кладку или давать на ней наросты, механическое действие шлака и топлива (истирание) и шуровки (удары). Совокупность этих условий, а также условий кладки и сопряжения кладки с металлическими частями — кожухом, опорным металлическим кольцом и т. д.— заставляют принимать во внимание ряд свойств огнеупорных материалов: огнеупор-

ность, состав, пористость, температуру обжига, коэфициент расширения, сопротивление в горячем состоянии под нагрузкой, помол и выкрашивание зерен, способность подвергаться теске, состояние поверхностей и т. д. К материалу, применяемому в нижней части генераторов, предъявляются высокие требования.

В условиях работы генераторов водяного газа помимо высоких температур и шлака в период воздушного дутья на кладку оказывает неблагоприятное влияние частое и резкое изменение температур, что вынуждает предъявлять соответствующие требования к материалу кладки. Повышенные требования также должны быть предъявлены в случае генераторов на парокислородном дутье ввиду возможности развития местных очагов высоких температур. В случае генераторов с выпуском жидкого шлака футеровка в области зоны газификации и горна должна иметь свойства, соответствующие требованиям, предъявляемым к доменной и ваграночной футеровке.

Огнеупорная кладка генераторов при применении постоянного сорта угля с определенным составом золы может быть по своему составу подобрана таким образом, чтобы она минимально разъедалась шлаком. К кирпичу, применяемому в верхних частях генераторных шахт и в швельшахтах, предъявляются пониженные требования.

Основным огнеупорным материалом, применяемым для футеровки, является шамот. При легкоплавком шлаке содержание Al_2O_3 в футеровочном материале не должно быть слишком низким, и последний должен быть достаточно плотным [4].

При работе на топливе с основным шлаком могут найти применение и специальные виды огнеупорных материалов, например тальковый камень, хромомагнезит, хромитовый кирпич и т. д.

Огнеупорная кладка обычно лежит на чугунном или железном кольце, прикрепленном к кожуху. Над нижними рядами кирпичей рекомендуется прикреплять к кожуху кольцо из углового железа, поддерживающее вышележащую кладку. В этом случае наиболее подверженные износу под воздействием шлака и огня части могут быть сменены без перекладки остальной огнеупорной кладки. Иногда в целях экономии материала кладку в нижней части ведут по толщине в два кирпича, сменяя при разъедании только внутреннюю часть.

В гл. I уже отмечалось, что содержание окислов железа в огнеупорном материале не должно быть значительным во избежание отложения в порах кирпича углерода, выделяющегося по реакции: $2CO \rightarrow CO_2 + C$, и разрушения кирпича.

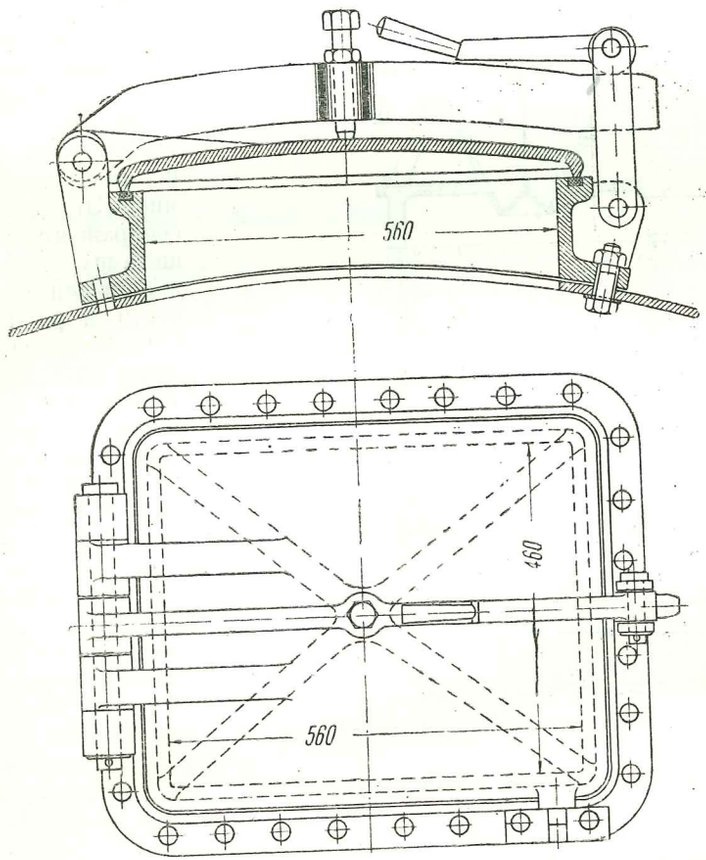
Устройство кожуха и крышки

Кожух генератора выполняется из котельного железа. Кожухи маленьких генераторов, обслуживающих двигатели, при массовом производстве делаются из чугуна. Железные кожухи свариваются или склепываются. Заклепочные швы должны быть плотные.

Кожухи выполняются из железа толщиной в 6—10 *мм* или (при охлаждающих кожухах) большей. Верхние листы обычно тоньше нижних.

К верхнему поясу крепятся угольники, на которых лежат металлические крышки генератора и площадки. Кладка генератора лежит на металлическом кольце, скрепленном с кожухом (рис. 61).

К нижнему опорному кольцу прикрепляется второе кольцо (фартук), погруженное в чашу и замыкающее водяной затвор. Это второе кольцо состоит из отдельных чугунных или железных частей. На их



73. Арматура дверки генератора

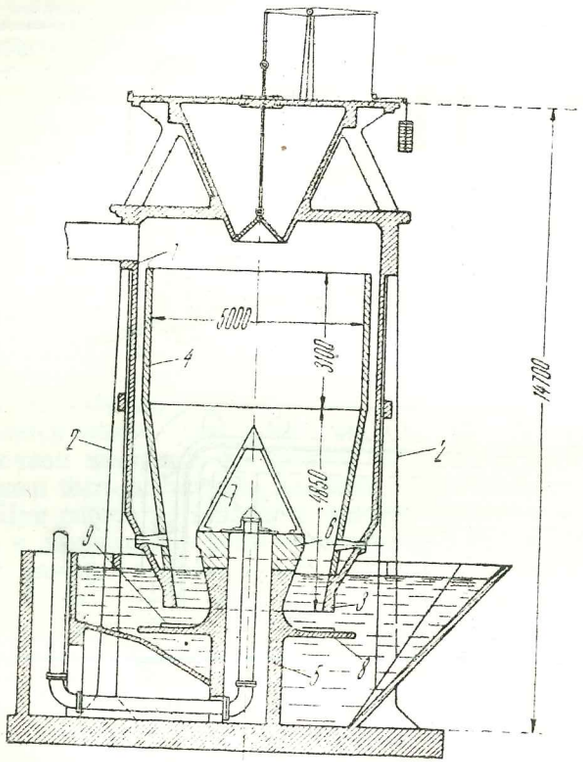
скрепление следует обращать большое внимание, так как иногда по недосмотру зона огня опускается и кольцо раскаляется.

Фартук делают массивным или снабжают чугунной защитой, что допускает раздавливание о него комьев шлака. Фартук также предохраняет кладку в нижней части от износа.

В кожухах и крышках предусматривают отверстия для шуровки и лазы. На кожухе и крышках крепят соответствующую арматуру для дверок и пробок.

На рис. 73 представлена дверка генератора. Она прижимается к раме, прикрепляемой к кожуху и снабженной для создания большей плотности в месте стыка с дверкой канавкой, заполненной асбестом. Дверка прижимается к раме с помощью упорного болта.

Генераторы с железными кожухами обыкновенно перекрываются чугунными или железными плитами, на которые ставятся загрузочные коробки.



74. Генератор с железобетонным кожухом

Кожух генератора подвешивается на трех или четырех чугунных или железных колоннах.

Иногда шахты выполняют вращающимися. Это вызывается соображениями лучшего шурования угля и большей интенсивности и равномерности процесса. Вращение шахты обычно имеет место в комбинации с механическими шуровочными приспособлениями (рис. 89). Крышка с шахтой соединяется в этом случае с помощью водяного затвора. К кожуху прикрепляется для приведения шахты во вращение зубчатый венец. Ролики, по которым катится опорный рельс шахты, закреплены на колоннах.

Устройство железобетонного кожуха

На рис. 74 представлен генератор с железобетонным кожухом, построенный в Италии (патент Verity). Кожух верхним кольцом *1* лежит на шести железобетонных колоннах. В нижней части кожух имеет утолщение *3*, на котором лежит огнеупорная кладка *4*. Пространство между железобетонным кожухом и огнеупорной кладкой заполнено нетеплопроводным щебнем. Бетонный цилиндр *5*, в котором проходит дутьевая труба, несет огнеупорный слой *6*, решетку *7* и тарелку *8*, на которых лежит топливо. Зола с любой части тарелки *8* смывается сильной струей воды, подаваемой трубкой *9* (10).

Генератор был подвергнут разрывному и температурному испытаниям. При испытании взрывом предохранительную плиту весом в 60 *кг* отбросило на расстояние в 20 *м*; повреждений в самом генераторе не оказалось. Для температурного испытания генератор был заполнен углем и разожжен. Через 12 час. все содержимое генератора было раскалено, и пламя выбивало наружу. Повреждений не было, несмотря на то, что температура крышки была равна 300° и кожуха—160°, тогда как обычно температура кожуха была лишь на 20—30° выше температуры окружающего воздуха, а температура крышки составляла 60°.

По данным изобретателя, стоимость этого генератора вдвое меньше, чем железного.

О качестве работы генератора в длительной эксплоатации сведений нет.

Охлаждение стен и сводов шахт

Для предохранения стен генераторов от приваривания к ним шлаков, что является результатом плавления золы, в последние годы стали применять охлаждение стен шахты.

В начальных конструкциях охлаждение устраивали поверх шамотной кладки, позднее стали целиком заменять шамотную кладку охлаждающим кожухом.

Распространению охлаждающих кожухов первоначально препятствовало их недоброкачественное выполнение, в результате которого в них оказывались неплотности.

В охлаждающем кожухе вода может или только подогреваться или же испаряться. Подогрев воды распространения не нашел. При подогреве температура охлаждающей поверхности изнутри низка, и на ней оседает влага паровоздушного дутья, что может вызвать ржавление; помимо этого получающийся при газификации содержащих серу топлив сернистый газ может образовать на холодной поверхности кожуха сернистую кислоту, разъедающую металл, особенно в швах (10).

Получение пара в охлаждающих кожухах дало гораздо лучшие результаты. Конденсации влаги на поверхностях не происходит вследствие высокой температуры поверхности кожуха. Сжатый пар, получаемый в кожухе, всегда находит себе применение. Образование накипи избегается очисткой воды. Конструкция современных кожухов допускает удобную замену частей и их чистку.

Относительно целесообразности охлаждающих кожухов долгое время мнения расходились, однако в последнее время они получают все большее распространение.

Иногда доводят охлаждающий кожух до самого верха генератора, что преследует цель использования физического тепла газа для подогрева воды или получения пара.

Подробнее устройство охлаждающих кожухов описано в гл. IV.

Иногда взамен кирпичных сводов применяют металлические охлаждаемые водой крышки. Это может вызываться различными сообра-

жениями. При газификации антрацита и кокса получается газ высокой температуры; при очистке он охлаждается, и физическое тепло его теряется. Использовать это тепло можно [1] при бессмольном топливе, не засоряющем металлических поверхностей, путем применения металлической крышки, в которой подогревается вода, и получения в ней пара для увлажнения дутья, подаваемого в генератор (рис. 152, 175, 212). Кроме того охлаждение газа вверху генератора быстро выводит газ из того температурного интервала [55], где имеет место разложение CO с выделением углерода (сажи) по реакции:

$$2CO \rightarrow CO_2 + C,$$

и таким образом препятствует ухудшению качества газа. Применение металлических охлаждающихся крышек для генераторов иногда диктуется также конструктивными соображениями, а именно необходимостью установки питательных и шуровочных приспособлений, разъединения от шахты для возможности вращения последней и т. д. (рис. 89).

Затворы шахт

При устройстве генераторов с дутьем должна быть исключена возможность утечки подаваемого вентилятором воздуха. Для этой цели необходимо разобщить нижнюю часть генератора от внешней атмосферы. Это разобщение может быть произведено при помощи водяного затвора и сухим путем.

На рис. 52 представлено устройство водяного затвора в генераторе Сименса. Оно состоит из залитого водой бетонного поддувала, в которое погружена прикрепленная к металлическому фронту балка, выключающая генератор.

На рис. 58, соответственно форме генератора Моргана, водяной затвор — круглый. В бетонное залитое водой углубление спускается прикрепленное к кожуху железное кольцо-фартук, замыкающее затвор. На рис. 59 в генераторе с вращающейся решеткой водой заливается вращающаяся чаша, в которую спущено такое же кольцо.

Описанные водяные затворы не только служат для отделения генератора от атмосферы; они дают также возможность без перерыва в процессе газификации производить очистку генератора. Удаление золы и шлака в этом случае производится выгребанием их через водяной затвор. Лишь при сильном зашлаковании генератора приходится останавливать дутье и открывать дверки для ломки шлаков.

Не всегда однако возможно и целесообразно устраивать водяной затвор вследствие того, что зола иногда является сильно гигроскопичной. впитывающей в себя воду, охлаждающую зону газификации, и тем препятствующей нормальному газообразованию: иногда же зола обладает свойством в смеси с водой затвердевать в цементообразную массу. Сухое уплотнение генераторов без вращающихся решеток представлено на рис. 53 и 57. Оно осуществлено фронтовой чугунной доской, снабженной дверками и прижатой к стене генератора.

Более совершенное устройство генераторов с сухим золоудалением и вращающейся решеткой представлено на рис. 34. В нем чаша заменена поддоном.

В генераторах с вращающимися решетками следует также предусматривать уплотнение места соединения трубы, подающей воздух, и подколосникового пространства. Это достигается или гидравлическим затвором или сальниковым с асбесто-графитовой набивкой.

На рис. 59 показано устройство гидравлического затвора решетки с секционным подводом дутья — отдельно к середине и отдельно к периферии (система Керпели). В этом случае приходится делать два гидравлических затвора. Материалом для них во избежание сильного ржавления обычно служит чугун. Следует наблюдать за постоянным наличием воды в этих затворах, что достигается путем установки подающей и контрольной сливной трубок, через которые постоянно течет вода. При хлопках воду из затвора выплескивает, но убыль быстро пополняется.

На рис. 62 показано сухое уплотнение путем сальникового устройства.

Гидравлические и сальниковые уплотнения применяются и в других местах: питателях для угля, отводных рукавах для газа, соединениях вращающихся шахт с крышками (рис. 89) и т. д.

10. ЗАГРУЗОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Назначение

Назначение загрузочных приспособлений — подавать топливо в генератор. К ним предъявляется ряд требований: они должны равномерно распределять топливо по поверхности слоя в генераторе; должны давать возможность подавать в отдельные части генератора большее или меньшее количество топлива; должны обеспечивать достаточную разобщенность генератора от наружного воздуха, чтобы не было утечки газа и присоса воздуха в генератор; обслуживание их должно быть легкое и простое: они должны быть прочны и надежны в работе.

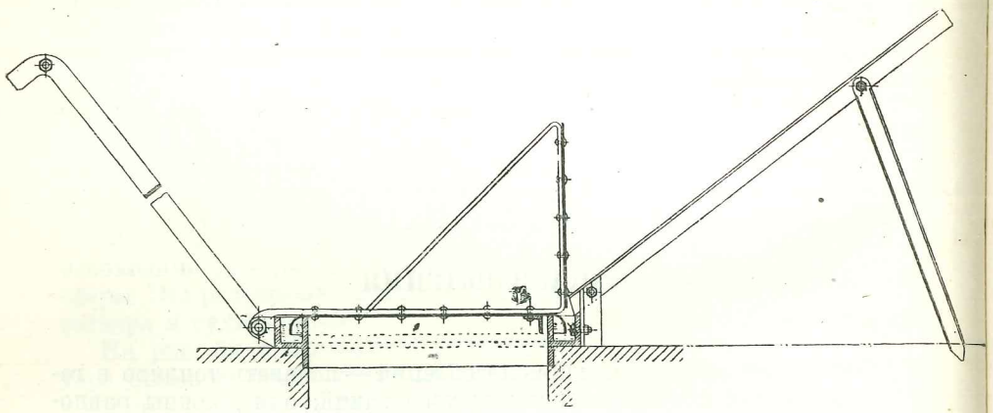
Форма загрузочной коробки зависит от формы кусков топлив и формы шахты генератора.

Для дров, применяемых в виде поленьев, коробки имеют прямоугольную форму. Иногда при прямоугольной форме генераторов подобные же коробки используют и для торфа. Загрузочные приспособления могут приводиться в движение вручную и с помощью механизмов. К последним прибегают или при непрерывном питании или при необходимости подачи в генератор больших количеств топлива.

Коробки с одним клапаном

Загрузочные коробки первоначально делались с одним затворным клапаном (рис. 32 и 54). Подобные коробки в самодувных генераторах— для дров — и в генераторах водяного газа сохранились и до настоящего времени. При этих коробках (рис. 75) дрова накладываются

на наклонную раму и упираются в железные полосы, прикрепленные к клапану коробки. При подъеме клапана дрова скатываются в генератор. В период сбрасывания дров генератор сообщается с атмосферой. Если процесс загрузки происходит быстро, то особенных нарушений в процессе газификации не происходит, и давление вверху генератора на очень малый промежуток времени сравнивается с атмосферным; если же почему-либо, например вследствие застревания полена, клапан не закроется, то генератор остается на более продолжительное время в сообщении с атмосферой и или сильно газит или, поскольку потребляющие газ печи присасывают газ, внешний воздух может присосаться в генератор, с чем связана опасность сгорания газа или образования взрывчатой смеси и взрыва. Довольно часто



75. Загрузочная коробка с одним клапаном для дров

применяли и применяют загрузочные коробки с одним затвором (рис. 32) в генераторах водяного газа. Загрузка при подобных коробках, являющихся плотными в закрытом виде, производится при выключенном дутье.

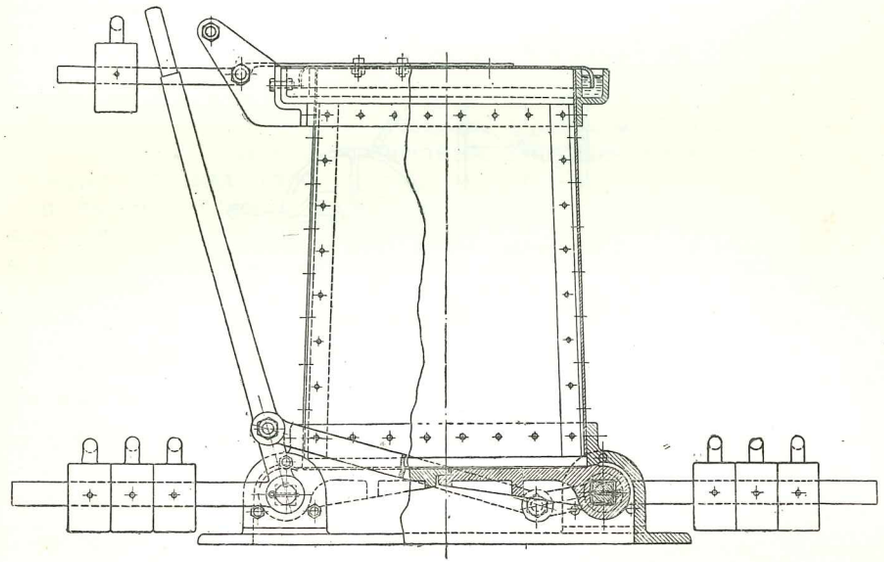
Коробки с двумя клапанами

Совершенствование загрузочных коробок привело к устройству двойного затвора. При этом загрузка топлива в коробку производится при открытом верхнем клапане и закрытом нижнем. Когда загрузочная коробка наполнена, закрывают верхний клапан, открывают нижний, и топливо ссыпается в генератор.

На рис. 76 представлена подобная прямоугольная коробка для дров. Верхний клапан состоит из крышки с водяным затвором. Нижний клапан состоит из одного или двух языков. Крышка и языки снабжены противовесами для облегчения поворачивания. В случае устройства нижнего клапана из двух языков (для более равномерного распределения топлива) рычаги языков связывают шарнирным устройством для одновременного поворота. Для создания в генераторе максимального слоя топлива, что весьма целесообразно при влажном

топливе, нагружают генератор настолько высоко, что нижние языки остаются спущенными. Когда генератор несколько прогорит и удается повернуть и закрыть нижние языки, открывают верхнюю крышку и набрасывают на языки дрова. При этом нижний клапан разобщает генератор от атмосферы.

Коробки постоянно газят через втулки. Кроме того, так как нижние языки герметичности не дают и коробки сильно газят во время забросси топлива, особенно если языки несколько покоробились, иногда применяют более совершенные коробки (правда, более слож-



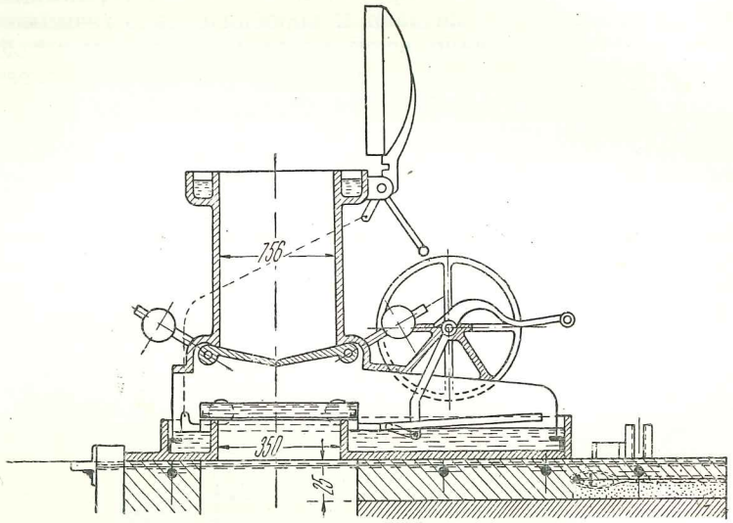
76. Загрузочная коробка для дров с двумя клапанами

ные и дорогие) — с двойным гидравлическим затвором, в которых и нижний и верхний клапаны являются герметичными. Первоначально подобная конструкция была разработана Смирновым [49] и позднее несколько изменена другими конструкторами (Дубининым и Назаровым).

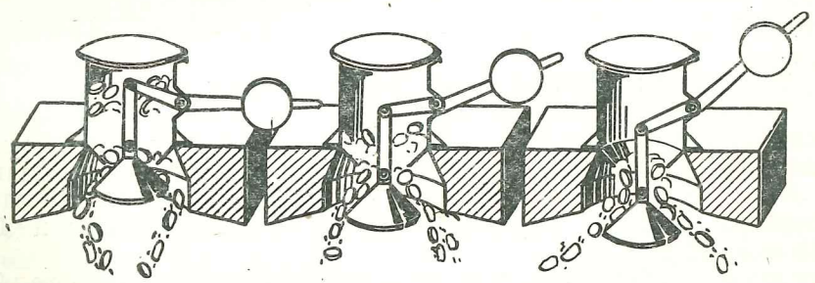
На рис. 77 представлена загрузочная коробка Смирнова [49]. Нижний гидравлический затвор находится под языками, и при загрузке на языки дров он герметически выключает генератор. Перед открыванием языков и спуском дров закрывается верхняя крышка, поднимаетоя рама, поддерживающая нижний затвор, и последний отводится в сторону. Таким образом один гидравлический затвор всегда выключает генератор. При каждой загрузке выделяется объем генераторного газа, равный объему коробки.

Для засыпки кусковых топлив пользуются круглыми коробками. От ползьования языками для уплотнения в них скоро отказались и перешли к применению конусов, дающих лучшую плотность.

На рис. 78 представлены коробки для кускового зернистого топлива. Нижний затвор осуществляется прижимаемым к коробке конусом, а верхний затвор создается прижимаемой к коробке крышкой. Крышка при засыпке топлива в коробку поднимается с помощью рычага вверх или отводится в сторону.



77. Загрузочная коробка Смирнова с двойным гидравлическим затвором



78. Распределение топлива по сечению генератора в зависимости от положения конуса

При загрузке топлива в генератор верхняя крышка закрыта, а конус с помощью рычага опускается вниз.

При газификации больших количеств топлива загрузочные коробки изготовляются большими и тяжелыми, подтягивание от руки конуса коробки становится трудным, и приходится уравновешивать эти конуса тяжелыми и громоздкими противовесами. Во избежание устройства громоздких рычагов с противовесами конуса подтягивают

лебедками. Большие клапаны приводят в движение с помощью вспомогательной силы (обычно с помощью масла или воды, находящихся под давлением) (рис. 69).

Значение загрузочного конуса

Применение нижнего конуса имеет значение не только в отношении создания лучшей плотности загрузочной коробки. Он способствует также более равномерному распределению в генераторе топлива по размеру кусков, так как без него крупные куски откатываются к стенкам, где и получается наиболее легкий путь для газов. В зависимости от положения конуса топливо попадает в различные части генератора. На рис. 78 представлены три положения конуса. При небольшом опускании конуса топливо ссыпается преимущественно в середину; при дальнейшем опускании топливо все больше ссыпается к краям. Это создается совместным действием конуса и направляющего кольца (под коробкой), закладываемого в кладку. При малом опускании конуса крупные куски угля могут застревать между конусом и коробкой, уменьшая плотность загрузочного аппарата.

Лучшее регулирование засыпки достигается применением двух конусов, из которых внешний кольцевой охватывает внутренний [1,44]. При этом возможны два положения — расположение внутреннего конуса ниже и расположение внутреннего конуса выше внешнего. Если внутренний конус расположен ниже внешнего, то при его опускании содержимое коробки засыпается преимущественно ближе к середине генератора, а остаток топлива может быть засыпан у краев генератора. Обратное распределение топлива, т. е. подача главной массы топлива у стен и остатка к середине, может быть достигнуто путем опускания обоих конусов одновременно и последующим подъемом внешнего конуса.

При этом устройстве на самую середину генератора топливо почти не попадает, что не имеет особого значения при очень малом диаметре внутреннего конуса или устройстве нижнего направляющего кольца.

Если внутренний конус расположен сверху, а внешний — снизу, может быть достигнуто еще лучшее распределение топлива, что имеет большое значение при несортированном угле с неоднородным размером кусков топлива. Для того чтобы внутренний конус можно было поднять при заполненной коробке, он снабжен цилиндрическим щитком. Оба конуса могут передвигаться самостоятельно и в любой последовательности, и этим устройством могут быть достигнуты хорошее выравнивание и распределение засыпки.

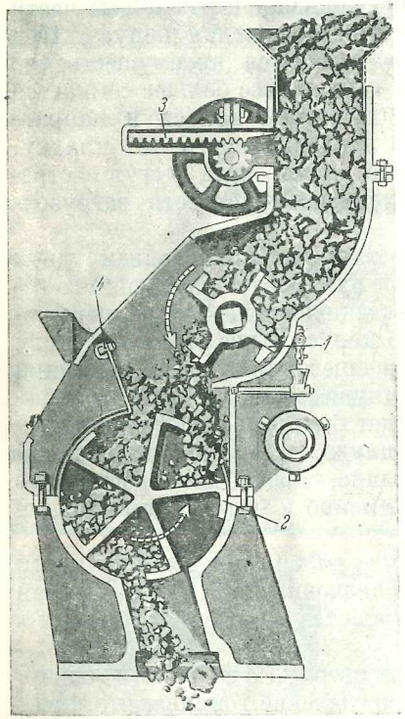
Размеры конуса и коробки должны соответствовать роду и размеру топлива и не должны быть слишком малыми. Направляющее кольцо подвержено износу от действия жара.

Рычаг, на котором висит конус, при опускании конуса описывает дугу, вследствие чего при опускании имеет место отклонение конуса от оси, что влияет на распределение топлива. Чтобы избежать этого

перекоса, иногда соединяют конус с рычагом не жесткой серьгой, а цепью с сегментом, или же делают специальные направляющие для конуса [1, 44].

Автоматические непрерывные питатели

Режим генератора меняется в зависимости от периодичности загрузки топлива. После засыпки топлива, особенно содержащего большое количество влаги и летучих, сначала сильно повышается влажность газа, потом газ обогащается летучими. Температура газа при этом падает. После этого увеличивается в газе количество окиси углерода и уменьшается количество летучих; температура газа повышается. Перед загрузкой генератор прогорает, в нем увеличивается содержание углекислоты, и температура его еще больше повышается. Таким образом генератор не имеет постоянного режима — непрерывно меняются температура, состав и теплотворная способность газа, что не отражается на потребителе газа лишь в случае наличия большого числа генераторов и смешения их газа. Кроме того при неплотности загрузочных устройств и выделении газа вследствие тяжелых условий работы для газовщиков ручная засыпка топлива происходит особенно неаккуратно.



79. Автоматический питатель Вельмана.

Стремление иметь равномерный, постоянный режим генератора и облегчить условия работы обслуживающего персонала привели к применению автоматических непрерывных питателей.

1. Питатель Вельмана. Из существующих и работающих в СССР следует отметить автоматический питатель Вельмана, установленный на механических генераторах Вельмана на нескольких стекольных и цинковом заводах (Константиновка) [56]. Этот аппарат (рис. 79) состоит из двух барабанов *1* и *2* с лопастями. Верхний барабан, имеющий четыре лопасти, регулирует количество засыпаемого угля. Нижний пятилопастный барабан служит затвором, засыпающим уже отмеренное количество угля. От бункера питатель отделяется заслонкой *3*. Барабаны *1* и *2* приводятся в движение посредством собачек и храповых колес. Периодически — через малые промежутки времени, практически — непрерывно оба барабана поворачиваются на некоторый угол; при этом уголь ссыпается. Над барабаном *2* подвешена заслонка *4*, снабженная противовесом, которая предохраняет карманы барабана *2* от переполнения углем. Угол поворота барабана *2* постоянен, угол же поворота барабана *1* можно изменять, тем самым изменяя количество засыпаемого угля (дозировка). Кожух имеет отверстия для осмотра и удаления посторонних тел. Для смачивания нижнего клапанного барабана в питатель подается небольшое количество воды.

При большого размера генераторах ставится по два питателя. Эти приспособления дают лишь непрерывное автоматическое питание. Равномерность распределения топлива по сечению достигается в этих генераторах комбинированным движением шахты генератора и шуровочного лома (см. ниже).

2. Питатель Чапмана. На рис. 91 представлен имеющий распространение в СССР аппарат для автоматической загрузки системы Чапмана. Аппарат работает следующим образом. Из трубы, связанной с бункером, уголь поступает в воронку, а из последней — во вращающийся барабан, разделенный перегородками на несколько частей. Соответственно вращению барабана уголь ссыпается в генератор. Барабан не только дозирует уголь и служит затвором, но и дробит слишком крупные куски угля, раздавливая их между кромкой перегородки и стальной отливкой, прикрепленной к воронке. Предохранитель на храповике, приводящем в движение барабан (срезывающаяся шпилька), устраняет поломки частей барабана.

Ссыпающийся из барабана уголь скользит по крутому скату и падает на стальной охлаждаемый водой конус, расположенный в центре генератора, которым и разбрасывается в разных направлениях. Опорное кольцо аппарата снабжено отклоняющими ребрами для попадания угля в середину генератора. Для этой же цели конус снабжен вырезами.

Движение барабану передается качающимся кривошипом, снабженным храповиком. Весь механизм приводится в движение от мотора в 2 л. с. с помощью системы зубчатых колес и шатуна. Этот же мотор приводит в движение и червячную передачу для вращения автоматического шуровочного приспособления (см. ниже).

Требуемая мощность для работы питателя составляет около 0,5 *квт* и для работы автоматического шуровочного приспособления около 1,0 *квт*.

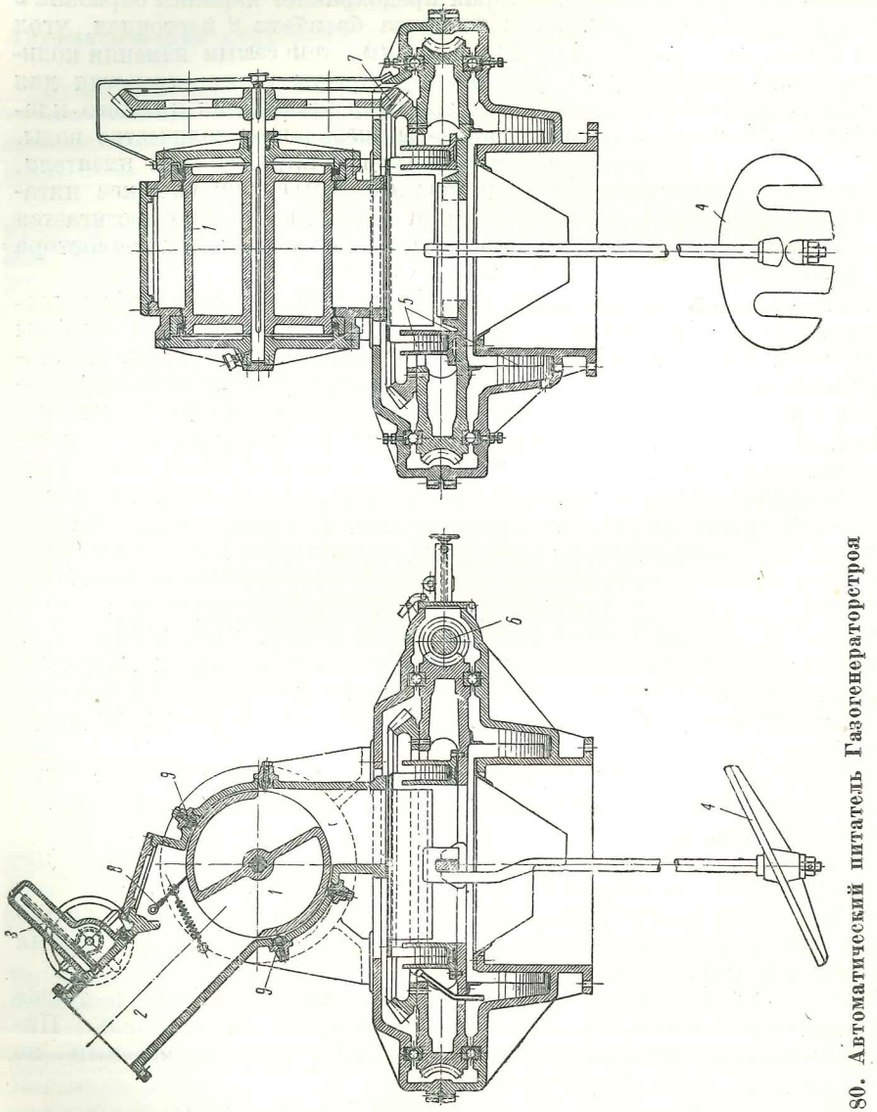
В подобном же автоматическом питателе Пауэр-Газ ось также отклонена от вертикали во избежание нагрузки на питатель. Питатель снабжен распределительным конусом, устанавливаемым по желанию и охлаждаемым водой.

Число карманов в барабанах может быть различное.

При увеличении числа карманов улучшается плотность, но увеличивается дробление и опасность застревания угля.

Для предупреждения излишнего дробления топлива загрузочные барабаны новейших автоматических питателей Чапмана снабжают только одним ребром.

3. Питатель Газогенераторстроя. На рис. 80 показан автоматический питатель Газогенераторстроя (инж. Карпова), представляющий собой улучшенное видоизменение питателей Хертей и Со-



80. Автоматический питатель Газогенераторстроя

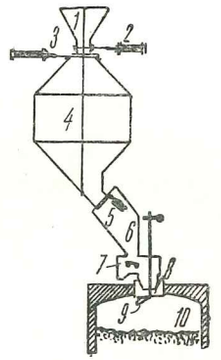
важон [54], установленных в СССР на шамотном заводе в Семилуках (рис. 152) и на Сталиногорском Химкомбинате.

Он представляет собой вращающийся барабан *1*, в который топливо попадает из бункера через боковой рукав *2*. Отделение рукава от бункера производится задвижкой *3*. Барабан благодаря регулирова-

нию скорости его вращения дозирует количество засыпаемого топлива и вместе с тем является затвором. Равномерность распределения топлива по сечению генератора достигается тем, что куски его из барабана попадают на вращающиеся пластину или конус *4*, от которых эти куски отскакивают и падают на различных расстояниях. Пластина или конус снабжены прорезями для попадания топлива в середину генератора.

Для создания одинаковых условий распределения топлива по всему сечению генератора распределительный барабан вращается не только вокруг горизонтальной, но и вокруг вертикальной оси. Барабан питателя отделен от внешней атмосферы водяными затворами *5*. Привод барабана — от червячной *6* и конической *7* передач. Червяк питателя приводится в движение с помощью храпового колеса, собачки и эксцентрика от трансмиссии. Основные изменения в аппарате: взамен воронки, находившейся над барабаном, сделан боковой рукав питателя, разгружающий до известной степени барабан; применена заслонка *8*, предупреждающая переполнение карманов барабана топливом, а также установлены уплотняющие планки *9*, предупреждающие утечку газа. Таким образом эта конструкция должна устранить основные недочеты — сильный пропуск газа и измельчение топлива. Кроме указанных загрузочный аппарат имеет и другие конструктивные особенности.

4. Питатели для топлив с кусками больших размеров. Несколько отличной должна быть конструкция автоматических питателей для топлив, состоящих из недробящихся кусков большого размера, например для торфяных брикетов или дров. В этом случае могут быть применены загрузочные устройства, снабженные конусами или иной формы клапанами, попеременно опускающимися и поднимающимися (или открывающимися и закрывающимися) и приводимыми в движение автоматически.



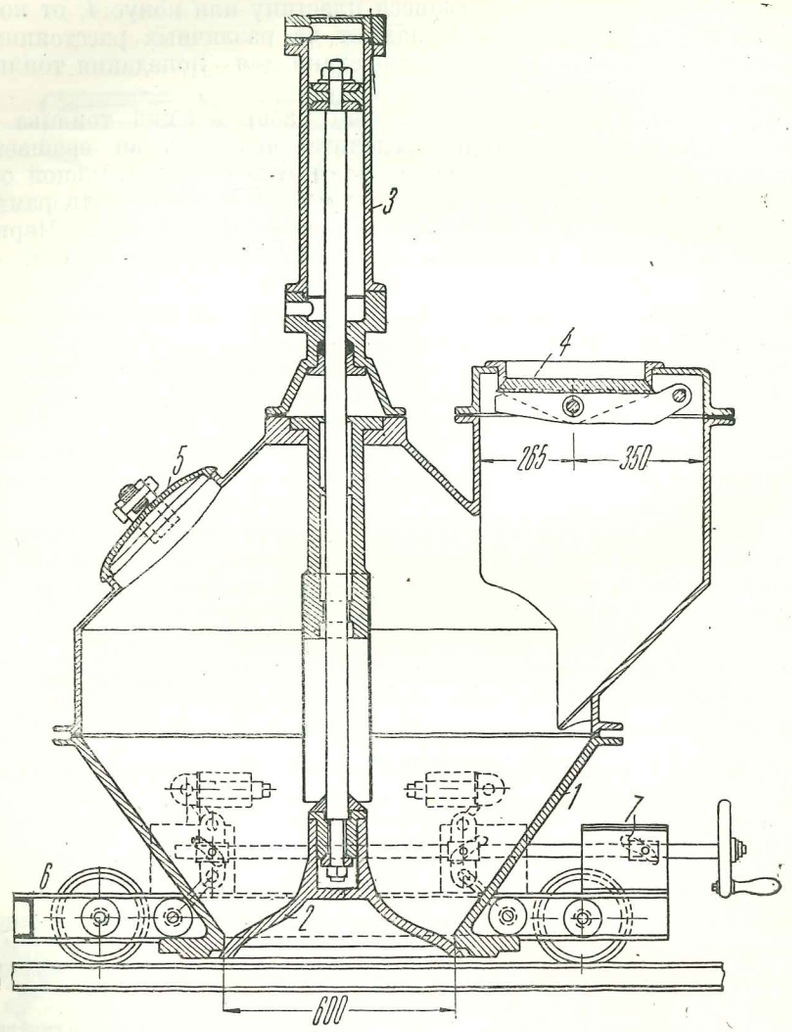
81. Автоматический питатель генератора водяного газа

Питатели для генераторов водяного газа

Особенное значение имеет плотность питателя в генераторах для получения водяного газа, работающих в условиях повышенного давления газа. Часто в этих питателях плотность достигается путем устройства промежуточного бункера, связанного с питателем и герметически отключающегося на некоторый промежуток времени от окружающего пространства [34].

На рис. 81 представлен автоматический питатель, применяющийся в некоторых генераторах для получения водяного газа и работающий следующим образом. Топливо из главного бункера *1* попадает в промежуточный бункер *4*, имеющий в случае непрерывной автоматической загрузки значительную емкость. Регулировка подачи топлива из бункера *1* производится клапаном *2*, а открытие отверстия про-

межуточного бункера — клапаном *3*. Отделение приемной камеры *6* генератора *10* от бункера *4* производится клапаном *5*. Цифрой *7* помечена плита, имеющая колебательное движение, с которой топ-



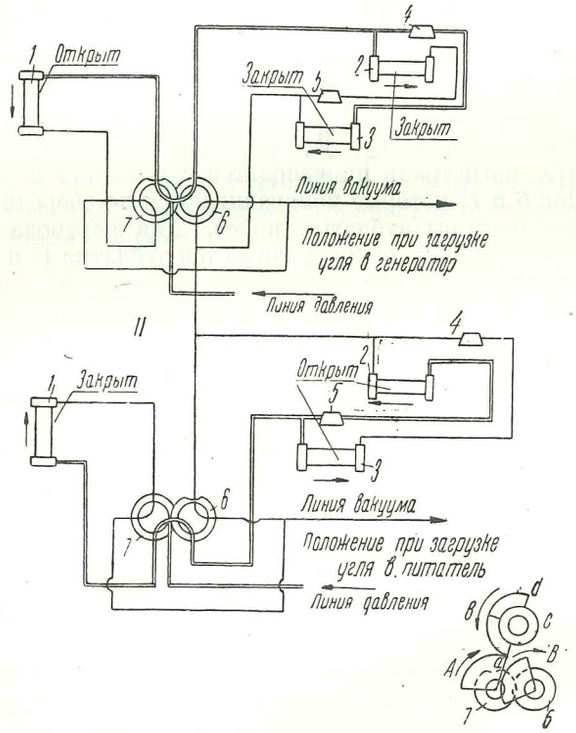
82. Питатель Говарда:

1—корпус питателя, *2*—нижний клапан—колокол, *3*—гидравлический цилиндр, *4*—верхний клапан питателя, *5*—люк, *6*—рама, *7*—приспособление для подъема питателя

ливо попадает на вращающуюся плиту *8* с жолобом *9*, распределяющим топливо по поверхности слоя в генераторе. Иногда жолоб делается с изменяющимся наклоном, чтобы можно было по желанию изменить распределение топлива.

В системе имеются три приводимых в движение с помощью сжатого масла клапана: один — у течки бункера и два — у отверстий (верхнего и нижнего) промежуточного бункера. Один из клапанов промежуточного бункера всегда закрыт. Клапаны сблокированы и открываются лишь в определенной последовательности.

Для водяного газа применяются также автоматические питатели, действующие один раз в цикл. Они дешевле, но менее обеспечивают



83. Схема управления работой автоматического питателя

1—гидравлический цилиндр распределительного конуса, *2*—гидравлический цилиндр клапана бункера, *3*—гидравлический цилиндр верхнего клапана питателя, *4* и *5*—распределительные золотники, *6* и *7*—четырехходовые краны

равномерность режима. Подобные питатели, применяющиеся в больших установках, управляются автоматически. На рис. 82 и 83 представлены питатель Говарда и схема автоматического управления его работой. Питатель Говарда представляет собой камеру, снабженную в нижней части распределительным клапаном-конусом для подачи топлива в генератор и для разобщения от генератора и в верхней части — откидным клапаном, отделяющим камеру от боковой вспомогательной камеры, в которую попадает топливо или непосредственно из

бункера или с весов. Вспомогательная камера в верхней части снабжена клапаном, разобщающим ее от бункера. При закрытом нижнем распределительном клапане питателя открывается верхний клапан и затем клапан бункера. Топливо заполняет камеру питателя, после чего закрывается клапан бункера и затем верхний клапан камеры питателя. При закрытых клапанах бункера и вспомогательной камеры опускается колокол питателя, и топливо засыпается в генератор. Периоды загрузки угля рассчитаны таким образом, что они совпадают с периодами дутья пара сверху, вследствие чего не происходит потери водяного газа. В период парового дутья все клапаны закрыты.

Управление клапанами происходит автоматически через систему золотников и гидравлических цилиндров, штоки которых связаны с гидравлическими магистралями давления и вакуума.

Как показано на рис. 83, переключение давления или вакуума на ту или иную магистраль производится с помощью двух четырехходовых кранов *6* и *7*, которые поворачиваются по очереди отдельным приводом через секторы зубчатых колес. Для перевода кранов из положения *I* в положение *II* поворачивается зубчатка *C* и по дуге *ab* поворачивает сектор *A* на 90°; кран *7*, связанный с сектором *A*, становится в положение *II*. Продолжая поворот, зубчатка *C* поворачивает по дуге *bd* сектор *B*, и тогда связанный с сектором *B* кран *6* переходит в положение *II*.

Гидравлический цилиндр *1*, переставляющий через шток поршня распределительный клапан-колокол, связан с четырехходовым краном *7*. Второй четырехходовой кран *6* обслуживает цилиндры *2* и *3*, переставляющие через штоки поршней клапаны бункера и вспомогательной камеры, связывающей бункер с питателем. Цилиндры *2* и *3* связаны через золотниковый распределитель *4* таким образом, что давление, создаваемое в цилиндре *2*, обслуживающем клапан бункера, только тогда передается в цилиндр *3*, обслуживающий верхний клапан питателя, когда клапан бункера уже закрыт (положение *I*). В положении *II* давление, создаваемое в цилиндре *3*, только тогда передается в цилиндр *2*, когда откроется верхний клапан питателя. Золотники *4* и *5* приводятся в движение от штоков поршней цилиндров и обратное перемещение получают с помощью пружин. Повороты четырехходовых кранов рассчитаны путем связи их дисками с выемками таким образом, чтобы не допускать соединения пространства газогенератора с атмосферой. Передача давления для открытия клапана бункера и верхнего клапана питателя возможна только после соответствующего поворота крана *7*, вызывающего закрытие нижнего клапана питателя.

В случае, если какой-либо клапан не дошел до конца по причине например застревания постороннего предмета, благодаря наличию соответствующего приспособления клапаны становятся автоматически в безопасное положение.

При наличии весов у бункера они являются одновременно и взвешивающим и дозирующим приспособлениями и устанавливаются под течкой бункера. Весы представляют собой железный ящик емкостью в 0,25 $м^3$, опирающийся на коромысло с подвижным противовесом. Весы снабжаются клапаном, отделяющим их от вспомогательной камеры. Работа клапанов в этом случае протекает [134] в следующей последовательности:

1) открывается секторный затвор у бункера, и топливо заполняет весы до тех пор, пока коромысло не поднимется кверху;

2) коромысло воздействует на гидравлический цилиндр затвора бункера, и он закрывается;

3) одновременно с закрытием затвора бункера автоматически производится регистрация веса;

4) открывается нижний клапан весов, и топливо попадает через вспомогательную камеру в питатель;

5) закрываются клапан весов и верхний клапан питателя;

6) опускается распределительный конус питателя.

Для удобства ремонта и монтажа питатель Говарда лежит на железной раме и может быть поднят и отведен по рельсам в сторону. Для плотности между питателем и горловиной генератора прокладывают асбестовый шнур.

Иногда во избежание излишнего разогрева частей питателей они снабжаются водяным охлаждением.

Предупреждение пропуска газа загрузочными приспособлениями

Одним из недостатков описанных загрузочных приспособлений является пропускание ими газов в объеме, по крайней мере соответствующем объему уплотняющего барабана. Неплотности барабана или клапана могут быть причиной еще большего проникания газов. Борьба с выделением газов может итти путем отвода этого газа вытяжкой из питателя, а также путем максимального уплотнения клапанов и частей питателя с помощью уплотняющих пружинящих планок, подтягиваемых конических барабанов и т. п.

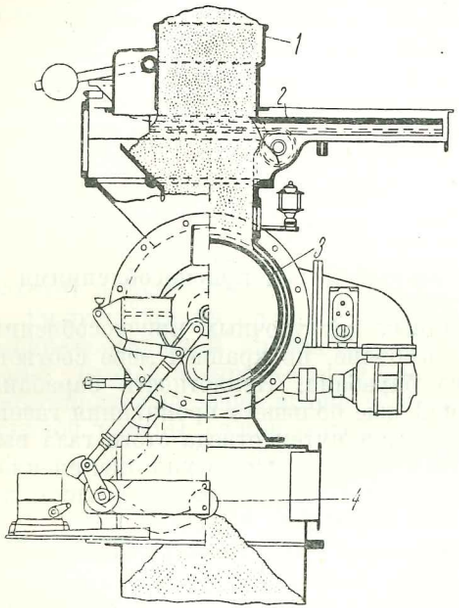
Хорошим, но дорогим способом борьбы с выделением газа является присоединение питателя к промежуточным бункерам.

Иногда верхний затвор в обычных коробках делают для плотности водяным. Вместо верхней крышки также можно применить конус, что позволяет засыпать топливо в коробку при двух закрытых клапанах и сбрасывать топливо с верхнего на нижний клапан в малый промежуток времени, а следовательно уменьшать сравнительно с обычным выделение газа через неплотности коробки.

В самых плотных коробках неизбежно просачивание газа в помещение загрузки при открывании верхнего клапана, так как при спуске топлива в шахту коробка заполняется газом. Иногда для вытеснения газа в шахту или предупреждения попадания газа в коробку подводят к загрузочным коробкам пар в двух местах — под конус и в самую коробку. Во время загрузки топлива из бункера в коробку, т. е. когда верхний затвор открыт, пар пускают под конус, и он предупреждает выбивание газа из генератора в коробку. После заполнения коробки топливом и закрытия верхнего клапана выключают подачу пара под конус и пускают пар в коробку. Пар заполняет коробку и при опускании конуса предупреждает выделение в нее газа.

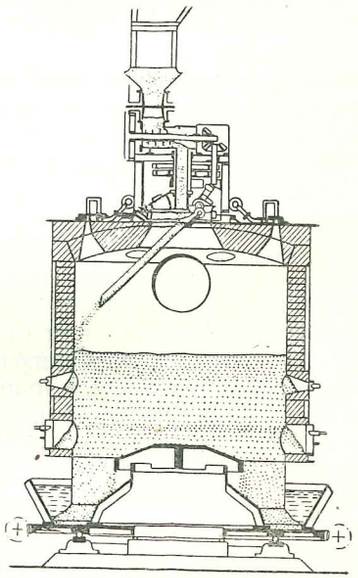
Поддержание постоянного уровня слоя топлива и предупреждение уноса пыли при питании

Во избежание переполнения генератора при автоматическом питании применяются различные приспособления, принцип устройства которых заключается в выключении питателя при достижении слоем определенного уровня [51]. Одно из подобных устройств представлено на рис. 84. Поплавок, будучи поднят слоем топлива выше определенного уровня, выключает питатель с помощью рычажного приспособления, связанного с питателем системой рычагов, или же



84. Питатель с поплавком для поддержания постоянного уровня топлива:

1—бункер, *2*—задвижка, *3*—питательный барабан, *4*—поплавок



85. Питатель с вращающимся жолобом

с помощью выключения электрического контакта и мотора питателя. При опускании поплавка питатель включается.

Во избежание пыления, происходящего при падении топлива в генератор, и для равномерного распределения топлива питатели иногда снабжают вращающимися наклонными жолобами, подающими топливо к самому слою.

Питание жолоба происходит через вращающуюся вместе с жолобом трубу. В конструкции, представленной на рис. 85 (Петер), имеется узкий жолоб, движущийся спиралеобразно через все точки поперечного сечения шахты. На рис. 86 показан генератор с жолобом, доходящим до верхней поверхности топлива и выравнивающим

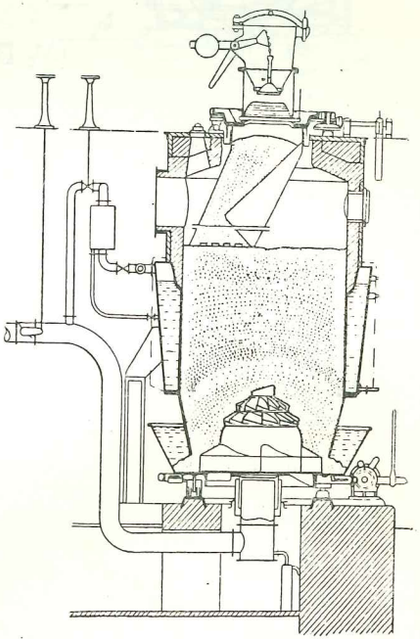
ее. На рис. 151 показан генератор с двумя жолобами, подающими топливо в середине и по периферии генератора.

Подобные распределители позволяют газифицировать мелкозернистые топлива. С помощью устройства, представленного на рис. 85, газифицировали бурый уголь.

Пыление избегается также при применении цилиндров, отделяющих газовое пространство от загружаемого топлива. Эти цилиндры также препятствуют сепарации топлива по размеру кусков — откатыванию крупных кусков к стенкам генератора (рис. 26, 62, 92).

11. ЗАТВОРЫ СМОТРОВЫХ И ШУРОВОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Для осмотра поверхности топлива в генераторе, замера зон и шуровки служат смотровые и шуровочные отверстия. При дровяном топливе (поленья) эти отверстия иногда делают в своде, но только для определения щупом уровня загрузки. При других топливах, особенно при сильно шлакующихся и спекающихся, отверстия приходится располагать в значительном количестве в своде или крышке генератора и в боковых стенках, чтобы возможно было шуровать любое место в генераторе. Эти отверстия делаются не слишком больших размеров для избежания сильного выделения газов, но достаточными, чтобы в них мог быть пропущен железный лом диаметром в 30—35 *мм*. Огнеупорная кладка вокруг отверстий должна быть скошена, чтобы ломом можно было коснуться края поверхности топлива, не повреждая кладки.



86. Генератор с жолобом, выравнивающим поверхность слоя топлива

Над отверстиями крепится чугунная арматура, расточенная по конической или шаровой поверхности; отверстия в арматуре прикрываются коническими или шаровыми пробками.

При шуровке топлива из шуровочных отверстий вырывается струя генераторного газа, что создает тяжелые условия обслуживания генератора, а иногда влечет сильные отравления рабочих. Особенно сильно выбивание газа при значительном положительном давлении у мест расположения шуровочных окон.

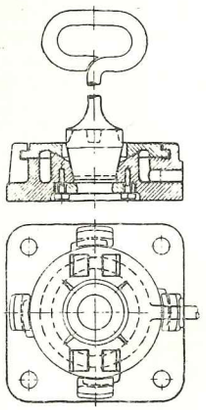
Мерами борьбы с выбиванием газа являются:

1) уменьшение ручной шуровки, что достигается применением автоматических шуровочных приспособлений, и

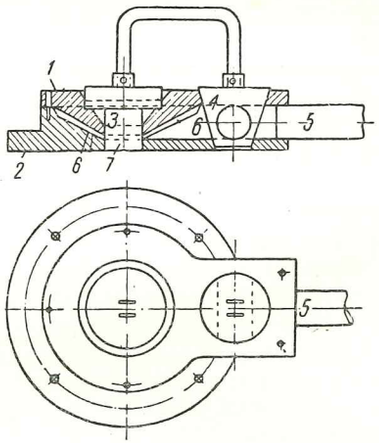
2) устройство шуровочных затворов, в которых струя газа перебивается струей сжатого пара или воздуха.

На рис. 87 изображен паровой затвор. Он представляет собой чугунную коробку, укрепленную над шуровочным отверстием. В коробке имеется узкий кольцевой канал для пара, сообщающийся несколькими канальцами с отверстием. При выемке пробки, закрывающей шуровочное отверстие, и открытии парового вентиля пар с давлением в 1—2 *ат* поступает с большой скоростью в шуровочное отверстие и образует завесу, препятствующую выходу газа.

Затворы генератора снабжаются паром от кольцевого паропровода.



87. Шуровочный затвор с паровой завесой



88. Затвор системы Шпецлера

Недостатками паровых затворов являются конденсация в паропроводах пара и быстрая порча мест уплотнения.

Иногда применяют воздушные затворы. В этом случае подается воздух, сжатый до 200—400 *мм* вод. ст.

На рис. 88 представлен затвор системы Шпецлера. Он состоит из двух частей *1* и *2* с двумя отверстиями, прикрытыми пробками *3* и *4*. Пробка *4* отключает воздухопровод *5* и при повороте на 90° включает его. Между частями *1* и *2* имеется полое пространство *6*, открывающееся в смотровое отверстие узкой сплошной щелью. При подъеме пробки *3* и отведении ее на 90° пробка *4* поворачивается, и воздух устремляется в пространство *6* и смотровое отверстие *7* и препятствует выходу газа из генератора, не попадая вместе с тем в генератор или попадая в него лишь в небольшом количестве. Для последней цели давление воздуха регулируется специальным вентилем.

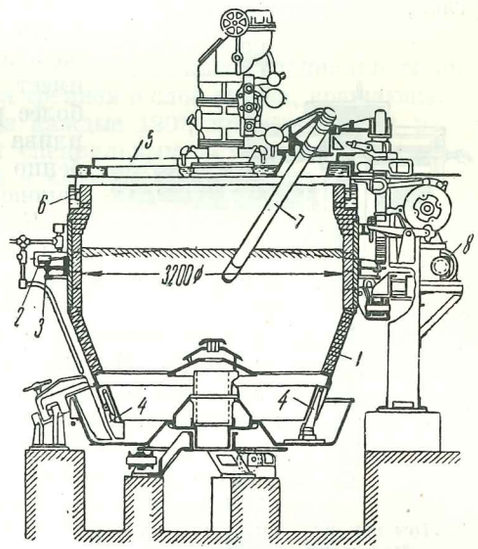
Недостатком воздушных затворов является образование пламени внутри генератора, что препятствует осмотру внутренности генератора. Кроме того при очень смолистых топливах давления воздуха недостаточно для предотвращения засмоления отверстий.

12. МЕХАНИЧЕСКИЕ ШУРОВОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Устройство и преимущества

Одной из самых тягостных работ на газогенераторах является ручная шуровка, которая имеет целью создание благоприятных условий для равномерного распределения газов, а именно: устранение прогаров, разбивание комьев спекшегося топлива и шлака, разравнивание слоя топлива.

При шуровке рабочий ворошит топливо ломом, разбивает комья шлака и топлива и разравнивает слой преимущественно через отверстия в своде или крышке генератора. При этом из генератора вырывается струя газа, отравляющая рабочего и препятствующая доброкачественной работе. Для предупреждения выбивания газа применяют паровые или воздушные затворы, которые однако не всегда исправно работают, а кроме того и в этом случае остается зависимость работы генератора от внимательности, уменья и надзора газовщика. Ручная шуровка имеет также недостаток периодичности и в результате этого—периодического изменения характера работы генератора. Дробление шлаков осуществляется до известной степени применением соответствующих конструкций решеток, эксцентричных или снабженных выступами. Что же касается разбивания спекшихся кусков топлива, удаления прогаров и разравнивания слоя топлива, то и для этой цели имеются хорошие и надежные конструкции, уменьшающие в большей или меньшей степени тяжелый ручной труд, а также дающие возможность иметь более равномерную работу генератора.



89. Генератор Вельмана

Для этой цели применяют движение в слое топлива специальных охлаждающихся водой приспособлений: ломов — в генераторе Вельмана (рис. 89), мешалок — в конструкции Чапмана (рис. 81) и гребков — в генераторе Моргана [4, 41, 56].

В качестве разравнивающего и шурующего топливо приспособления применяется также вращающая шахта генератора, обычно в комбинации с одним из вышеприведенных шуровочных приспособлений.

Полной замены ручной шуровки избежать механическими приспособлениями затруднительно, так как в этом случае выполняется

ряд различных операций, и поэтому работа механизмов контролируется и дополняется ручным обслуживанием.

Применение автоматических шуровочных приспособлений дает возможность увеличивать производительность генераторов на 30—50% сравнительно с обычным и обеспечивает хорошую и равномерную работу.

Генераторы с автоматическими загрузкой и удалением шлака и механическим шуровочным приспособлением называют механическими.

Преимущественно эти генераторы используются для каменных углей, обладающих способностью спекаться. Иногда их применяют и для других топлив — прочных и не распадающихся при нагревании, что имеет целью разравнивание слоя и более равномерное распределение топлива по сечению генератора, особенно в случае большого диаметра такового.

90. Лом генератора Вельмана

Как указывает В. Виндет [57] на основании практики работы генераторов в США, в генераторах с ручным обслуживанием высота слоя каменного угля составляет от 1100 до 2100 *мм*, а в генераторах механических — от 400 до 750 *мм*, причем интенсивность газификации возрастает от 40—75 *кг/м²час* при ручном обслуживании и до 250 — 500 *кг/м²час* при полностью механизированном.

В СССР подобные генераторы работают с высотой слоя каменного угля в пределах 600—1300 *мм*. Интенсивность газификации составляет 150—200 *кг/м² час*.

Разравнивание верхней поверхности топлива достигается также устройством предупреждающих пыление жолобов, подающих топливо в генератор и достигающих уровня слоя (рис. 86).

Шуровочный лом Вельмана

На рис. 89 представлено устройство механического шуровочного приспособления в генераторах Вельмана, состоящее из комбинации шуровочного лома и вращающейся шахты [4, 56].

Вращающаяся шахта *1* состоит из железного кожуха, футерованного шамотным кирпичом и снабженного для приведения во вращение шахты зубчатым венцом *2*. К венцу прикреплен рельс *3*, катящийся по роликам, закрепленным на кронштейнах опорных колонн. К конической части кожуха прикреплены подрезные ножи и скребки *4*, дробящие шлак. Крышка *5* генератора — стальная. С кожухом она соединяется с помощью водяного затвора *6*. Цифрой *7* обозначен расположенный эксцентрично шуровочный лом. Этот лом (рис. 90) охлаждается водой и движется взад и вперед, разрушая спекшиеся комья

и разравнивая слой топлива. Он приводится в движение с помощью зубчатого сегмента, с свою очередь приводящегося в действие посредством вала и кривошипа от мотора *8* (рис. 89). От этого же мотора приводится во вращение шахта. Наконечник шуровочного лома с течением времени срабатывается; поэтому он делается съемным и насаживается на основной корпус лома.

Частицы угля перемещаются под действием комбинированного движения шуровочного лома и шахты.

При вращении шахты частицы топлива увлекаются благодаря силе трения. Этому увлечению препятствует сила тяжести, и в середине генератора при его большом диаметре топливо неподвижно. Вращающиеся шахты книзу суживают повидимому в целях увеличения подвижности слоя топлива в средней части.

Вращающаяся на шаровой опоре чаша не имеет специального приводного механизма и увлекается трением о слой шлака, вращающегося с шахтой. Периодически через каждые 120°, примерно один раз в 4 мин., чаша останавливается специальным механизмом, и происходит ломка шлака скребками и выдавливание его в чашу.

Мешалка Чапмана

На рис. 91 представлен генератор с мешалкой Чапмана, обычно применяемой в комбинации с автоматическим загрузочным приспособлением [41,51].

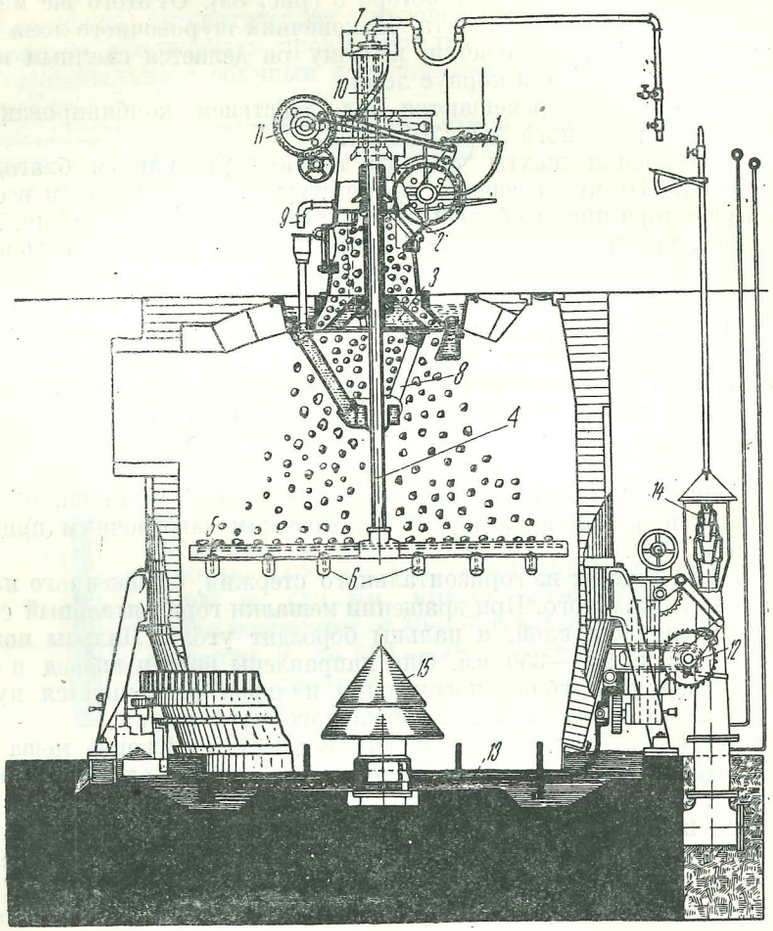
Мешалка состоит из горизонтального стержня, снабженного пальцами, и вертикального. При вращении мешалки горизонтальный стержень разравнивает слой, а пальцы бороздят уголь. Пальцы погружены в слой на 200—350 *мм*. Они направлены вниз и вперед в сторону вращения. Глубина погружения пальцев регулируется путем изменения величины груза, нагружаемого на мешалку.

Во втулке червячной шестерни, приводящей в движение мешалку, нарезаются по винтовой линии выступы, в которых ходит вертикальный стержень мешалки. При увеличении сопротивления движению мешалки, например при повышении слоя топлива, мешалка автоматически поднимается, и при понижении уровня топлива мешалка следует за ним.

Таким образом аппарат Чапмана допускает работу с переменным по высоте слоем топлива. Уровень мешалки может меняться в пределах 500—600 *мм*. Рейка, располагаемая у аппарата, указывает положение мешалки, а следовательно и слоя топлива. Охлаждающая аппарат вода поступает по трубке, снабженной гибким рукавом для возможности движения трубки с аппаратом. Вода проходит вертикальный и горизонтальный стержни мешалки, после чего идет на охлаждение конуса, распределяющего топливо, опорного кольца и втулки, служащей направляющей для вертикального стержня. В дальнейшем нагретая вода отводится на сторону. Расход воды составляет примерно 2—3 *м³/час*. Мешалка делает 6—7 об/час.

Это шуровочное приспособление может быть применено и в генераторах без вращающейся шахты, а также приспособлено к существующим генераторам, что является его достоинством.

Приспособление аппарата Чапмана к существующим конструкциям генераторов требует перекладки свода генератора.

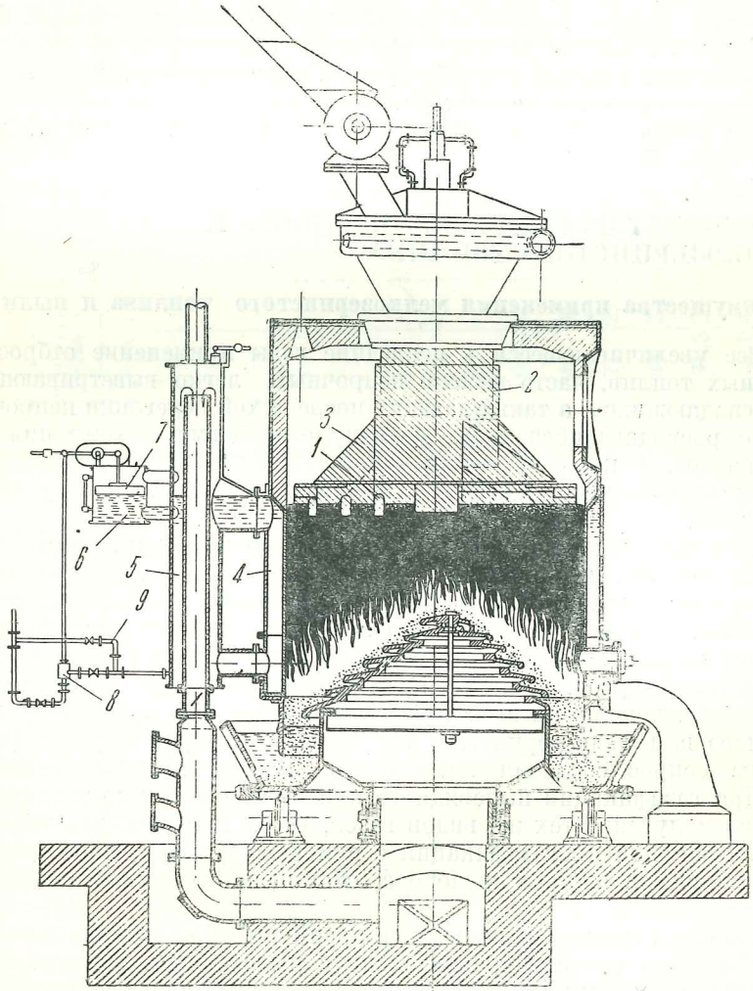


91. Генератор Чапмана:

1—воронка, *2*—барабан, *3*—конус, *4*—вертикальный стержень мешалки, *5*—горизонтальный стержень мешалки, *6*—зубья, *7*—подача воды для охлаждения мешалки, *8*—направляющая втулка, *9*—подача воды для охлаждения втулки конуса и опорного кольца, *10*—винтовая нарезка на стержне мешалки, *11*—привод загрузочного приспособления и мешалки, *12*—привод механизма золоудаления, *13*—брус-золоудалитель с пальцами для разрыхления шлака и винтовыми полосами для удаления шлака, *14*—инжектор, 15—дутьевой колпак.

Глубина погружения аппарата Чапмана в слой топлива зависит от крупности угля и его способности спекаться и устанавливается опытом. Вес дополнительного груза, устанавливаемого на аппарате,

составляет примерно 100 *кг*. Износ аппаратов не велик. Отмечаются случаи прогорания зубьев вследствие дефектов охлаждения.



92. Генератор с мешалкой Чапмана и цилиндром, препятствующим уносу пыли:

1—мешалка Чапмана, *2*—цилиндр, *3*—конус, *4*—охлаждающий кожух, *5*—паросборник, *6*—автоматический питательный клапан кожуха, *7*—поплавок, *8*—клапан, связанный с поплавком, *9*—обводной водопровод для ручного питания

В целях устранения пыли при питании в новейших конструкциях непосредственно под сводом или крышкой устанавливается цилиндр, из которого топливо постепенно ссыпается в генератор, и при этом пыль не подхватывается газовым потоком (рис. 92). Цилиндр выпол-

няется из жароупорного металла, выдерживающего без коробления температуры до 1100°.

В нижней части подвешенного цилиндра помещен конус, способствующий подаче топлива к периферийной части генератора. Горизонтальный стержень аппарата Чапмана снабжен помимо зубьев разравнивающей лопатой, способствующей равномерному распределению топлива по сечению генератора.

Шурующее действие мешалки Чапмана меньше, чем шуровочного лома Вельмана.

13. ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ПЫЛЕВИДНОГО И МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ТОПЛИВА

Преимущества применения мелкозернистого топлива и пыли

Все увеличивающееся в последние годы применение отбросов и местных топлив, часто весьма непрочных, легко выветривающихся и распадающихся, а также дающих после сухой перегонки непрочный, легко распадающийся кокс, выдвинуло проблему нахождения типа генератора, в котором мелкое топливо можно было бы газифицировать с достаточным эффектом в отношении качества газа и производительности генератора.

Стоимость топлива составляет весьма значительную часть себестоимости газа, и применение менее ценных топлив для газификации должно дать значительный эффект в отношении уменьшения стоимости газа. Поэтому проблема использования мелких распадающихся топлив важна не только с точки зрения увеличения народнохозяйственных ресурсов, но и с точки зрения удешевления стоимости газа. Большое значение имеет и то обстоятельство, что применение пылевидного или мелкозернистого топлива в некоторых случаях решает также вопрос создания генераторов высокой производительности.

При газификации пылевидного или мелкозернистого топлива возможно получение тех же видов газов, что и при обычных топливах, т. е. возможна их газификация с помощью воздуха, пара, паровоздушной смеси, чистого кислорода, обогащенного кислородом воздуха и углекислоты.

Следует отметить наличие ряда преимуществ в газификации мелкозернистого топлива сравнительно с пылевидным. Мелкозернистое топливо позволяет применять более высокую интенсивность дутья без опасения уноса частиц топлива газами. Оно увеличивает путь и продолжительность движения для более мелких частиц топлива, уносимых газом. Кроме того оно допускает использование отбросных топлив без их предварительного перемола, являющегося дорогостоящей операцией.

Применение мелкого топлива в обычных конструкциях генераторов

Мелкие топлива с малым содержанием пыли при однородном размере кусков довольно хорошо могут газифицироваться в обыкновенных генераторах, однако производительность последних мала. При-

Таблица 50

Газификация мелкозернистых топлив

Тип генератора	Род топлива	Состав топлива: H_2O	Состав топлива: зола	Теплотворная способность (в *ккал/нм³*)	Размер кусков топлива (в *мм*): <1 %	1—5 %	5-12 %	>12 %	Производит. (в *нм³/м³* (*час*))	Состав газа: CO_2	CO	CH_4	H_2	Низшая теплотвор. способн. (в *ккал/м³*)
Генератор G. M. B. H (Dresden)	Богемский бурый уголь 0—10-*мм*	30	7	4 500	—	—	—	—	79	5,1	25,2	2,3	16,5	1 409
	Антрацит 0—4-*мм*	13,5	16	5 520	—	—	—	—	53	4,8	22,3	—	—	—
	Биттерфельдский рядовой уголь	4,68	7	2 750	—	—	—	—	53	10,5	22,7	1,7	12,7	1 175
	Отброс дымогарных котлов	2,9	19,2	6 070	—	—	—	—	—	5,0	26,0	0,2	12,0	1 110
Генератор Пинча для мелочи	Коксовая мелочь	12	17	5 620	20	41	30	9	110	2,4	32,5	0,6	12,3	1 155
	»	15	15	5 570	34	50	16	—	105	5,9	26,1	0,6	11,3	1 130
Генератор высокого давления Керпели	Каменноугольная мелочь	9	15	5 650	11	50	34	5	130	5,2	26,7	1,9	15,0	1 350
	»	33	14	3 250	8	46	41	5	125	7,0	27,4	2,5	18,3	1 520
	» (лигнит)	20	12	4 560	4	71	23	2	105	10,0	21,9	2,0	22,2	1 410
Генератор Керпели	Антрацит—мелочь	8	20	5 800	6	44	29	21	170	4,3	28,3	0,3	11,0	1 160
	Бурый уголь	20,3	11,4	4 526	3,7	71,3	23,2	1,8	101	10,0	21,9	2,0	22,2	1 408
	» »	33,0	14,0	3 158	7,9	46,0	41,1	5,0	130	7,0	27,4	2,5	18,3	1 517

менение генераторов высокого давления с разделением воздушного дутья на мелкие равномерно распределенные струи не является достаточным решением вопроса вследствие затруднительности ведения режима, несмотря на хорошие результаты в отдельных случаях [1]. Пфейфером на Будапештском газовом заводе в генераторе высокого давления диаметром в 2,6 *м* при применении коксовой мелочи размером в 5—10 *мм*, с содержанием в 69,9% C, 19,48% золы и 7,36% H_2O был получен газ состава: 5,1% CO_2, 26,26% CO, 1,1% CH_4, 10,82% H_2 и 56,56% N_2, с низшей теплотворной способностью в 1171 *кал/м³*. Выход газа составил 3,7 *м³/кг*, и производительность генератора — 508 *кг/час*, что соответствует напряжению поперечного сечения в 96 *кг/м² час*. Расход пара составлял 0,484 *кг* на 1 *кг* топлива. Температура газа составляла 315°. В теплотворной способности газа было 67,75% [1] теплотворной способности топлива; в горючем — в золе — 6,88%; в пыли — 0,42%; в тепле нагрева газа — 5,55%; в потере в окружающую среду — 15,46%.

Другие данные о работе на мелком топливе обыкновенных и высокого давления генераторов приведены в табл. 50.

Специальные конструкции генераторов для пыли и мелкого топлива

По совершенно новой в принципе идее Тимма во вращающейся печи топливо в пылевидном состоянии сжигается в CO_2 и восстанавливается остальным топливом в CO, что не нашло применения.

В последнее время техническая мысль стала на путь газификации топлива в интенсивно движущемся токе газов или во взвешенном состоянии.

Из подобных более старых предложений следует указать на генератор Хирта, в кольцевую камеру которого в нижней части тангенциально вдувается смесь угольной пыли и воздуха. В середине по высоте камеры у местного сужения к раскаленным газам добавляется четырьмя соплами пар, понижающий температуру газа в результате взаимодействия с уносимыми частицами раскаленного топлива. Процесс газификации заканчивается в верхней части кольцевой шахты. Газы отводятся через внутреннюю камеру.

Из других подобных более новых предложений применения в генераторах пыли или мелкосортного топлива следует отметить предложения Геллера и Винклера, подвергшиеся опытной и даже промышленной проверке и описанные ниже.

По способу, предложенному Балеем [58], при получении водяного газа из пылевидного топлива тепло, необходимое для подогрева смеси угольной пыли и перегретого пара, приобретается в регенеративных камерах, выложенных насадкой.

Уголь распыливается током сильно перегретого пара и падает на поверхность кокса или насадки с температурой 1400—1600°. Пыль разлагается, остающиеся частицы коксовой пыли дают с водяным паром водяной газ, происходит быстрая газификация без образования кокса. Этот способ может быть изменен таким образом, что перегретый пар непосредственно получается в насадке. Смесь водяного газа и продуктов перегонки пропускается через раскаленный регенератор и коксовый генератор, масса которого нагрета выше 1400°, и смола разлагается. Полученные газы подводятся к котлу-утилизатору, оттуда к фильтру, где задерживаются угольные частицы, и далее к местам потребления. При опытах в 1906 г. из 1 *кг* угля с теплотворной способностью в 7650 *кал/кг* получалось 1,65 *м³* газа с теплотворной способностью 4100 *кал/м³*.

Опыты получения водяного газа из буроугольной пыли производились Герцбергом [37]. В вертикальную камерную, обогреваемую снаружи, печь сверху вдувалась буроугольная пыль; пар подавался снизу. Из 1 *т* пыли с влажностью в 10% получалось 2200 *м³* газа состава: CO_2 — 6,1%, C_mH_n — 0,7%, O_2 — 0,4%, H_2 — 48,4%, CO — 33,5%, CH_4 — 4,7%, N_2 — 6,2%, с высшей теплотворной способностью в 2800 *кал/м³*. В последние годы в СССР проведен и находится в стадии организации ряд опытов по газификации пыли и мелкозернистого топлива.

Следует также отметить организацию опытов по газификации пыли подмосковного угля в целях получения безметанистого газа. Расчет на получение такового базируется как на высоких температурах в генераторе, так и на соответствующих свойствах золы подмосковного угля.

Генератор Геллера

В последние годы были произведены опыты получения водяного газа из пылевидного топлива в генераторах непрерывного действия системы Геллера [38].

Генератор Геллера имеет вид лежащего цилиндра и состоит из комбинации нагревательных и газовых камер, разделенных вертикальными стенками.

Подобный опытный газогенератор, состоящий из двух газовых камер и трех нагревательных, осуществленный на берлинском газовом заводе, представлен на рис. 93.

Нагревательные камеры *2*, более широкие (350 *мм*), чем газовые *1* (250 *мм*), охвачены парой кольцевых каналов *3*, через которые проходят подогретые до 500° газ и воздух. Газ и воздух поступают в камеры через тангенциально направленные парные сопла *4*. Продукты сгорания отводятся вверху через дымоход *5*. Газовые камеры *1* сообщаются отверстиями *7* с коллектором газа *6*. Водяной газ отводится каналом *8*.

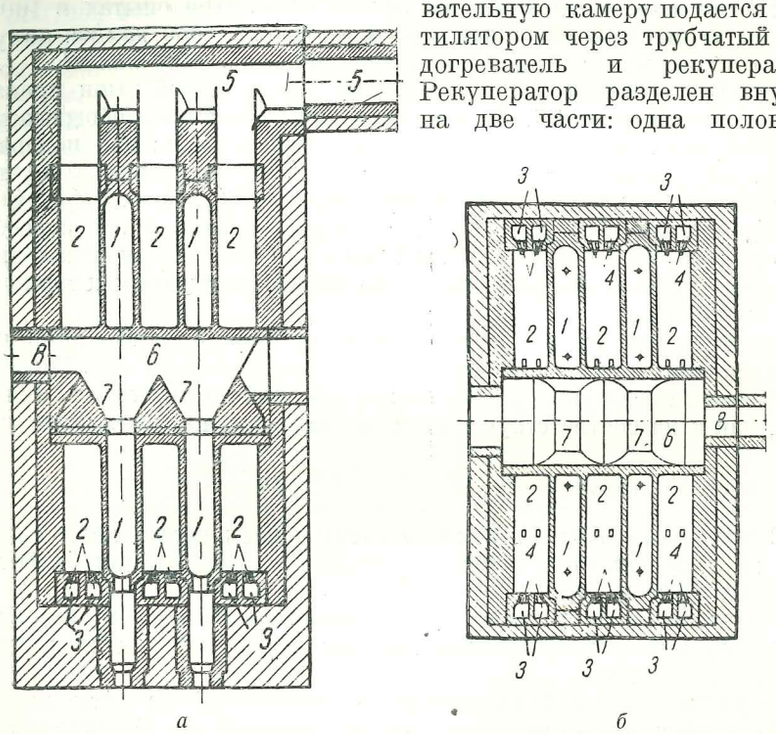
На рис. 94 представлен разрез по нагревательной камере (обозначения те же), и на рис. 95 — разрез по газовой камере. Газовая камера сообщается с каналом *6*, отводящим газ и переходящим в канал *8*. Кладка цилиндра снабжена отверстиями *9*, через которые подается перегретый пар; через сопло *10* вдувается горючая пыль, образующая при температуре выше 1000° водяной газ. Очажные остатки, находящиеся в пылевидном состоянии, увлекаются вместе с газом и

[1] Расчет по высшей теплотворной способности.

осаждаются в циклоне. Имеющийся в опытном газогенераторе отвод для золы и шлака в нижней части шахты оказался ненужным.

Угольная пыль подается паровым инжектором в трубку из огнестойкого металла и из последней тангенциально — в газовую камеру. В камере имеет место интенсивное вращательное движение водяного пара и угольной пыли, и получается водяной газ.

Схема работы опытной установки следующая. Воздух в подогревательную камеру подается вентилятором через трубчатый подогреватель и рекуператор. Рекуператор разделен внутри на две части: одна половина



а *б*

93. Генератор Геллера

а—продольный разрез, *б*—план

служит для подогрева воздуха, другая — для подогрева газа. Воздух и газ подогреваются до 600°. Продукты сгорания с температурой 1200° поступают в рекуператор, потом обтекают воздухоподогреватель и удаляются вентилятором в дымовую трубу.

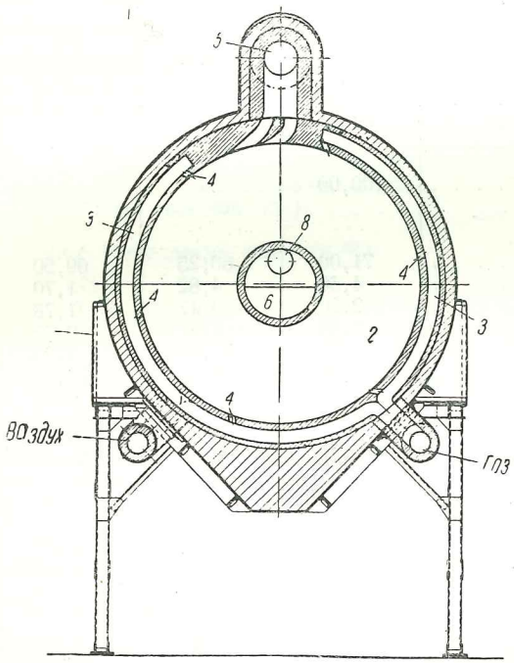
Полученный водяной газ, имеющий температуру 700—900°, отводится к футерованному циклонному пылеотделителю, где бо́льшая часть взвешенной золы выделяется. Отсюда газ проходит пароперегреватель, обогреваемый за счет физического тепла газа. Окончательные охлаждение и очистка от пыли газа происходят в промывателе. Очищенный газ нагнетается через счетчик в магистраль водяного газа.

Генератор может отапливаться получаемым водяным газом.

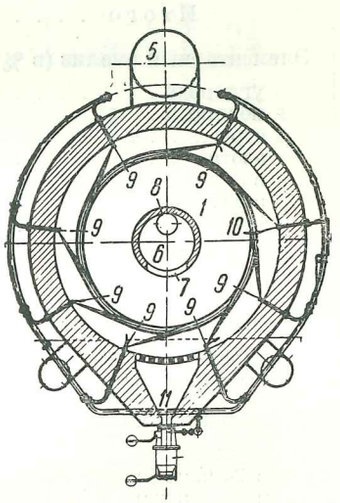
Проведенные в течение нескольких недель опыты указали на полную техническую возможность процесса. Затруднения встретились преимущественно в очистке газа от пыли и подводе пыли в генератор.

Может быть принято, что при данном способе получения водяного газа из 1 *кг* бурого угля, высушенного до содержания 15% влаги,— можно получить 2 $м^3$ водяного газа, а из 1 *кг* кокса с 2% влаги— 2,5 $м^3$. Газ состоит из 50—55% H_2, 30—40% CO и имеет теплотворную способность в 2400—2800 $кал/м^3$.

Данные о работе опытной установки приведены в табл. 51.



94. Нагревательная камера генератора Геллера



95. Газовая камера генератора Геллера

Газогенераторы Винклера

Значительных успехов в газификации топлива во взвешенном состоянии добились в Германии на заводах фирмы «I. G. Farbenindustrie» на генераторах Винклера [60, 61] (рис. 96, 97 и 98).

По патентам фирмы и другим данным, дутье вдувается в генератор снизу через большое количество мелких отверстий, распределяется равномерно по сечению генератора и приводит весь слой топлива в движение, напоминающее кипение жидкости. Кусочки топлива как бы плавают в подвижной среде, в которой они то выбрасываются кверху, то падают вниз.

Свежезагруженное топливо, имеющее больший удельный вес, чем кокс, падает вниз, коксуется и всплывает. В результате имеют место хорошее перемешивание топлива и газов и равномерное и интенсивное

Таблица 51

Результаты газификации пылевидного угля, лигнита и лигнитового кокса в генераторе Геллера

	Уголь	Лигнит	Лигнитовый кокс
Технический анализ (в %):			
влаги	1,30	10,85	—
летучих	25,60	—	—
золы	12,00	8,56	—
беззольного кокса	61,10	—	—
Итого	100,00	—	—
Элементарный анализ (в %):			
углерода	71,00	60,25	69,50
водорода	4,60	4,82	1,70
серы	2,20	0,47	1,78
азота	1,40	0,87	0,60
влаги	1,30	10,85	5,00
золы	12,00	8,56	20,72
кислорода	7,50	14,18	0,70
Итого	100,00	100,00	100,00
Теплотворная способность (в *кал/кг*):			
низшая	6 848	5 680	5 875
высшая	6 953	6 000	5 960
Производительность			
топлива:			
в 24 часа (в *т*)	1,70	1,87	1,642
в час (в *кг*)	70,80	78,00	68,50
водяного газа (в $м^3$):			
в 24 часа	4 560	4 640	4 780
в час	190	193	199
Выход водяного газа (в $м^3/кг$)	2,68	2,48	2,92
Генераторный газ для нагревания:			
высш. теплотв. способн. (в $кал/м^3$)	1 200	1 160	1 180
потребление в 24 часа (в $м^3$)	6 120	8 730	8 250
потребление на 1 $м^3$ водяного газа (в $м^3$)	1,34	1,88	1,72
Потребление пара:			
давление (в $кг/см^2$)	3,60	3,20	3,80
расход в 24 часа (в *кг*)	1 530	2 135	2 455
» » 1 час (в *кг*)	63,60	89,00	102,50
» на 1 *кг* топлива (в *кг*)	0,90	1,14	1,48
давление в соплах (в $кг/см^2$)	0,80	0,70	1,10
средняя температура перегрева пара (в °С)	370	385	380

Таблица 51 (продолжение)

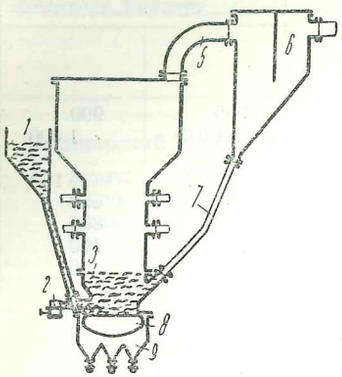
	Уголь	Лигнит	Лигнитовый кокс
Температуры и давления:			
средняя температура (в °С):	970	995	990
в газовой камере	1 020	1 035	1 000
водяного газа	1 165	1 180	1 180
отходящих газов при входе в рекуператор	640	680	650
воздуха для горения	720	810	805
генераторного газа	155	165	150
дымовых газов у трубы	—3	—4	—6
давление в реакционной камере			
» » подогревательн. камере (*мм* вод. ст.)	—3	—3	—4
Состав отходящих газов (в %):			
CO_2	19,6	18,8	19,2
O_2	0,5	1,2	1,2
N_2	79,9	80,0	79,6
Итого	100,00	100,00	100,00
Данные по водяному газу			
Состав (в %):			
H_2S	1,2	—	—
CO_2	7,0	9,8	8,2
O_2	0,2	0,4	0,2
CO	31,4	27,6	33,8
H_2	53,2	51,8	53,6
CH_4	1,4	5,0	0,4
N_2	5,6	5,4	3,8
Теплотворн. способность (в $кал/м^3$):			
подсчитанная	2 630	2 895	2 700
замеренная	2 700	—	—
Содержание пыли (в $г/м^3$)	0,165	0,038	0,032
К. п. д. генератора	64,5	63,0	66,2
Термический к. п. д.	61,0	58,8	61,4

протекание процесса. Крупных кусков шлака не образуется, так как происходит постоянное перемешивание слоя; кроме того, так как удельный вес шлака больше удельного веса угля, шлак быстро падает на решетку и охлаждается на ней поступающим воздухом. Не происходит также и спекания угля, так как свежезаброшенное топливо попадает в слой раскаленного кокса, по которому равномерно распределяется и в который погружается.

Как указывает Краух [37], явление движения частиц, подобное движению жидкости, объясняется тем, что частицы топлива бурно

выделяют газы и поэтому окружены газовой пленкой, допускающей легкое перемещение частиц друг около друга.

Винклер впервые наблюдал движение мелких частиц угля при интенсивном дутье смеси газа и воздуха в трубке, в которой слой топлива имел высоту в 10 *см* и лежал на решетке из кусков огнеупорной глины, уменьшающихся по размеру кверху.



96. Генератор Винклера:

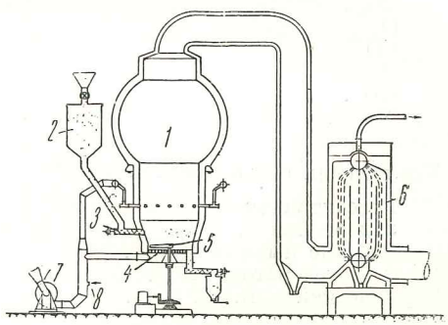
1—бункер для мелочи, *2*—механизм для подачи топлива в генератор, *3* — слой топлива в генераторе, *5*—отвод газов, *6*—пылеуловитель, *7*—трубопровод для возврата пыли в генератор, *8* — решетка, *9* — бункер для золы

После соответствующих исследований был построен генератор сначала с площадью в 4 $м^2$ и позднее (представлен на рис. 96) — с площадью решетки в 12 $м^2$.

При производстве в подобном генераторе опытов с коксовой мелочью изобретателями был получен воздушный газ состава: CO — 19% и CO_2 — 2% и водяной газ состава: CO — 43%, H_2 — 45% и CO_2 — 2,5%.

Учитывая, что вследствие большой скорости дутья газом увлекается много топлива, вместо того чтобы улавливать угольную пыль промывкой газа или электрофильтром, изобретателями предложено подавать над слоем топлива нагретый до высокой температуры воздух, газифицирующий взвешенные в газе частицы. Подвод нагретого воздуха вверху способствует также быстрому повышению температуры в генераторе.

По приводимому изобретателями примеру, в генераторе с площадью в 4 $м^2$ при буром угле с 10% влаги в нижней части генератора подводится 4500 $м^3$ воздуха. Для газификации унесенных мелких частиц в верхней части генератора вдувается еще 600 $м^3$ воздуха с температурой 900°. Полученный газ имеет состав: N_2—56%, CO—26%, H_2 — 10%, CO_2 — 4,4%, CH_4 — 0,8% и еще содержит 10 *г* пыли на 1 $м^3$ газа.



97. Новейшая установка генератора Винклера:

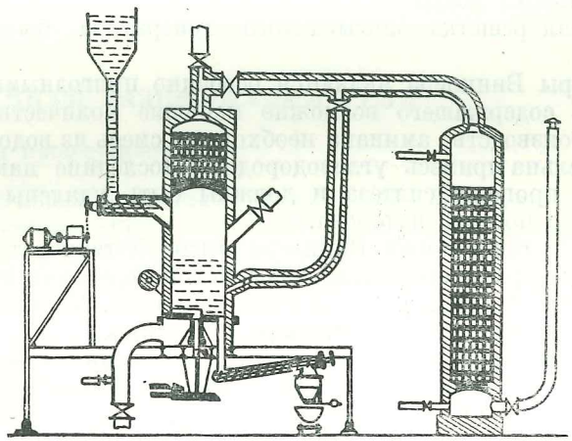
1—генератор, *2*—бункер с подсушенным углем, *3*—шнек, *4* — решетка, *5*—побудитель для золоудаления, *6*—котел-утилизатор, *7*—воздуходувка для воздуха и кислорода, *8*—подача пара

Воздух и пар могут подаваться в генератор или под давлением или с помощью всасывания. Последнее имеет то преимущество, что при

этом не требуется замкнутой колосниковой решетки — она может быть открытой и доступной; кроме того в случае взрыва замкнутая камера повреждается, а для открытой взрыв проходит без следа.

Тепло, уносимое газом, может быть использовано для получения пара, нагрева и частичной газификации влажного угля, а также для подогрева вводимых в генератор пара и воздуха.

В установке с использованием физического тепла газа последний при вдувании воздуха имел состав: CO_2 — 5%, CO — 24%, H_2 — 8%, CH_4 — 2% и N_2 — 61%; температура газа составляла 1000° и значительно понижалась в дальнейшем за счет испарения влаги и подогрева топлива, содержащего 55% влаги.



98. Генератор Винклера для получения водяного газа периодическим процессом

При вводе соответственно подогретых пара и воздуха был получен газ состава: CO_2 — 18%, CO — 21%, H_2 — 40% и N_2 — 21%.

В генераторе, представленном на рис. 96, расстояние между решеткой и выходным отверстием равно 13 *м*. Топливо поступает из угольного бункера к шнеку и из последнего подводится в генератор, в котором высота слоя топлива составляет 1,7 *м* (вообще до 2 *м* и больше). Подаваемое топливо быстро распределяется по сечению генератора. Выделяющиеся из топлив смолы разлагаются раскаленным углем.

В верхнюю часть генератора вводится подогретый воздух.

Верхняя часть генератора уширена, что способствует выпадению пыли в генераторе. Из генератора газ поступает в пылеуловитель, в котором выпадают уносимые с газами частицы топлива, возвращаемые в генератор.

Производительность этого генератора составляла 40 000 $м^3$ газа с теплотворной способностью в 1050 $кал/м^3$.

В установках фирмы «I. G. Farbenindustrie» генераторы Винклера использовались для получения как смешанного, так и водяного газа.

Из буроугольного кокса, содержащего 6% влаги и 20% золы, можно было получить в час 6000 $м^3$ водяного и 30 000 $м^3$ воздушного газа без применения перегретого пара.

В генераторах Винклера был с успехом применен непрерывный процесс работы на парокислородном дутье, избавивший от получения воздушного газа. Для целей синтеза аммиака применялось обогащенное кислородом дутье. Этот вид дутья был использован в представленном на рис. 96 генераторе, в котором сначала применялся буроугольный кокс, а потом мелкозернистый бурый уголь. Получавшийся газ содержал около 10% CO_2, 41% CO, 27% H_2, 21,6% N_2 и только 0,4% CH_4. Он оказался значительно более дешевым, чем газ из буроугольного кокса.

Подвижная решетка описываемого генератора была заменена шнеком.

Генераторы Винклера являются особенно пригодными для получения газа, содержащего возможно меньшие количества углеводородов. В производстве аммиака необходима смесь из водорода и азота и не желательна примесь углеводородов. Последние накапливаются в круговом процессе синтеза и должны быть удалены продувкой, что связано с потерей водорода.

Наличие в генераторах Винклера высокой температуры по всей высоте генератора и отсутствие зоны сухой перегонки обеспечивают распадение углеводородов, в том числе и метана. Количество последнего в газе из генераторов Винклера не велико.

В производстве метанола необходима смесь из водорода и окиси углерода. Здесь примеси азота и углеводородов приводят к загрязнениям циркуляционных газов и являются нежелательным баластом. Путем применения кислородного дутья и непрерывного получения газа может быть избегнуто примешивание азота к продувочным газам.

Конструкция генератора Винклера, служащего для получения силового газа и газа, необходимого для производства аммиака, представлена на рис. 97.

В генератор подается предварительно подсушенный мелкозернистый бурый уголь. Газификация происходит примерно при 1000°. Увлеченные газами частицы подвергаются газификации в верхней части генератора путем подвода в этой части дутья. Физическое тепло газов используется в котле-утилизаторе.

Путем применения воздушного или паровоздушного дутья можно получить силовой газ; путем применения азотно-кислородной смеси, содержащей 50% кислорода с примесью пара,—азотно-водородную смесь для синтеза аммиака и путем применения парокислородного дутья—почти свободный от содержания азота газ для получения водорода.

При площади генератора в 20 $м^2$ производительность его составляет 75 000 $м^3/час$.

В последнее время в генераторе Винклера производятся опыты получения водяного газа периодическим путем, основанные на следующих принципах.

Генератор (рис. 98) снабжается насадкой, аккумулирующей тепло. Воздух в период воздушного дутья производит лишь незначительное движение слоя топлива. Большое количество воздуха вдувается в верхней части генератора с небольшой скоростью и направляется на слой топлива. Получаемый газ содержит 16—18% углекислоты. Температура слоя в течение 5 мин. повышается до 1100°. Тепло получаемого газа используется для нагрева насадки вверху генератора и каупера. В период парового дутья, которое производится только сверху вниз, в каупер вдувается перегретый пар, и в это же время в генератор загружается шнеком уголь. Попадая в раскаленный слой, уголь быстро подвергается сухой перегонке; образующиеся газы примешиваются к водяному газу.

Удаление шлаков производится шнеком.

14. ПОДЗЕМНАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЯ

Сущность и преимущества

Одним из новейших методов газификации топлива является подземная газификация, опыты с которой в настоящее время проводятся в СССР. Этот способ получения газа сулит значительные выгоды в силу возможности при нем избежать дорого стоящих добычи, сортировки и транспорта топлива и создать центральные базы по снабжению районов газовым топливом и энергией (газовые турбины), а также ввиду увеличения благодаря ему топливных ресурсов страны вследствие возможности газификации нерабочих или нерентабельных для обычной выработки пластов.

Важность и возможность решения проблемы подземной газификации отмечались еще Д. И. Менделеевым и В. Рамзеем. Последним были даже разработаны схемы соответствующих устройств.

Подземная газификация заключается в газификации топлива на месте залегания его. Все описанные выше трудности газификации углей свидетельствуют о наличии весьма серьезных проблем в вопросе подземной газификации, заключающихся в подготовке самого пласта, организации подачи дутья, разжигании целика, ведении самого процесса газификации и его контроля и т. д.

Условия проведения подземной газификации, если к ним подходить с теми же методами, что и к надземным газогенераторам, очень сложны, однако, как отмечает проф. Д. Г. Цейтлин [59], при подземной газификации возможно обойтись без сортировки топлива по размеру кусков, без дробления слоя, без решетки и даже без шуровки путем газификации топлива с поверхности.

При подземной газификации надлежит учитывать особенности залегания пластов: наличие подземных вод, свойства кровли и т. д.

Способы подземной газификации

Проф. Д. Г. Цейтлин разбивает предложенные методы подземной газификации на три группы [59]. К первой группе он относит бесшахтный метод газификации. По этому способу газификация должна

производиться без проходки шахты и без каких-либо подземных горных работ. Разжиг пласта производится с помощью одной или нескольких буровых скважин. Ведение процесса осуществляется путем вдувания дутья и отсасывания газа через скважины.

Так как изучение ряда факторов, имеющих значение в подземной газификации, как то: поведения кровли при выгорании пласта, степени использования месторождений, скорости продвижения и положения огневого забоя, требует проникания в недра, ряд предложений предусматривает некоторое осложнение бесшахтного метода проведением какого-то минимума подземных работ. Подобный метод работ — в основном бесшахтный, но предусматривающий и некоторые подземные работы, необходимые лишь для обеспечения возможности проведения наблюдений и опытов,—проф. Цейтлин относит ко второй категории, называя его комбинированным или полушахтным. При описанных двух группах работ управление процессами газификации осуществляется с поверхности земли.

Третья категория методов подземной газификации — шахтных — предусматривает проведение для целей подготовки пласта и управления процессами более сложных и капитальных подземных работ. По этим методам разжиг пласта и управление процессами осуществляются из подземных выработок, что связано с необходимостью пребывания людей под земной поверхностью. Подобные методы требуют значительной затраты времени и средств.

По бесшахтному методу, предложенному В. Рамзеем, по простиранию пласта закладываются вертикальные буровые скважины с обсадными трубами. В обсадные трубы вставляются одна или две трубы меньшего диаметра для воздуха и водяного пара. Отводящая газы обсадная труба выводится на несколько метров выше уровня земли в газгольдер. Воздушная труба связана с воздушным компрессором и паровая — с паровым котлом.

Зажигание пласта предусматривается электрическим током. Газификация производится путем подвода воздуха и пара, допуская получение воздушного, смешанного и водяного газов.

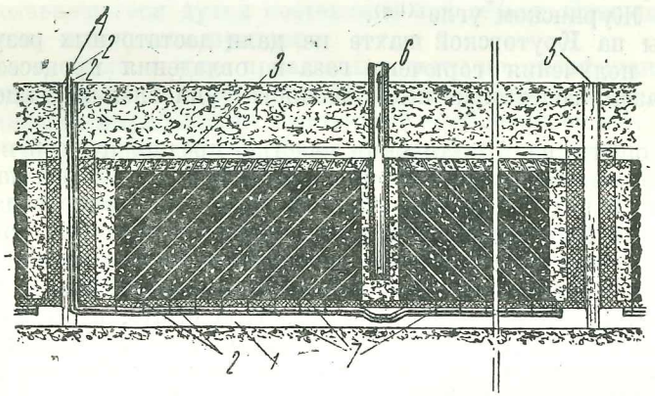
Бесшахтный метод, предложенный Московским горным институтом, заключается в прохождении ряда вертикальных буровых скважин, соединяемых между собой одной или несколькими наклонными скважинами, пройденными по пласту. Скважины служат для зажигания пласта, подведения воздуха и водяного пара а также для выдачи газа на поверхность. Зажигание пласта осуществляется с помощью электрического тока.

По другим бесшахтным методам предлагается применение зажигания пласта с помощью газа, использование кислородного дутья, прохождение скважин с помощью выжигания и т. д.

Сущность одного из предложенных шахтных способов (инж. Кириченко) [62] заключается в следующем (рис. 99).

Снизу целика проводится коренной штрек *1*, в котором прокладываются воздухо- и паропровод *2*. Сверху целика проводится огневой штрек *3*. Проводка труб (для дутья) сверху производится или через подъемную шахту *4* или через вентиляционную шахту *5*. Вывод газов на поверхность производится с помощью огневой шахты *6*. В нижней части огневой шахты, выложенной изнутри огнеупорным кирпичом, отводятся в коренной штрек конденсирующиеся продукты газификации.

Для раздробления угля в пласте проводятся скважины *7*, заряжаемые динамитом. По мере сгорания угля динамит должен взрываться регулярно по всей длине пласта и дробить уголь. Пласт разжигается с помощью стружек, щепок и угля, закладываемых с краев пласта. Для того чтобы дутье проходило именно через слой угля, а не иным путем, необходимо, чтобы выгоревшее пространство герметически закупоривалось при продвижении горящего забоя. Это предусматривается путем обрушения кровли или же с помощью гидравлической закладки выгоревших мест. Обрушение кровли происходит самостоятельно по мере выгорания пласта. Она может или постепенно опускаться, не разламываясь и не давая трещин, или же может разламываться на отдельные куски.



99. Получение газа при подземной газификации по способу инж. Кириченко

На случай недостижения одним обрушением кровли герметической закупорки выемочного пространства способ предусматривает возможность гидравлической закладки. Для этого с поверхности бурятся скважины, через которые можно подавать раствор из глины, песка и воды.

Регулировка подачи воздуха и пара в отдельные части забоя предусматривается или регулированием из коренного штрека или автоматически — путем выноса этого регулирования на поверхность земли.

Для возможности обслуживания подземной газификации через коренной штрек предусматривается принятие мер безопасности от действия высоких температур и выделения газов. Для этой цели через подземную шахту, коренной штрек и вентиляционную шахту продувается вентилятором воздух. В несчастном случае (завал)

персонал может или выйти на поверхность через подъемную и вентиляционные шахты или отсидеться в предусматриваемых убежищах. Намечаемая в опытном пласте высота слоя составляет 60 *м*.

По другим предложениям, газы должны обтекать целик или просасываться через него и значительно обогащаться продуктами сухой перегонки. В этом случае может получаться богатый газ, но в результате процесса должен остаться кокс.

Данные о проведенных опытах

Первые опыты подземной газификации проводились в Подмосковном бассейне (Крутовская опытная шахта), в Донецком бассейне (опытные шахты в Шахтинском районе — на антраците и в Лисичанском районе — на длиннопламенных углях) и в Кузнецком бассейне на Журинском угле [168].

Опыты на Крутовской шахте не дали достаточных результатов в смысле получения горючего газа и овладения процессом главным образом вследствие недостаточного уплотнения выделенного участка.

При опыте на Шахтинском участке предполагалось использовать маломощный пласт с мощностью в 0,4 *м* с углом падения в 20°, с малой водоносностью. Панель была герметизирована и процесс хорошо контролировался контрольно-измерительной аппаратурой. Установка была снабжена вентиляторами для подачи воздуха и отвода газов. Опыты проводились с предварительным раздроблением антрацита в месте залегания. При опыте, продолжавшемся $1^1/_2$ месяца (1934 г.), состав газа колебался в следующих пределах: CO_2—6—14%; O_2—0—1,2%; CO — 13—23%; CH_4 — 0,1—0,6%; H_2 — 7—12%; N_2 — 66—67%. При другом опыте, продолжавшемся две недели, состав газа колебался в пределах: CO_2—13 — 17%; O_2 — 0—0,4%; CO — 12—22%; CH_4 — 0,6—1,8%; H_2 — 19—23%; N_2 — 46—54%.

Поражает высокое содержание в газе водорода, которое при сухом дутье может быть обусловлено отчасти испарением влаги в пласте, отчасти ошибками анализа и отчасти сухой перегонкой антрацита.

В середине 1934 г. были проведены опыты подземной газификации по способу Кириченко в Лисичанском районе на Бобровском пласте мощностью 0,7 *м* и с углом падения 45°. Экспериментальная панель была изолирована пустой породой. После разжига получить намечавшимся путем горючий газ не удалось; он был получен только через скважины, пробуренные с поверхности пласта для контроля. Состав газа был следующий: CO_2 — 12—18%; O_2 — 0,7—0,9%; CO — 9—12%; CH_4 — 2,8%; C_mH_n — 0,05—0,15%; H_2 — 13,8—20,6%; N_2 — 48—58%.

Панель оказалась очень громоздкой и воздействие на ход процесса оказалось затруднительным.

В апреле 1934 г. были также проведены работниками Донецкого углехимического института опыты по газификации на Бобровском пласте на кислородном дутье. К пласту были подведены трубопроводы для подачи дутья и отвода газа; были устроены запальные сооружения, после чего доступ к пласту был герметизирован. Кислород подавался по трубопроводу с поверхности. Давление дутья у входа в очаг газификации доводилось до 7 *ат*. Примерный состав газа, полученный при опыте: CO_2 — 12,7%; O_2—0,9%; C_mH_n — 0,15%; CO — 51,6%; H_2—28,0%; CH_4—0,3%. Опыт продолжался более трех часов и был остановлен вследствие аварии газоотводной трубы. При втором опыте, продолжавшемся около четырех суток, по восстанию пласта была пробурена скважина диаметром 75 *мм* и в нее подавалось воздушное дутье из компрессоров. Скважина была зажжена с помощью кислорода. Состав получавшегося газа: CO_2—11,6—13,5%; O_2—0,2—0,8% CO — 6,6—12,7%; CH_4—1—2,5%; C_mH_n—0,1—0,5%; N_2—65—73%. В последние двое суток количество подававшегося дутья составляло 380 *м³/час*. Скважина была остановлена вследствие прогара.

В 1934 г. были также проведены опыты по газификации угля журинского пласта Ленинского района (остатка, окруженного с трех сторон старыми выработками, с четвертой — сбросом, за которым простиралась безугольная свита). Опыт проводился без предварительного разрыхления пласта. По угольному пласту был пройден штрек, связанный с поверхностью двумя шурфами для подачи воздуха и отсоса газа. На первом шурфе был установлен вентилятор производительностью в 3000 *м³/час*, а у вытяжного шурфа — выхлопная труба. Панель была зажжена через нишу кострами. Разжиг шел медленно ввиду недостаточности дутья. Почти целый месяц газ был похож на дымовой, после чего, очевидно вследствие хорошего разгара целика и обрушения пласта, состав газа улучшился. Устойчивый режим установился лишь через два месяца с начала разжига. Средний состав газа был следующий: CO_2—12,5%; CH_4—25,0%; H_2—32,0%; CO—7,5%; N_2—23,0%. Состав газа свидетельствует о проходившем в пласте процессе сухой перегонки. Периодически, вследствие прогаров, получались продукты горения. Процесс оказался неуправляемым.

В 1935 г. в Лисичанске были проведены опыты подземной газификации с раздельной подачей дутья в отдельные скважины [173]. Опыты проводились на малой панели. От воздухопровода были сделаны ответвления к отдельным скважинам, снабженные вентилями. Количество воздуха, подаваемого в каждое ответвление, замерялось. Газ из скважин собирался в газовом коллекторе. При подаче в панель воздуха в количестве 900—1000 *м³/час* получался газ с теплотворной способностью 800—1200 *кал/м³*, содержавший: CO_2—9%; CO—15%; H_2 —12%; CH_4—3%. Количество получавшегося газа составляло 1300—1700 *м³/час*. Давление дутья составляло около 400 *мм* вод. ст. При уменьшении количества подаваемого воздуха до 200—300 *м³/час* содержание CO в газе резко снижалось (до 3—4%), содержание CO_2 резко увеличивалось, содержание H_2 вначале повышалось до 15—18 %, а затем снижалось до 5—7%. С понижением содержания в газе H_2 увеличивалось содержание CH_4.

При работе на естественной тяге резко увеличивалось содержание CO_2 (до 50% и выше) и H_2 (до 35%) при одновременном снижении содержания CO до 1,0—1,5%, содержание колебалось в пределах 2—5%.

Повидимому значительные изменения в составе газа при снижении нагрузки были отчасти вызваны понижением температуры в скважинах.

Как указывает Кириченко, при самостоятельном вводе дутья в отдельные скважины имеется возможность управлять процессом, какового достоинства не имеется при вводе дутья в общий коллектор. Разница в сопротивлении отдельных скважин увеличивается по мере их разгара и вынуждает в случае подвода воздуха в общий коллектор останавливать процесс, что связано с большой потерей угля.

В 1935 г. в Лисичанской шахте были также проведены опыты получения водяного газа по методу скважин-газогенераторов [174].

Опытная панель (№ 4) состояла из трех действующих скважин-газогенераторов по 25 *м* длиной каждая, диаметром 100 *мм*, пробуренных по восстанию угольного пласта на расстоянии 2,5 *м* одна от другой. Воздушное дутье подводилось в панель снизу. Кроме того в панель подавался сверху и снизу пар. Опыты проводились с чистовоздушным дутьем и с переменным воздушным и паровым дутьем. При воздушном дутье получался газ следующего примерно состава: CO_2— 11,0%; O_2— 0,2%; CO — 12,0%; CH_4— 5,0%; N_2—59,8%. Процесс протекал устойчиво и был управляемым.

При переменном воздушном и паровом дутье получался газ состава CO_2— 23,8%; O_2—0,0%; CO— 14,0%; H_2— 44,5%; CH_4— 5,8%; N_2—11,8%, с теплотворной способностью 2075 *кал/м³*. Процесс был управляемым.

Вопрос о влиянии и использовании выделяющихся продуктов сухой перегонки и окклюдированных[1] в угле газов, а также о ходе газификации при уменьшении содержания в угле летучих опытами недостаточно освещен.

[1] Как указывает В. Филатов [175], при подземной газификации имеет большое значение выделение окклюдированных углем газов, количество которых может быть значительно (для углей Донбасса 20—30 *м³* метана на 1 *т* угля). В условиях надземной газификации эти газы являются потерянными.

Глава третья

ПОДАЧА ГАЗА

1. ГАЗОПРОВОДЫ И ТРАНСПОРТ ГАЗА

Газ отводится из генераторов и подводится к местам потребления газопроводами. При получении воздушного или смешанного газа он может быть направлен к потребителю или без предварительной мокрой очистки или после таковой.

В случае отсутствия мокрой очистки газ из генератора попадает обычно непосредственно или через сухой пылеуловитель в общий газосборник-коллектор и из последнего к потребителю. В коллекторе газ перемешивается, и его состав выравнивается, благодаря чему уменьшается влияние периодичности загрузок, шуровок и чистки отдельных генераторов на работу потребителей газа.

При наличии мокрой очистки газ поступает в очистные приспособления из коллектора, или же каждый генератор снабжается самостоятельными очистными приспособлениями, и газ от всех генераторов собирается только после очистки.

В установках водяного газа каждый генератор обычно снабжается индивидуальными газопроводами и аппаратами очистки; продукты горячего дутья выпускаются в атмосферу, а водяной газ от всех генераторов собирается после очистки.

Размеры и конструкция газопроводов зависят от ряда причин, в частности от свойств и количества газа, дальности проводки, стоимости материалов и электроэнергии.

Газопровод должен быть прочен, плотен, достаточно доступен для обслуживания и контроля, и стоимость транспорта газа должна быть невелика. К материалу газопровода предъявляется требование стойкости в отношении разъедающего действия газов и паров, движущихся по газопроводу, и конденсата, выделяющегося в нем.

Если газ горячий и загрязнен (пылью, сажей, смолой), то к газопроводу могут предъявляться требования удобства чистки, максимального освобождения газа от взвешенных частиц, хорошей изоляции для уменьшения потерь тепла, малого сопротивления движению газа и т. д. Ко всем газопроводам во всяком случае предъявляется требование надежности и максимальной бесперебойности работы.

С газопроводами неразрывно связаны пылеуловители, так как взвешенные в газе частицы выпадают из газа на пути его движения, особенно при наличии изменений скорости и направления движения.

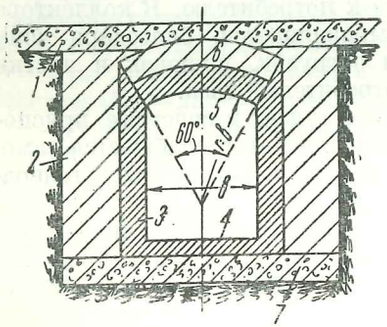
Газопроводы делаются кирпичные и металлические.

Кирпичные газопроводы

Кирпичные газопроводы часто делают подземными прямоугольного сечения со сводом, очерченным по дуге круга, обычно радиуса, равного ширине канала (60°), а иногда и меньшего. При высокой температуре газа, а также при холодном, но неочищенном газе для большей прочности при чистке и выжигании кирпичные газопроводы изнутри футеруют огнеупорным кирпичом, а снаружи выкладывают из красного кирпича (рис. 100, 101).

Если газопроводы находятся в земле, их не обвязывают, так как распор свода воспринимается землей; если же кирпичные газопроводы делают надземными, то их обвязывают металлическими связями и вдоль пят сводов прокладывают железные угольники, или швеллера. На пути движения газов, особенно у поворотов, в этих каналах устраивают мешки для осаждения смолы и пыли.

Кирпичные каналы более дешевы, чем железные, и кроме того при устройстве под землей они не препятствуют проходу или проезду. Потеря тепла в кирпичных газопроводах незначительная (табл. 52) [44].



100. Подземный газопровод

1—бетонная выстилка (пол здания), *2* — красная внешняя кладка; *3*—огнеупорная кладка стен; (1/2 кирпича) *4*—выстилка пода; *5* — арка свода из огнеупорного кирпича; *6* — арка свода из красного кирпича; *7* — бетонное основание; *в* — ширина канала; *r* — радиус дуги свода

Таблица 52

Падение температуры газа в подземном хорошо изолированном канале

Температура газа	Падение температ. на погон. метр в °С	Длина канала (в м), при которой т-ра газа падает на 100°
700—600 . .	3,5	28
600—500 . .	3,0	33
500—400 . .	2,5	40
400—300 . .	2,0	50
300—200 . .	1,0	100

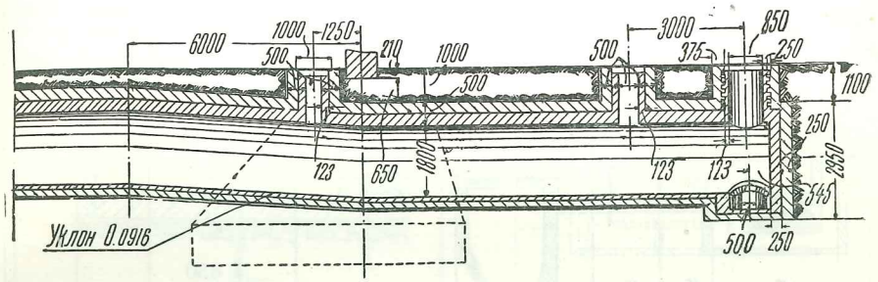
Недостатками кирпичных подземных каналов являются: затруднительность чистки, меньшая доступность для осмотра, а также легкость проникновения в них грунтовых вод.

Кирпичных газопроводов не применяют в следующих случаях:

1) при прохождении газов под большим давлением;

2) при пользовании бессмольным (антрацитовым, коксовым) или очищенным газом, так как в этом случае имеющиеся трещины не закупориваются смолой [1];

3) при применении надземных газопроводов, могущих оказаться под разрежением, так как в этом случае в газопровод может присосаться воздух [2].



101. Подземный газопровод

Кирпичные подземные газопроводы должны располагаться выше уровня грунтовых вод и быть достаточно прочными.

Металлические газопроводы

Металлические газопроводы делаются большею частью надземными подвесными и свободно располагаются на специальных железных сварных или на бетонных стойках таким образом, чтобы они могли передвигаться при изменениях температур. Кожухи надземных газопроводов делаются сварными из листового железа 6 *мм* и больше и в случае высокой температуры газа футеруются внутри фасонным огнеупорным кирпичом: при больших диаметрах в 1/2 и при меньших в 1/4 кирпича. При низкой температуре газа газопроводы не футеруются. Металлические газопроводы значительно более доступны для осмотра, чем кирпичные, и чистка их более легка. Форма газопроводам придается круглая или овальная (рис. 102) [63].

Для бо́льшей жесткости к железному кожуху на известных расстояниях в поперечном сечении приваривают угольники.

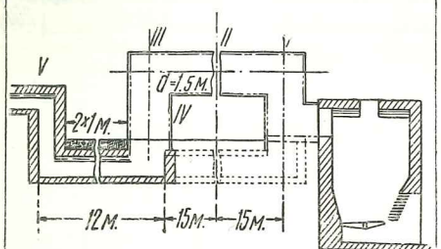
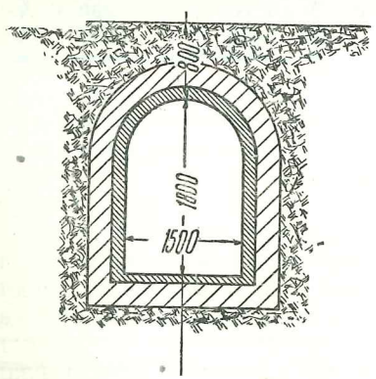
Охлаждение газа в железных газопроводах более сильное, чем в кирпичных [44] (табл. 53). Иногда при влажном газе пользуются конденсирующим действием газопровода для удаления части влаги из газа, устраивая длинные железные газопроводы, в которых газ сильно охлаждается, вследствие чего из него выделяется часть влаги. Для уменьшения потери тепла газопроводами при прохождении по ним горячего газа их изолируют, для чего между огнеупорной фу-

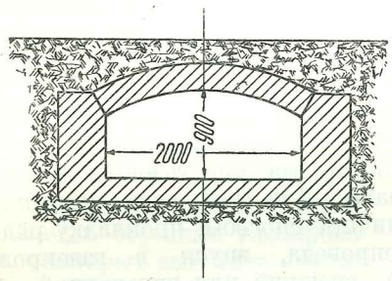
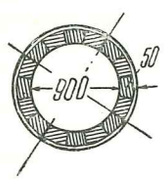
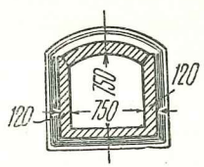
[1] Известны случаи отравлений газом со смертельным исходом в приямках кирпичных подземных газопроводов очищенного газа.

[2] Короткие участки кирпичных газопроводов смолистого газа, находящиеся под малым разрежением, встречаются например в стекольном производстве между газовым регенератором и барабаном Клегга.

Таблица 53

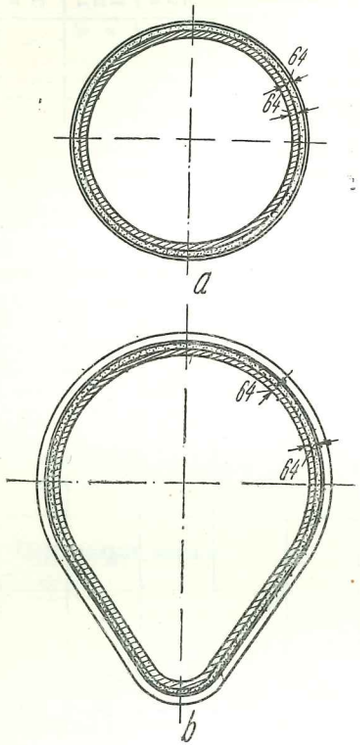
Падение температуры газа в каналах

Конструкция	Площадь сечения в м²	Длина в м	Начальная температура в °С	Конечная температура в °С	Падение температуры на 1 пог. м в °С	Температура воздуха в °С
			*I* 430 *II* 340 *III* 240 *IV* 180 *V* 165			
Сплошной линией — железный газопровод не футерованный	1,77	35			7	3
Пунктиром—подземный кирпичный канал	2,0	40	430	300	3	5
Подземный канал	—	35	230	200	0,9	—
						
Подземный канал	2,78	45	610	485	2,8	5

Конструкция	Площадь сечения в м²	Длина в м	Начальная температура в °С	Конечная температура в °С	Падение температуры на 1 пог. м в °С	Температура воздуха в °С
						
Подземный канал	1,8	17	870	794	4,4	5
						
Подземный канал	0,64	58	903	530	6	5
Надземный канал в здании . . .	1,2	8,4	505	470	4,2	20
						
Надземный канал в здании . . .	0,6	20	445	390	2,8	20

теровкой и листовым железом выкладывают слой изоляционного кирпича (рис. 102).

Падение температуры газа в газопроводе и температура внутренней поверхности стенки газопровода могут быть установлены довольно точно с помощью обычных формул теплопередачи.



102. Профили газопроводов
a — круглый, *b* — овальный

Чтобы избежать промерзания металлических надземных газопроводов, по которым проходит холодный, обычно очищенный, газ, газопроводы изолируют снаружи.

Если изоляция надземного газопровода не гарантирует от промерзания, то газ или газопровод подогревают. Для этой цели применяют различные способы: прокладку рядом паропровода, впуск в газопровод пара, внешний или внутренний обогрев газопровода с помощью газовых горелок и т. д.

Иногда прокладывают паровую магистраль и при горячем газе, так как это дает возможность использовать пар для выдувки газа и воздуха из газопровода, а также для прочистки газопровода от пыли и сажи.

При холодном неочищенном дровяном и торфяном газе, как показала практика работы новейших установок, железные нефутерованные газопроводы могут разъедаться уксусной кислотой. Для предохранения от разъедания их приходится покрывать специальными веществами: бакелитом, кислотоупорной керамикой, деревом, диабазом. Предотвратить разъедание газопроводов уксусной кислотой можно также путем подогрева газа, в результате чего из газа не будет осаждаться влага, а вместе с ней и уксусная кислота.

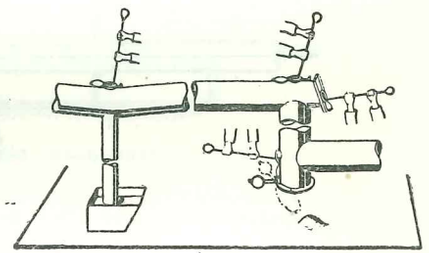
Очистка газопроводов

Газ из генераторов отводится или вверху шахты под сводом или через отверстие в своде или крышке (рис. 89). В случае значительного уноса газом пыли и сажи вблизи генератора помещают пылеуловители. В установках, в которых отдельные генераторы не снабжены индивидуальными очистными приспособлениями, газ из генератора и пылеуловителя (если таковой имеется) через соединительный газопровод обычно попадает в коллектор-газосборник, представляющий

собой газопровод, в котором собирается газ из различных генераторов. При отсутствии мокрой очистки газа коллектору придают большие размеры, и вследствие его большой горизонтальной проекции в нем происходит значительное выпадение взвешенных частиц.

Если газ не уносит большого количества пыли из генератора, что может быть при газификации дров и торфа, то он непосредственно из генератора поступает в коллектор.

При пыльном газе коллектор и газопроводы снабжаются установленными на близком расстоянии друг от друга пылевыми мешками, снабженными клапанами для спуска пыли. Вместо частой расстановки мешков можно придать коллектору и газопроводам овальную форму, снабдив их в нижней части на небольшом расстоянии друг от друга отверстиями с клапанами для удаления пыли.



104. Газопровод холодного газа и чистка его

Иногда отрезкам газопроводов, в которых выделяется сухая пыль, придают крутой уклон для ссыпания пыли к пылеуловителям, расположенным в низших точках газопровода.

Пыль, собирающаяся в пылеуловителях, коллекторе и газопроводах, легко высыпается. Значительно труднее удаление липкой сажи, образующейся в результате разложения смол, и пыли, пропитанной смолой, выделяющейся при сильном охлаждении газа. Эта масса нарастает на стенках газопроводов и уменьшает их сечение. Поэтому газопроводы периодически подвергают чистке. Для этого в верхней части газопровода, на небольших расстояниях, допускающих прочистку любой точки, предусматривают отверстия, в которые может быть просунут скребок. Также предусматриваются большие отверстия для обслуживания с торцов, у горловин генераторов и по длине газопровода.

Для бóльшей доступности надземных газопроводов и их обслуживания устраивают лестницы и площадки с перилами.

Кирпичные газопроводы также снабжаются отверстиями для чистки и мешками для осаждения пыли и смолы. Подземные газопроводы обслуживаются с помощью приямков.

В местах поворотов газопроводов устраиваются мешки для сбора и удаления выпадающих из газа взвешенных частиц.

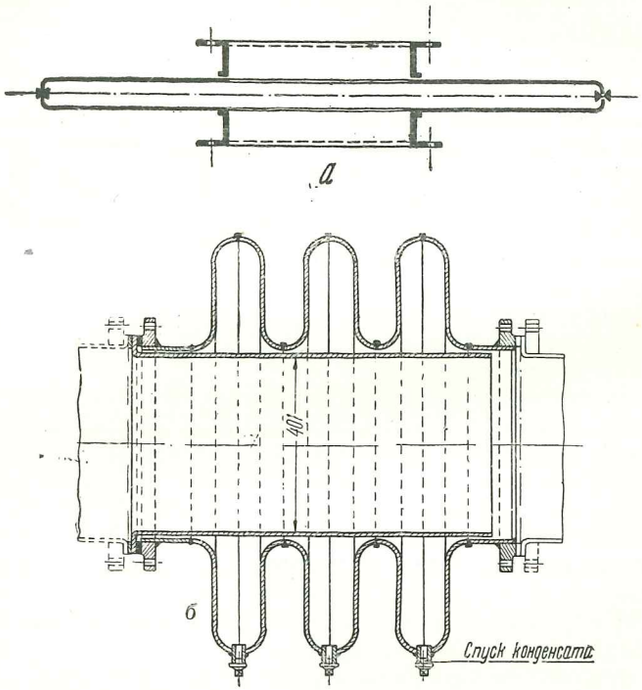
При холодном газе и выделении жидкой смолы и влаги в коллекторе и газопроводах последние выполняют с уклонами (рис. 103) в $^1/_{10}$ и больше, причем в низших точках этих газопроводов устанавливают отводные вертикальные трубы диаметром в 100 *мм*. Эти отводные трубы выходят в конденсационные металлические или бетонные коробки-горшки. Конденсат стекает из газопровода в горшки по мере его выделения.

Для выпуска газа и выжигания газопроводов их снабжают выдувными трубами или присоединяют к дымовым трубам печей.

Скорости в газопроводах низкого давления

Кирпичные газопроводы рассчитывают на скорость 0,5—1,0 *м/сек* при 0°. В надземных коллекторах неочищенного газа принимаются скорости 0,75—1,25 *м/сек* при 0°, а в газопроводах — 1,0—2 *м/сек* при 0°.

Газопроводы очищенного газа рассчитывают на скорость 6—12 *м/сек*. В отношении выбора диаметра таковых можно отчасти руководствоваться соображениями, приведенными для дальнего газоснабжения (см. ниже).



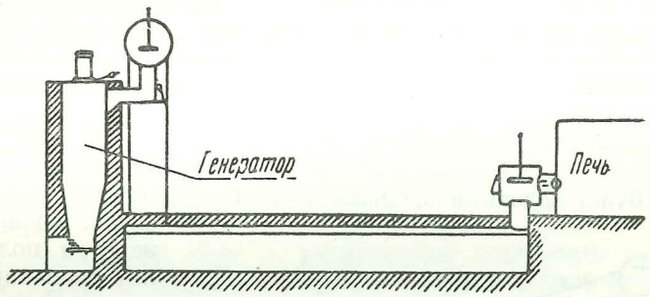
104. Компенсаторы: *а*—дисковый, *б*—линзовый

В участках газопроводов для холодного неочищенного газа из дров, торфа и бурого угля, находящихся перед очистительными приспособлениями, принимают скорости 3—4 *м/сек* во избежание слишком большого положительного давления вверху генератора, так как эти участки находятся под положительным давлением.

Различные схемы соединения генератора с коллектором и газопроводом описаны в главе VI.

Компенсаторы

В случае значительной длины металлические газопроводы при изменении температуры удлиняются и укорачиваются на значительную величину. Чтобы избежать деформаций газопроводов и их соединений, применяют специальные компенсаторы, состоящие из металлических круглых колец большого диаметра, сидящих на соседних отдельных участках газопроводов и соединенных между собой у внешней окружности (рис. 104, *а*). Эти тонкие кольца уравновешивают изменения длины газопровода.



105. Неудачное расположение газопровода

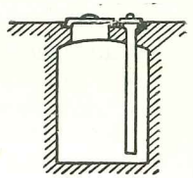
На рис. 104, *б* представлен компенсатор другого типа.

В местах установки компенсаторов перила и площадки, идущие по верху газопровода, следует прерывать.

Расположение газопроводов

Расположение газопроводов имеет большое значение при пуске и выпуске газа и при работе в смысле возможности образования в них взрывчатой смеси.

Воздух, более тяжелый, чем газ, попадая в газопровод сверху, проходит вниз и смешивается с газом, образуя взрывчатую смесь. Если же воздух подается в нижнюю часть газопровода, то он заполняет его снизу, постепенно выдавливая газ вверх.



106. Устройство для безопасной продувки газопровода

Легкий газ, попав снизу в газопровод, заполненный воздухом, поднимается вверх и смешивается с воздухом, образуя взрывчатую смесь; попадая же сверху, он постепенно заполняет газопровод, вытесняя воздух книзу. Таким образом газ должен вытесняться вверх, а воздух или взрывчатая смесь — вниз.

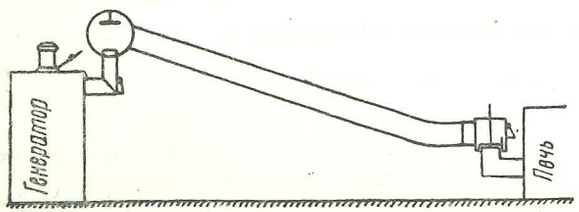
В случае устройства кирпичных подземных газопроводов по рис. 105 при пуске газа не может быть хорошо удален воздух, который как более тяжелый, чем газ, оседает на дно канала; образуется некоторое количество взрывчатой смеси.

Если газопровод короток, то, как указывает проф. Грум-Гржимайло [19], делу может помочь подвод газа снизу; при длинных же газопроводах для удаления взрывчатой смеси газопровод должен иметь специальное приспособление (рис. 106), при котором взрывчатая смесь, более тяжелая, чем газ, и ложащаяся на дно, может быть

удалена с пода газопровода через специальные трубы, немного не доходящие до пода канала.

При подаче газа к месту потребления следует стремиться располагать газопровод таким образом, чтобы он был выше места, в которое подается газ, например горелки, и тогда, если в горелках давление равно внешнему (0), во всех частях газопровода давление будет положительным. Если давление в газопроводе упадет, воздух из горелки войдет в газопровод и как более тяжелый, чем газ, будет заполнять газопровод, не смешиваясь с газом и постепенно выдавливая его кверху (рис. 107).

Наоборот, при устройстве газопровода по рис. 105 в случае падения давления и проникновения воздуха в газопровод воздух как более тяжелый будет падать вниз, смешиваясь с газом и образуя взрывчатую смесь. Кроме того даже при положительном давлении газа на уровне горелки в газопроводе ниже горелки давление может быть отрицательным, вследствие чего возможно засасывание через трещины воздуха и образование взрывчатой смеси.



107. Правильное расположение газопровода

В отношении расположения газопроводов, находящихся под давлением, близким к атмосферному, следует руководствоваться, по предложению проф. Грум-Гржимайло [49], следующими правилами в смысле обеспечения безопасности газопроводов.

1. Не следует соединять общим газопроводом устройства, работающие при различных условиях тяги и разнохарактерные по своему назначению или расположенные на различных уровнях. Всякое такое устройство или группа устройств должны иметь свой газопровод, начинающийся от такого места газопровода, где никогда не бывает отрицательного давления.

2. Направление движения газа в газопроводах должно быть нисходящим. Восходящего направления надо избегать.

3. При длинных газопроводах их лучше делать с падением в сторону движения газов.

4. Устройства для продувки взрывчатой смеси должны брать смесь из самой низкой части газопровода.

Подача газа на большое расстояние и при разветвленной сети

Передача газа на дальнее расстояние в последнее время находит все большее распространение [64, 65].

В Америке имеется весьма развитая сеть для естественного газа с теплотворной способностью около 10 000 *кал/м³*, в других странах

имеются развитые сети для коксового газа с теплотворной способностью около 4 000 *кал/м³*. Дальность передачи газа достигает в Америке 1 500 *км*, в Германии — 300 *км*.

В СССР дальнее газоснабжение не получило еще должного развития; имеются только небольшие сети для естественного газа в районе Баку и для коксового — в Донбассе.

Строительство мощных заводов, в которых имеются излишки высококалорийного газа, использование местных топлив для получения газа в газоцентралях, особенно в условиях дефицита жидкого топлива и необходимости замены последнего газообразным, увеличение использования естественного газа — все это несомненно побудит в ближайшее время к строительству сетей дальнего газоснабжения.

На стоимость транспорта газа помимо стоимости газопровода влияет ряд факторов, причем стоимость транспорта уменьшается с увеличением теплотворной способности газа, с увеличением количества передаваемого газа, с уменьшением расстояния передачи и с выравниванием суточного и годового графика подачи газа.

Как указывает Штарке [64], для передачи газа на расстояние в 10 *км* независимо от количества передаваемого газа требуются давления не выше 2—3 *ат*. Для передачи на 100 *км* достаточно давление 5—10 *ат* и для передачи на 300 *км*—20—30 *ат*. Минимальное количество газа, могущее быть экономичным для передачи на расстояние 10 *км*,— 1 000 *м³/час*, на расстояние до 100 *км* — 5 000 *м³/час*, на расстояние до 150 *км* — 10 000 *м³/час* и на расстояние до 250 *км* — 25 000 *м³/час*.

Для количеств газа от 50 000 до 200 000 *м³/час* экономические условия меняются мало, причем эти количества могут во всех случаях транспортироваться на расстояние до 300 *км*. Естественно, что при уменьшении расстояния транспорта уменьшается стоимость такового. При транспорте газа до 300 *км* возможно избегнуть устройства дополнительных компрессорных станций. В германских ценах стоимость дальней передачи газа (компрессия, газопровод и потери) при изменении расстояния от 10 до 300 *км* для количеств газа от 50 000 до 200 000 *м³/час* возрастает от 0,28 до 0,83 золотых пфенигов.

Сравнение стоимости передачи на 10 *км* генераторного газа с теплотворной способностью в 1 300 *кал/м³* со стоимостью передачи коксового газа (4 000 *кал/м³*) показывает, что расходы в обоих случаях на 1 *м³* почти одинаковы, и следовательно на 1 000 *кал/м³* генераторного газа эти расходы очень велики. По причине высокой стоимости дальняя передача смешанного генераторного газа вряд ли целесообразна.

По Штарке в германских условиях для малых расстояний и количеств стоимость перевозки топлива ниже стоимости перекачки высококалорийного газа. При больших количествах и с увеличением дальности передачи стоимость перекачки газа становится меньше стоимости железнодорожного фрахта и содержания топливного хозяйства. По данным Штарке, при 5 000 *м³/час* и расстоянии в 100 *км* стоимость перекачки газа и железнодорожного фрахта одинакова;

при 25 000 *м*³/*час* и расстоянии в 100 *км* перекачка газа дешевле провоза топлива; при 50 000 *м*³/*час* и расстоянии в 100 *км* перекачка газа обходится вдвое дешевле стоимости перевозки топлива и содержания складов.

Прокладка газопроводов. При дальнем газоснабжении, наличии разветвленной сети газопроводов, загроможденности заводской территории и цехов металлические газопроводы прокладывают в земле [64, 65].

При низких давлениях — до 200 *мм* водяного столба — эти газопроводы изготовляются иногда из чугуна. Для более высоких давлений применяют почти исключительно железные сварные трубы. До диаметра в 300 *мм* применяют цельнотянутые трубы, при бóльших же диаметрах — трубы, сваренные водяным газом или электросварные. Чугунные трубы, более долговечные, чем железные, применяют для распределительных сетей.

Подземные газопроводы прокладываются ниже глубины промерзания почвы во избежание замерзания конденсата. Эта глубина зависит от климатических условий.

Температурные колебания в подземных газопроводах невелики. Их не всегда снабжают компенсаторами, так как газопровод, имеющий ряд сварных стыков и изгибов, самостоятельно компенсирует небольшие изменения длины. Применяются компенсаторы линзового типа, так как сальниковые не плотны.

В населенных местностях при прокладке газопровода нижняя часть траншеи засыпается щебнем или гравием, сверх которого засыпается земля.

На расстоянии в 100—150 *м* отрезки траншеи отделяются друг от друга глинистыми перемычками. Таким образом выделяющийся из газопровода в случае утечки газ может свободно протекать в слое щебня или гравия, и утечка может быть обнаружена с помощью вставленных в траншею железных трубочек и соответствующих реактивов на окись углерода.

При наличии нескольких специальных подземных сооружений, прокладываемых в одном направлении, например водо-, газо-, паропроводов, кабелей и т. д., таковые на больших заводах и в городах прокладывают в специальных подземных бетонированных коллекторах, имеющих высоту в 1,75—2 *м* и вполне доступных во всю длину для осмотра и обслуживания.

Для стекания конденсата подземному газопроводу придается уклон: 5—8 *мм* на 1 *пог. м*. В низших точках газопроводов устанавливают на расстоянии 100—160 *м* конденсационные горшки, располагаемые в бетонированных колодцах.

Емкость конденсационных горшков принимают равной 5—7-дневному количеству конденсата, выделяющегося в зимнее время, т. е. в период максимального его выделения. Для откачки накопившейся жидкости горшки снабжают трубочками.

Подземные газопроводы подвержены разрушающему действию солей и кислот, содержащихся в почве. Для предохранения от разъедания трубы покрываются краской и изоляцией.

Труба перед покраской тщательно очищается проволочными щетками; окраска труб производится или суриком на олифе, или смолой, или асфальтом. Обмотка труб производится защитной тканью, или специальной бумагой, или кровельным толем. Трубы могут быть также защищены слоем цемента.

Особенную опасность представляет разъедание труб в зоне блуждающих токов, возникающих в районе электрических дорог. С блуждающими токами борются путем соответствующего надзора за состоянием рельсовой сети.

Прокладка подземных газопроводов, состоящая из ряда дорогостоящих операций, както: рытье траншей, выравнивание их постели или трамбовка дна, засыпка траншей, погрузка, укладка, стягивание, спуск, свинчивание, изгибание, очистка, окраска, обмотка и цементировка труб, обычно механизируется.

Прокладку газопровода через реку производят по существующему или специально сооруженному мосту, под дном реки в специальной траншее или по дну реки. Хотя прокладка газопровода по мосту или в туннеле и допускает в дальнейшем возможность обслуживания газопровода и проведения новых работ, но все же вследствие высокой стоимости такой прокладки газопроводы обычно прокладывают непосредственно по дну реки. У этих газопроводов, снабженных защитными хомутами, образуются обычно насыпи, воспринимающие в дальнейшем удары движущихся с водой тел. На случай аварии газопровода по дну реки прокладывают 2—3 рукава, соединенные на берегу в общий коллектор и отделенные задвижками.

Выбор диаметра трубопровода. При выборе диаметра труб и давления газа нужно учитывать расход и стоимость металла и энергии, стоимость прокладки газопровода, стоимость компрессорного оборудования, эксплоатационные расходы, начисления и т. д.

Применение труб больших диаметров дает возможность в известных пределах давлений уменьшить требуемое давление газа и расход металла. Однако при очень больших диаметрах труб расходы на оборудование траншей могут оказаться столь большими, что аннулируют экономию, получаемую от уменьшения расхода металла. Следует также учитывать, что минимальная толщина трубы ограничивается условиями изготовления и транспорта.

Стоимость металла является самой большой статьей в общей стоимости газопровода.

При движении газа по трубам напор затрачивается на преодоление местных сопротивлений и сопротивления от трения о стенки. При малом манометрическом напоре и принятии газа несжимаемым связь скоростного напора со скоростью выражается формулой:

$$h = \frac{v^2}{2g}\delta,$$

где h — скоростной напор в *кг*/*м*² (*мм* вод. ст.),
v — скорость газа в *м*/*сек*,
g — ускорение силы тяжести = 9,81 *м*/*сек*²,
δ — объемный вес газа в *кг*/*м*³.

В газопроводах со значительной протяженностью превалирующее значение имеет сопротивление от трения, выражаемое формулой:

$$H = \frac{\lambda L \pi d v^2 \delta}{\frac{\pi d^2}{4} g} = \frac{4\lambda L \delta v^2}{dg} = 8\lambda \frac{L}{d} h,$$

где H — сопротивление от трения в *кг/м²* (*мм* вод. ст.),
L — длина трубопровода в *м*,
d — диаметр трубопровода в *м*,
λ — коэфициент трения.

Величина коэфициента трения зависит от материала и состояния стенок труб, от их диаметра, от плотности и вязкости газа.

Изменения направления движения и скорости газов учитываются соответствующими коэфициентами при h.

В приведенных ниже значениях λ в зависимости от числа Рейнольдса они соответствуют 8λ по выведенной выше формуле для значения величины H.

По Тен—Бошу [169] при скорости ниже критической $\lambda = \frac{64}{R}$, а при скорости выше критической для гладких поверхностей по Блазиусу $\lambda = \frac{0{,}3164}{R^{0{,}25}}$ и для шероховатых металлических поверхностей по Омбеку $\lambda = \frac{0{,}129}{R^m}$, где R — число Рейнольдса, а m изменяется от 0,17 до 0,12, уменьшаясь с увеличением степени шероховатости. Для кирпичных каналов по Доброхотову $\lambda = \frac{0{,}175}{R^{0{,}12}}$.

Зависимость коэфициента трения λ от диаметра d определяется по формулам:

$$\lambda = 0{,}0044\left(1 + \frac{1}{d\gamma}\right) \text{ или } \lambda = \frac{0{,}008}{\sqrt[3]{d}},$$

где γ — удельный вес газа по отношению к воздуху.

Для труб диаметром менее 150 *мм* следует на основании опытных данных принимать другие значения величины коэфициента трения, а именно:

$$\lambda = \frac{0{,}0044}{d^{0{,}075}}.$$

При постоянной скорости газа коэфициент трения медленно уменьшается с увеличением плотности газа.

Исследования [122] подтверждают зависимость коэфициента трения от параметра Рейнольдса; неточность и сложность определения значения абсолютной вязкости на практике препятствуют использованию этой связи.

Присутствие в трубах конденсата, разъедание материала труб газами и конденсатом, скопление в отдельных участках ржавчины и частиц металла, уносимых газом, увеличивают шероховатость труб.

При расходе газа в Q *м³/сек* получаем из вышеприведенной формулы сопротивления трению:

$$Q = 1{,}2\sqrt{\frac{Hd^5}{\lambda L \delta}}.$$

Приведенная формула не учитывает изменения плотности газа и изменения объема в зависимости от изменения давления и поэтому может применяться только при низких давлениях, когда сопротивление выражается в десятках и сотнях *мм* водяного столба.

На основе указанной формулы построена формула Поля [64], применяющаяся для расчета сетей низкого давления и имеющая следующий вид:

$$Q = 0{,}707\sqrt{\frac{Hd^5}{\gamma L}},$$

где Q — количество газа в *м³/час*,
d — диаметр газопровода в *см*,
H — падение давления в *мм* вод. ст.,
L — длина газопровода в *м*,
γ — уд. вес газа по отношению к воздуху.

Формула Поля не учитывает изменения величины коэфициента трения в каждом отдельном случае.

Когда разница между начальным и конечным давлениями значительна, что имеет место в дальних газопроводах, она существенно отражается на изменении объема и плотности газа. По мере удаления от компрессорной станции давление газа уменьшается, и объем его увеличивается.

Для расчета диаметра дальних газопроводов предложен ряд формул.

Формула Веймаут-Толя [64] следующая:

$$d = \sqrt[5]{\frac{Q^2 \cdot s \cdot l}{c^2 (p_a^2 - p_e^2)}},$$

где Q — расход газа в *м³/сек*.
d — диаметр газопровода в *м*,
l — длина газопровода в *м*,
s — уд. вес газа по отношению к воздуху,
c — коэфициент, зависящий от коэфициента сопротивления в трубах,
p_a — давление в начале газопровода в *ат* (абс.),
p_e — » » конце » » » »

Формула может быть подразделена на части:

$$d = \sqrt[5]{\frac{s}{c^2}} \cdot \sqrt[5]{l} \cdot \sqrt{Q^2} \cdot \sqrt[5]{\frac{1}{p_a^2 - p_e^2}}.$$

Значения отдельных множителей приведенного выражения определяются по табл. 54, 55, 56 и 57.

Таблица 54

Значение фактора $\sqrt[5]{\frac{s}{c^2}}$ для различных удельных весов газа при $s = 0{,}6$ [1]

d в мм	$\sqrt[5]{\frac{s}{c^2}}$	d в мм	$\sqrt[5]{\frac{s}{c^2}}$	d в мм	$\sqrt[5]{\frac{s}{c^2}}$
50	0,050164	250	0,045067	700	0,042071
75	0,048826	300	0,044517	800	0,041698
100	0,047905	350	0,044061	900	0,041372
125	0,047191	400	0,043681	1 000	0,041082
150	0,046630	450	0,043329	1 500	0,039987
175	0,046145	500	0,043037	2 000	0,39227
200	0,045744	600	0,042506	—	—

Таблица 55

Значение фактора $\sqrt[5]{l}$ для различных расстояний

l в м	$\sqrt[5]{l}$	l в м	$\sqrt[5]{l}$	l в м	$\sqrt[5]{l}$	l в м	$\sqrt[5]{l}$
10 000	6,31	75 000	9,528	127 000	10,456	200 000	11,487
50 000	8,705	100 000	10,0	150 000	10,844	300 000	12,457

Таблица 56

Значение фактора $\sqrt[5]{Q^2}$ для различных Q м³/сек

Q в м³/час	$\sqrt[5]{Q^2}$	Q в м³/час	$\sqrt[5]{Q^2}$	Q в м³/час	$\sqrt[5]{Q^2}$
1 000	0,5991	50 000	2,8646	125 000	4,1324
5 000	1,1404	75 000	3,3690	150 000	4,4454
10 000	1,5048	100 000	3,7798	200 000	4,9876
25 000	2,1709	—	—	—	—

[1] Если уд. вес газа отличается от величины 0,6, полученное значение d должно быть помножено на $\sqrt[5]{\frac{s}{0{,}6}}$.

Таблица 57

Значение фактора $\sqrt[5]{\frac{1}{p_a^2 - p_e^2}}$ для различных давлений в ат (абс.)

p_a	$\sqrt[5]{\frac{1}{p_a^2 - p_e^2}}$	p_a	$\sqrt[5]{\frac{1}{p_a^2 - p_e^2}}$	p_a	$\sqrt[5]{\frac{1}{p_a^2 - p_e^2}}$
$p_e = 1$		$p_e = 1$		$p_e = 5$	
50	0,209	15	0,339	25	0,278
40	0,229	10	0,399	30	0,306
30	0,257	5	0,530	15	0,347
25	0,276	3	0,660	10	0,422
20	0,302	2	0,803	—	—

Формула Биля, которой также пользуются для расчета газопроводов, имеет следующий вид:

$$d = \sqrt[5]{\frac{R\,\gamma\,l q^{1{,}875}}{p_a - p_e}},$$

где d — диаметр газопроводов в *см*,
R — постоянный коэфициент = 0,908,
γ — удельный вес газа по отношению к воздуху,
l — длина газопровода в *км*,
q — количество транспортируемого газа в *м*³,
p_a — начальное давление сжатия в *ат* (абс.),
p_e — конечное давление сжатия в *ат* (абс.).

Определение толщины стен. При дальнем газоснабжении газ подвергают сильному сжатию, соответственно чему применяют трубы с достаточной толщиной стенок.

Толщина стенки газопровода рассчитывается по формуле для стенки полого цилиндра, подверженного внутреннему давлению выше атмосферного.

При малых толщинах стенки [64] последняя может быть рассчитана по формуле:

$$\delta = \frac{pD}{2k_p},$$

где δ — толщина стенки в *см*,
D — внутренний диаметр трубы в *см*,
p — давление внутри трубы в *кг/см*²,
k_p — допускаемое напряжение на разрыв по оси в стенках трубы в *кг/см*².

Допускаемое напряжение на разрыв по Баху для случая нагрузки от нуля до максимума составляет 800 *кг/см*² для твердого материала и 600 *кг/см*² — для мягкого.

Толщина стенок подземного газопровода определяется также по внешним условиям: давлению грунта, подвижной нагрузке и т. д.

К полученной величине добавляют 2—3 *мм* на ржавление и ослабление швов.

Газодувки и компрессоры

Для транспорта газа при небольших давлениях пользуются центробежными вентиляторами; при несколько бо́льших давлениях применяют ротационные вентиляторы и компрессоры и при больших — поршневые компрессоры и турбокомпрессоры (газодувки).

Центробежные вентиляторы, ротационные вентиляторы и компрессоры и газодувки описаны в главе IV. Ниже приводятся лишь некоторые данные, относящиеся к компрессорам.

Число оборотов поршневого компрессора, обычно имеющего малые скорости поршня, невелико, что препятствует непосредственному соединению компрессора с электромотором.

Турбокомпрессоры могут непосредственно соединяться с быстроходными двигателями. Для конечных давлений в 6—8 *ат* турбокомпрессоры могут быть применены в случаях достаточно большой производительности и хорошей очистки газа.

Для подач малых количеств газа могут быть применены ротационные компрессоры.

Сжатие и расширение газов в компрессорах не соответствует ни изотермическому, ни адиабатическому процессу, так как практически не осуществимы ни идеальное охлаждение газа, ни полное отсутствие охлаждения. Процессы в компрессорах протекают по политропе, приближаясь то к изотерме, то к адиабате в зависимости от условий охлаждения.

Теоретически потребная работа для компрессии газа в различных случаях следующая:

$$L_{из} = P_e \cdot V \cdot ln \frac{p_a}{p_e};$$

$$L_{ад} = P_e \cdot V \cdot \frac{k}{k-1}\left(\frac{T_a}{T_e} - 1\right) = P_e V \frac{k}{k-1}\left[\left(\frac{p_a}{p_e}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right],$$

где $L_{из}$ — потребная работа при изотермическом сжатии в *кг/м*,
$L_{ад}$ — то же при адиабатическом сжатии в *кгм*,
P_e — давление газа при всасывании в компрессор в *кг/м²*,
V — объем засасываемого газа в *м³*,
T_a и T_e — абсолютные температуры газа—конечная и начальная,
k — показатель адиабатического сжатия,
p_a и p_e — давления газа—конечное и начальное в *ат* (абс.).

Работа, затрачиваемая при адиабатическом сжатии, больше, чем при изотермическом.

Показатели адиабатического сжатия следующие: для кислорода, азота, воздуха и окиси углерода — 1,4; водорода — 1,41; углекислоты — 1,31; ацетилена — 1,29; этилена — 1,21; водяного пара — 1,3.

В больших компрессорах кривая сжатия приближается к адиабате, и для расчета компрессоров принимается адиабатическое сжатие.

При высоких давлениях применяют ступенчатую компрессию (обычно до трех ступеней). При n ступенях теоретически потребная работа для адиабатического сжатия составляет:

$$L^n_{ад} = n \cdot P_e \cdot V \cdot \frac{k}{k-1}\left[\sqrt[n]{\left(\frac{p_a}{p_e}\right)^{\frac{k-1}{k}}} - 1\right].$$

К. п. д. компрессора 60—65%; к. п. д. мотора, включая редуктор,— 0,8—0,88 (более высокие значения для больших мощностей).

В известных случаях — при большой протяженности газопроводов или отдельных ветвей, необходимости в высоком давлении для отдельных потребителей — может явиться выгодной установка нескольких компрессорных станций по пути газопровода.

2. КЛАПАНЫ И ЗАТВОРЫ

Классификация клапанов

Клапаны классифицируются в основном по назначению и по устройству.

В зависимости от назначения можно разделить клапаны на следующие группы: клапаны для включения и выключения газа, для регулирования количества газа, предохранительные, для выброса пыли и обслуживания.

Один и тот же клапан может одновременно выполнять и несколько назначений.

Клапаны для включения должны обладать плотностью и соответствующей прочностью. Особенно высокие требования предъявляются к ним при больших давлениях газа, больших размерах газопроводов, при сильных колебаниях температур и разъедающем действии газов.

Изменение количества протекающего газа производится клапанами, служащими для включения и выключения газа, если только они допускают достаточно легкое и быстрое управление и регулирование. Гидравлические клапаны в качестве регулирующих поступление газа, кроме тарельчатых, обычно не применяются.

Предохранительные клапаны подразделяются в свою очередь на две подгруппы: клапаны, предупреждающие разрушение газопровода при чрезмерном повышении давления, и клапаны, предупреждающие проникновение газа из одного участка в другой. Последние клапаны называют часто обратными. Предохранительными клапанами могут служить клапаны и других типов.

Клапаны для обслуживания предназначаются для чистки газопроводов, периодического проникновения внутрь, осмотра, ремонта и т. д.

В зависимости от устройства клапаны подразделяют по способу создания уплотнения — сухому и гидравлическому.

В клапанах с сухим уплотнением уплотнение создается прижимом одних поверхностей к другим. Следовательно плотность зависит от обработки и состояния поверхностей, чистоты и разъедающего действия газа, прижима плоскостей, давления газа, температуры газа и т. д. Устройство клапанов зависит от указанных условий.

В клапанах с гидравлическим уплотнением плотность создается сравнительно легко; обстоятельствами, могущими затруднить их применение, является большое давление газа, сильное испарение воды при горячем газе, а также охлаждение последнего.

В одних гидравлических затворах (затворы с погружением) имеются постоянно погруженные в воду поверхности, создающие затвор; в других же (разделительные затворы) водой заливают проход для газа только при выключении газопровода.

Количество воды, находящейся в гидравлических затворах, должно быть большим по сравнению с количеством воды, находящейся под давлением и вытесняемой из погруженного в воду трубопровода. Объем затворов должен быть достаточным для восприятия выбрасываемой или вытесняемой жидкости. Должна учитываться возможность опорожнения затвора засасыванием вследствие разрежения, возникающего в трубопроводах и аппаратах при недостаточном притоке газа после взрыва, так как за каждой волной давления следует засасывание [66].

Глубина погружения затворов в воду должна быть значительно больше высоты столба воды, соответствующего давлению газа, ввиду суммирования при изменениях давления волн давления и сильных колебаний уровня воды даже при отсутствии взрыва.

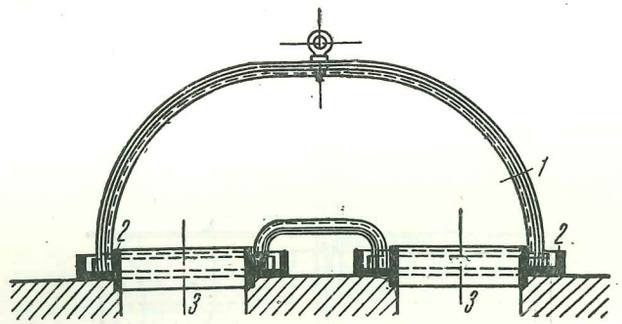
Гидравлические клапаны помимо того, что являются затворами, часто одновременно служат в качестве предохранительных клапанов. При взрыве вода из них выдавливается, частично выплескивается и вновь принимает горизонтальную поверхность.

Обычные конструкции клапанов для включения и регулирования количества газа

Для включения и выключения генераторов в простейшем случае применяют шиберы. При низкой температуре газа, например при дровяном и торфяном газе, их делают из тонкого листового железа (4—5 *мм*); при высокой температуре газа, например при каменноугольном газе, применяют чугунные шиберы. Вертикальное положение шиберов не дает достаточной плотности, так как между шиберами и стенками газопровода остается щель. В горизонтальном положении они более плотны, так как давят на кладку или раму своим весом со всех сторон отверстия; кроме того горизонтальные шиберы можно засыпать песком.

Более надежным устройством, применяемым в случае газа невысокой температуры, являются перекидные рукава (рис. 108). Они помещаются в чугунных жолобах с водой, создающих водяной затвор для отделения газопровода от атмосферы. Для выключения генератора достаточно сбросить рукав и поставить на жолоб чугунную или железную крышку. Материалом для рукавов служит 2—3-миллиметровое железо.

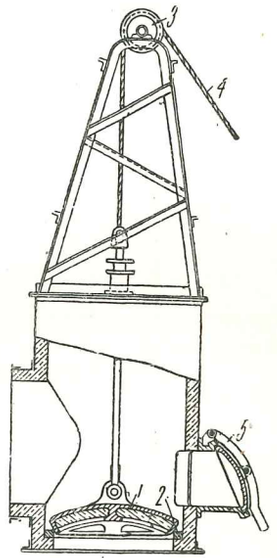
Иногда в перекидных рукавах устраивают внутренние клапаны для отключения генераторов от коллектора без подъема рукава с целью



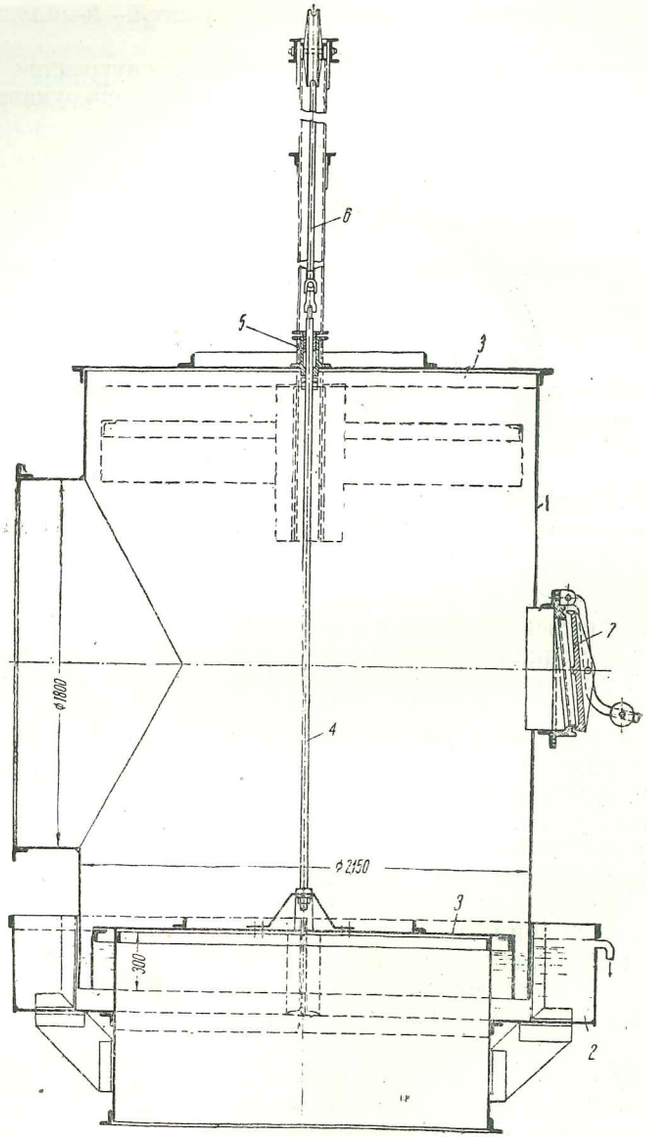
108. Гидравлический затвор с перекидным рукавом:
1—перекидной рукав; *2*—рамки с жолобками с водой *3*—газопровод или ход к генератору

избежать выделения значительного количества газа. Внутренние клапаны или прижимаются к стенкам отверстия или садятся в жолоба, заполненные водой, создавая затвор.

Удовлетворительное уплотнение достигается устройством тарельчатых клапанов (рис. 109), устанавливаемых при горячем газе за пылеуловителями для включения и выключения генератора. Эти же клапаны при неочищенном газе применяются у печей для регулировки количества подаваемого газа. Они применяются как в железных, так и в кирпичных газопроводах; их ставят в местах перехода вертикальных каналов в горизонтальные. Монтируются клапаны в цилиндрической или квадратной коробке, снабженной чугунной или железной крышкой, через которую проходит шток клапана. Самый клапан состоит из чугунной тарелки с конической боковой поверхностью, прижимаемой к чугунному седлу — кольцу. Тарелка подвешена на штоке и связана с ним шарниром или же болтом или чекой. Подъем тарелки достигается с помощью троса, перекинутого через блок, от руки или лебедкой, или с помощью колонки с винтом и маховичком. При высоких температурах газа тарелки и седла должны выполняться из гематитового чугуна.



109. Тарельчатый затвор:
1—тарелка, *2*—седло, *3*—блок, *4*—трос, *5*—предохранительный клапан



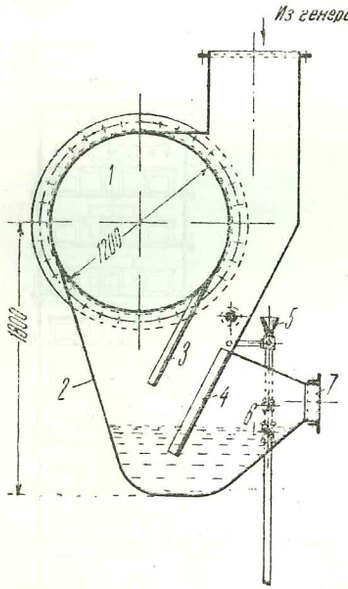
110. Тарельчатый клапан с гидравлическим затвором:

1—коробка клапана: *2*—гидравлический затвор; *3*—тарелка клапана; *4*—шпиндель клапана; *5*—сальник; *6*—трос; *7*—предохранительный клапан

Высота коробки клапана устанавливается по полному его открытию, при котором боковое отверстие входа или выхода совершенно свободно и не заслоняется клапаном. При больших давлениях газа крышки коробок снабжаются сальниками для штоков тарелок, предохраняющими от выделения газа.

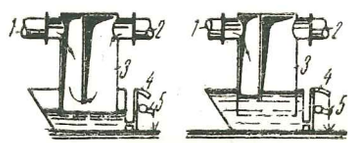
Коробка снабжается предохранительным клапаном, через который возможно засыпать тарелку песком при выключении генератора для придания клапану большей плотности; через этот клапан можно также проникнуть внутрь.

Подобные тарельчатые клапаны без гидравлических затворов применяются для горячего газа. Они не являются идеально плотными, поэтому в случае невысокой температуры и смолистости газа (из дров, торфа, бурого угля) применяются тарельчатые клапаны, снабженные гидравлическими затворами (рис. 110).



111. Гидравлический затвор, заливаемый водой

На рис. 157 представлено соединение металлическим газопроводом генератора с коллектором при каменноугольном газогенераторе. Газ выходит по футерованному колену из генератора и направляется в пылеуловитель и отсюда в коллектор. У первого поворота



112. Гидравлический затвор

установлен тарельчатый клапан с винтовой колонкой для включения и выключения генераторов.

На рис. 56 представлено соединение торфяного генератора с коллектором с помощью перекидного рукава, снабженного клапанами.

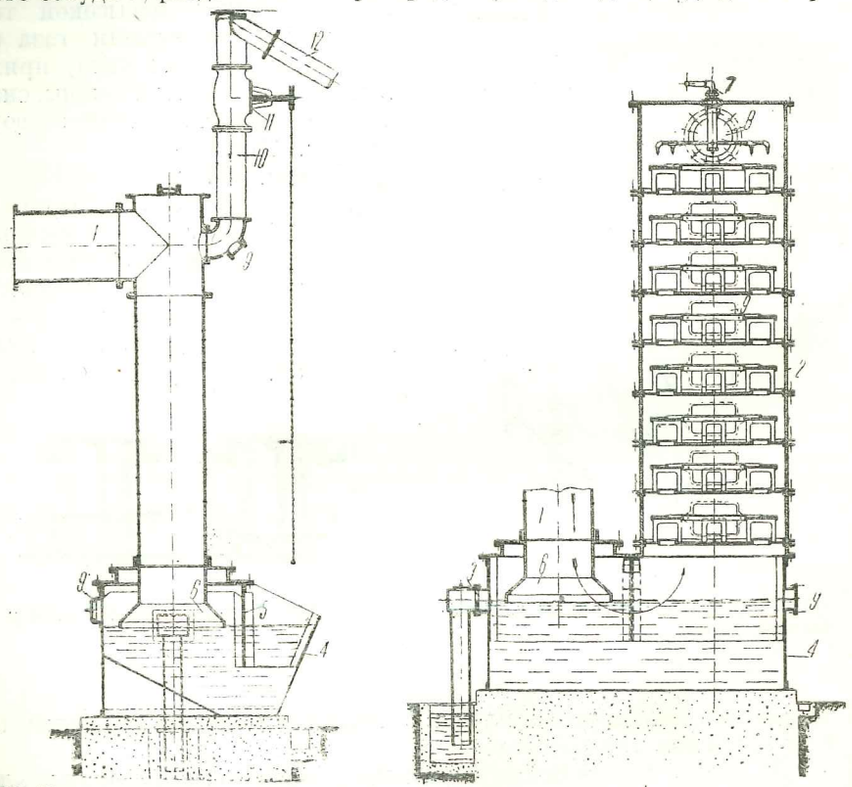
На рис. 50 представлено соединение дровяного генератора с коллектором с помощью короткого соединительного горизонтального канала. Отключение генератора производится опусканием вертикального шибера.

Кроме плоских шиберов, перекидных рукавов и тарельчатых клапанов для включения и выключения преимущественно при смолистом газе невысокой температуры применяют также гидравлические затворы типа, изображенного на рис. 111. Они состоят из железного прикрепленного к газосборнику *1* сосуда *2*, разделенного перегородками *3* и *4* и соединенного с генератором. Через воронку *5* в затвор поступает вода. Если вентиль *6* закрыт, то вода находится на уровне воронки и генератор выключен из сети. Если открыть вентиль *6*,

то уровень воды опустится, и генератор соединится с коллектором. Водяной затвор снабжен отверстием *7* для очистки на ходу, так как на дне его собираются пыль и смола, уносимые газом из генератора. Нижняя перегородка *4* служит для отделения затвора от атмосферы.

Эти затворы служат для надежного отключения участков газопроводов.

Аналогичный затвор представлен на рис. 112. Он состоит из железного сосуда *3*, разделенного перегородкой, не доходящей до дна. Через



113. Гидравлический затвор с барботером и тарельчатый охладитель:
1—ход из генераторов; *2*—тарельчатый охладитель; *3*—щель для стока воды; *4*—корпус затвора; *5*—перегородка; *6*—барботер; *7*—подача воды в охладитель; *8*—отвод газа; *9*—люки; *10*—пусковая труба; *11*—клапан пусковой трубы; *12*—ввод продувной трубы от скрубберa

газопровод *1* входит газ, проходит под перегородкой и выходит в газопровод *2*. Для выключения газопровода *2* сосуд заливают водой через трубку *4* таким образом, чтобы перегородка оказалась в воде. Максимальный уровень воды контролируется трубкой *4*. Для включения газопровода следует выпустить воду из сосуда через трубку *5*.

Затвор может быть прочищен на ходу. Он служит также предохранительным клапаном.

Другой гидравлический затвор представлен на рис. 113. В нем

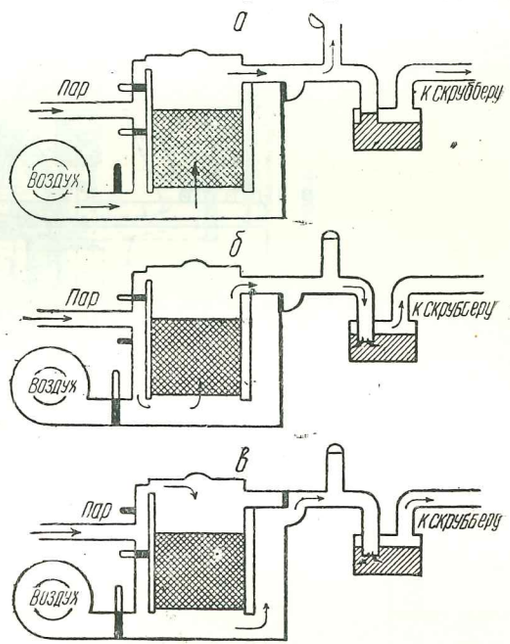
газ проходит через трубу *1*, проходит водяной затвор, пробулькивает через воду и выходит в тарельчатый охладитель *2*. При прекращении подачи газа труба *1*, подающая газ, остается выключенной затвором. Уровень воды в гидравлическом затворе остается постоянным и может регулироваться путем установки положения щели *3* для стока воды. В затвор постоянно течет из охладителя вода, стекающая через указанную щель *3*.

Описанный затвор играет также роль предохранительного клапана. Недостаток воды, выплескиваемой частично при взрыве наружу, быстро восстанавливается благодаря постоянному ее притоку.

На рис. 192 представлена схема присоединения торфяного генератора к коллектору с помощью заливаемого водой гидравлического затвора.

Гидравлические затворы с барботером применяются и в установках водяного газа. Схема подобного затвора представлена на рис. 114; здесь показано различное положение клапанов в зависимости от рода и направления дутья.

При большом давлении газа, имеющем место в период дутья пара, задвижка к трубе для выпуска газов в атмосферу закрыта, и газ, пробулькивая через воду, направляется к скрубберу. Другие задвижки регулируют ход водяного газа сверху и снизу.



114. Путь газов и положение клапанов:
а—в период воздушного дутья; *б*—в период дутья пара снизу; *в*—в период дутья пара сверху

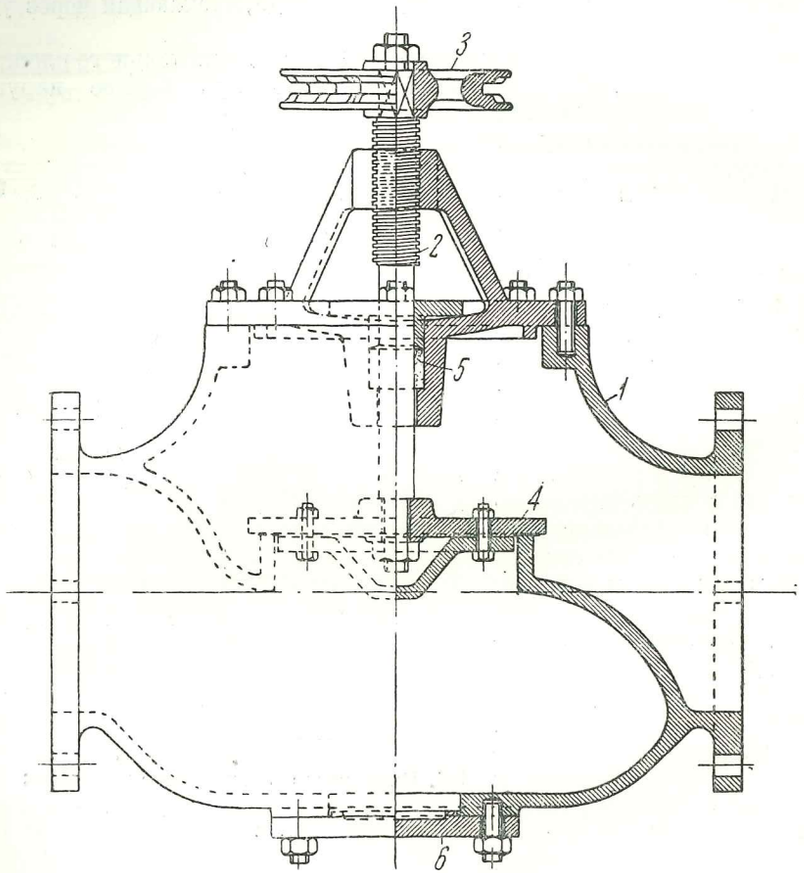
В период горячего дутья открыта труба в атмосферу, и газы выходят через нее. Давление газа недостаточно для преодоления сопротивления столба воды в затворе.

Если давление газа за затвором больше, чем в генераторе, обратного движения газов не произойдет, так как вода из внешней коробки будет выдавлена в трубу, подводящую газ, на большую высоту.

На этом принципе основано применение гидравлических обратных предохранительных клапанов. При падении давления в подводящем трубопроводе ниже давления в трубопроводе за затвором уровень воды в затворе будет опускаться, а в подводящей трубе — подниматься. Высота затвора в подводящей трубе, уравновешивающая давление газа за затвором, будет расти очень быстро, так как отношение высот

подъема воды в подводящем трубопроводе и опускания в затворе обратно пропорционально отношению их площадей сечений, и обратного прохождения газов не произойдет.

Тарельчатые клапаны и плоские шиберы могут служить не только для включения и выключения газа, но и для регулировки количества



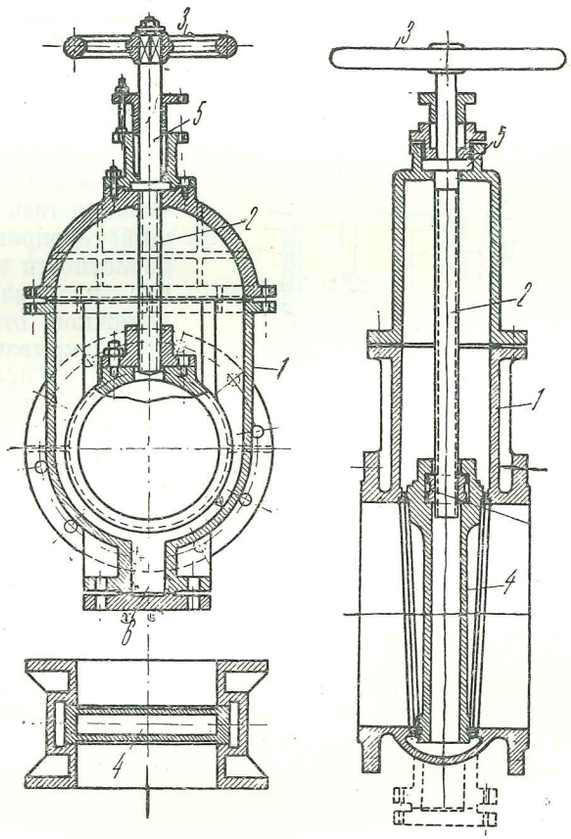
115. Тарельчатый вентиль:
1—корпус, *2*—винт, *3*—маховичок, *4*—тарелка вентиля, *5*—сальник, *6*—контрольный лючек

подаваемого газа путем большего или меньшего открытия их, причем плоские шиберы могут служить лишь для малых давлений, так как являются недостаточно плотными.

Помимо этих затворов в металлических газопроводах для очищенного газа применяются также тарельчатые вентили [1] по типу рис. 115

[1] Разница между вентилем и задвижкой заключается в том, что запорная поверхность у задвижки движется перпендикулярно потоку движущегося газа, а у вентиля — параллельно.

и задвижки типа водяных «Лудло» (рис. 116). В подобных тарельчатых вентилях седло для тарелки создается не поворотом газопровода, а установкой соответствующей перегородки в самом клапане. Что касается задвижек, то в них плотность достигается прижимом клина к щекам клапана с помощью винта с цепным или ручным маховичком. Задвижки снабжают снизу отверстиями, для того чтобы можно было



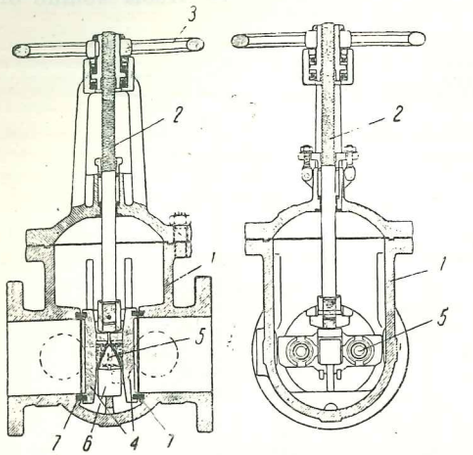
116. Задвижка Лудло:
1—корпус задвижки, *2*—винт, *3*—маховичок, *4*—задвижка, *5*—сальник, *6*—контрольный лючек

время от времени прощупать рукой задвижку, проверить, насколько плотно закрыто отверстие.

Плотность вентилей и задвижек, применяемых при более высоких давлениях газа, часто обеспечивают путем заполнения водой загибов газопроводов, предусматриваемых за вентилями и задвижками. У мест потребления газа (конечные отводы) подвешивают иногда на цепи или тросе заглушки, которыми помимо клапана для надежности при остановках выключают газопроводы.

Клапаны высокого давления

Конструкция задвижки для высокого давления газа представлена на рис. 117. Ее особенностью является наличие вместо одной тарелки двух дисков, из которых каждый после опускания клапана с помощью рычажного или клинового приспособлений зажимает соответствующую часть газопровода. Корпус клапана и диски снабжаются сменяемым уплотнением (кольцами).



117. Задвижка для газа высокого давления:
1—корпус клапана; *2*—винт; *3*—маховичок; *4* – диски; *5*—пружины, стягивающие диски; *6*—клин; *7*—уплотняющие кольца

Чтобы избежать просачивания газа в принимающий газопровод в случае неплотности клапана, корпус клапана снабжается вытяжкой, открывающейся при закрывании клапана. Этим предупреждается возможность повышения давления в корпусе клапана, которое может возникнуть в результате пропуска газа диском, замыкающим подающий газопровод.

Предохранительные клапаны

Сила взрыва, получающегося в газопроводе при воспламенении образовавшейся в нем взрывчатой смеси, воспринимается преимущественно торцевыми частями газопровода, где и устанавливаются достаточные по размерам предохранительные клапаны, которые вместе с тем служат и для чистки газопроводов и в качестве лазов. Предохранительный клапан должен в случае взрыва взрывчатой смеси открыться, выпустить воспламенившуюся смесь и закрыть при понижении давления отверстие, сообщающее газопровод с атмосферой во избежание присоса воздуха и возможного повторения взрыва.

При кирпичных газопроводах роль предохранительных клапанов играют шамотные плитки, лежащие на отверстиях для чистки. Ввиду слабой прочности открытых кирпичных газопроводов в отношении разрывающих усилий при сильных взрывах с них иногда сбрасывает своды.

В металлических газопроводах чаще всего применяют металлические предохранительные клапаны-хлопушки (рис. 118). Этими же клапанами пользуются при чистке газопроводов для удаления смолы и пыли, для чего их иногда располагают вдоль всего газопровода с промежутками в несколько метров.

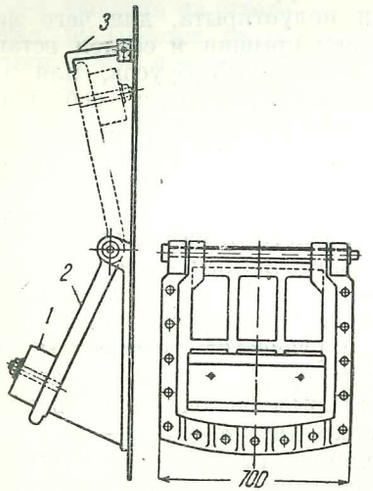
Обыкновенно подвижная часть клапана делается настолько

тяжелой в нижней кромке, что размах ее при взрыве невелик и после взрыва она в силу своей тяжести садится на место. Если же при больших отверстиях крышка клапана делается более легкой конструкции, то необходимо прикрепить к клапану планку, ограничивающую высоту подъема крышки клапана.

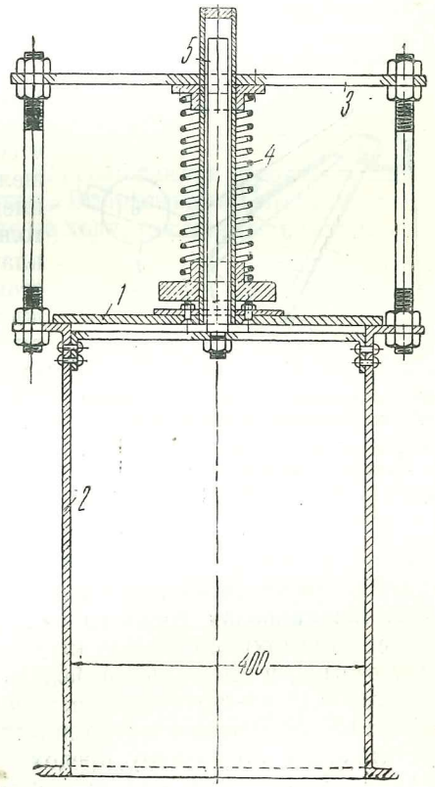
Для большей плотности клапана крышка в месте соприкосновения с седлом промазывается глиной.

Иногда применяются клапаны, снабженные крышкой, которая помещается в жолобе и заливается свинцом или замазывается глиной. В случае взрыва подъем крышки с грузом, движущейся по направляющей, ограничивается скобой, прикрепленной к газопроводу.

На рис. 119 показан пружинный предохранительный клапан. При взрыве крышка приподнимается по направляющей и сжимает пружину, которая затем возвращает крышку в исходное положение.



118. Предохранительный клапан-хлопушка:
1 — груз, *2* — крышка, *3* — скоба, удерживающая клапан в поднятом положении



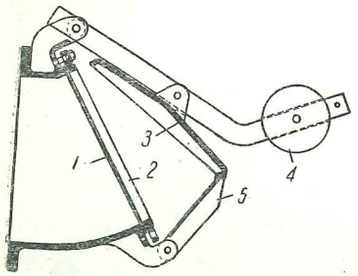
119. Пружинный предохранительный клапан:
1—тарелка, *2*—корпус, *3*—упорная пластина, *4*—пружина, *5*—направляющая

Иногда применяют гидравлические предохранительные клапаны (рис. 112 и 113). Роль гидравлического клапана уже упоминалась выше: в нем вода, выплескиваясь при взрыве и быстро принимая горизонтальную поверхность, заменяет откидную крышку. Для того

чтобы подобный клапан был вполне безопасен, в нем после взрыва должно оставаться достаточное количество воды, и приток воды к нему должен обеспечивать затвор. Этому условию отвечает конструкция, представленная на рис. 113: вода из охладителя стекает в гидравлический затвор. Значение обратного клапана (рис. 114) описано выше.

Предохранительные клапаны, служащие в то же время и для чистки газопроводов, всегда ставятся у затворных клапанов, в местах поворотов газопроводов и против выхода газа из генератора.

Предохранительные клапаны устанавливаются также и при наличии регуляторов давления на случай порчи последних, засоса воздуха и взрыва. В установках для холодного и очищенного газа при давлениях больше 100 *мм* вод. ст., чтобы избежать утечки газа через щели, применяют клапаны с алюминиевыми или свинцовыми листами толщиной в 0,5 *мм* (рис. 120). Крышка клапана с грузом в нормальном состоянии полуоткрыта, для чего между краем крышки и седлом вставляется деревянный брусок, или же крышка поддерживается собачкой. При взрыве крышка слегка приподнимается, брусок или собачка падает, и крышка тяжестью груза и своей собственной тяжестью прижимается к седлу и действует как обыкновенный предохранительный клапан до тех пор, пока не переменят лопнувший лист, что может быть сделано на ходу, если лист заложен в специальной рамке, которую можно вынуть.



120. Предохранительный клапан с металлической пластинкой:

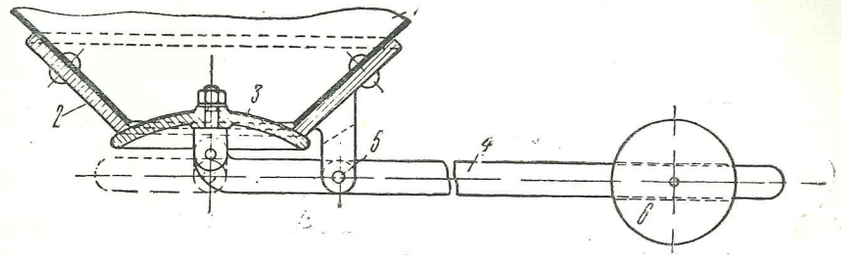
1 — металлическая пластинка; *2* — рамка, зажимающая пластинку; *3* — крышка; *4* — груз; *5* — собачка

В газопроводах горячего газа легко разместить достаточные по размеру предохранительные клапаны, умеряющие или уничтожающие силу взрыва, и тем самым избежать при взрыве больших разрушений. В установках же с очисткой газа очистительные устройства — скруббер, каплеуловители, электрофильтры и аппараты Тейсена — снабдить достаточными по размеру предохранительными клапанами затруднительно. Поэтому для заглушения взрыва целесообразно ставить после газовых вентиляторов предохранительные башни, заполненные коксом, представляющие собой устройство с большой поверхностью соприкосновения с газом, быстро его охлаждающее [63]. Башня снабжается предохранительными клапанами.

Действие кокса аналогично действию сетки Деви, применяемой в рудничном деле для безопасных ламп. Иногда в газопроводах устанавливают и предохранительные сетки.

Клапаны для чистки

Пылеуловители, мешки для пыли и отверстия в газопроводах, предназначенные для осаждения пыли, снабжаются специальными клапанами для удаления пыли.



121. Клапан пылеуловителя:

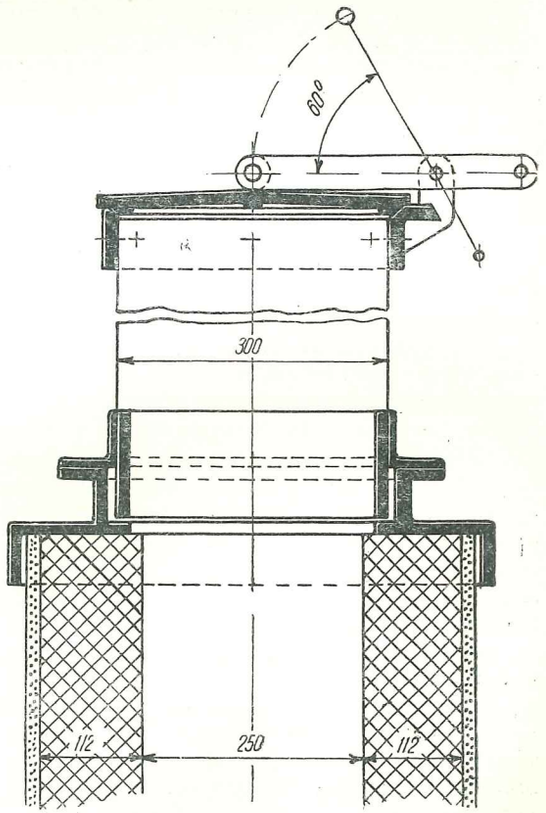
1—корпус пылевого мешка, *2*—седло, *3*—тарелка, *4*—рычаг, *5*—ось рычага, *6*—противовес

Клапаны пылеуловителей (рис. 121) снабжаются противовесами и самостоятельно закрывают отверстия. Выбрасывание пыли из пылеуловителей может быть произведено на ходу, так как газ в газопроводе находится под давлением. Сначала из отверстия высыпается столб пыли, потом появляется газ. В этот момент выпускают из рук рычаг, и клапан садится на место. Чтобы пыль не рассеивалась по воздуху, под клапаном пристраивают трубу с расширенной вверху частью и пыль ссыпается по трубе в подставленную вагонетку.

На рис. 159 представлен гидравлический затвор пылеуловителя, также допускающий очистку последнего на ходу.

Клапаны и трубы для пуска, продувки и выжига газа

Генераторы для разжига и выпуска газа в атмосферу снабжаются специальными трубами с клапанами. Если этих труб нет, то разжиг производится на загру-



122. Пусковая труба

зочную коробку генератора, и выделяющиеся газы создают тяжелые условия для обслуживающего персонала.

На рис. 113 и 122 представлены пусковые трубы. Устройству клапана вверху трубы (по рис. 122) приписывают то преимущество, что при работе генератора труба постоянно заполнена газом, чем предупреждается возможность образования взрывчатой смеси при пуске газа на воздух, тогда как при устройстве по рис. 113 выпускаемый при открытии клапана газ может образовать с находящимся в трубе воздухом взрывчатую смесь. На практике вследствие малого диаметра этих труб и интенсивного вытеснения воздуха газом хлопков не наблюдается.

Иногда соединение генератора с пусковой трубой может осуществляться подвижным отрезком трубы, насаживаемым на люк газоотводного штуцера. Неудобством этого устройства является выделение газа при открывании люка, а также присос воздуха через неплотности между насаживаемым отрезком трубы и люком и пусковой трубой, вызывающий в случае высокой температуры газа горение его и раскал трубы.

Пусковые или продувные трубы ставят и после очистных устройств и в конце газопроводов для удаления из них при пуске или опорожнении газопровода газа, воздуха и взрывчатой смеси. Для этой же цели газопроводы часто соединяют с дымовой трубой соединительным коленом или газопроводом с клапаном, и выпуск взрывчатой смеси производится путем открывания клапана на трубу.

Клапаны установок водяного газа

В установках водяного газа пар подводится то вверху слоя, то внизу, и водяной газ отводится соответственно то снизу, то сверху генератора.

Для попеременного выключения пара могут быть применены или отдельные быстродействующие клапаны или трехходовый клапан по типу представленного на рис. 123.

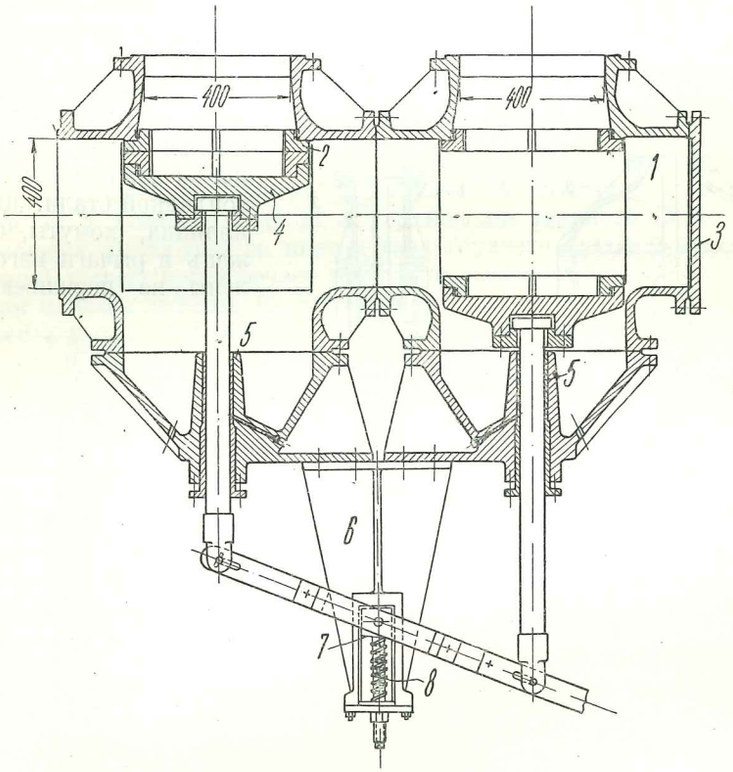
На газопроводах от генератора устанавливаются обычно отдельные клапаны, называемые горячими клапанами. Через эти клапаны проходят или продувочные газы или водяной газ. Как уже указывалось, эти газы в дальнейшем часто пропускают через гидравлические затворы, описанные выше.

Клапаны, применяющиеся в установках водяного газа, связывают друг с другом таким образом, чтобы они могли переключаться лишь в определенной последовательности.

Горячие клапаны, применяемые в генераторах водяного газа, работают в очень тяжелых условиях [35]. Они часто открываются и закрываются, причем пропускают пыльные, горячие и разъедающие газы; температура их в промежутках между переводами то повышается то понижается. Помимо этого они подвержены напряжениям от расширения и сжатия соседних частей. При всех указанных тяжелых условиях работы к этим клапанам предъявляются высокие требования в отношении их плотности и безотказности в работе. По этим

причинам конструкциям задвижек для больших установок уделяют особое внимание, изготовляют их из специального жароупорного металла и снабжают водяным охлаждением.

Сложность управления задвижками генераторов для водяного газа и необходимость быстрого и точного действия их вызвали применение автоматических приспособлений, переставляющих задвижки. Все большие генераторные установки для получения водяного газа



123. Паровой трехходовой клапан:

1—корпус клапана, *2*—седло, *3*—крышка, *4*—тарелка, *5*—шпиндель, *6*—рычаг с грузом, *7*—ползун, *8*—пружина

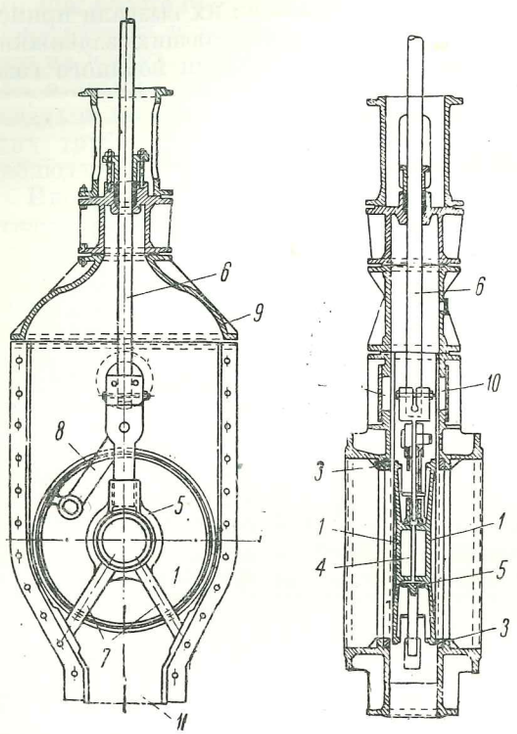
оборудуются подобными устройствами, что обеспечивает безопасность установки, увеличение ее производительности и к.п.д. и при наличии нескольких установок — экономию в персонале.

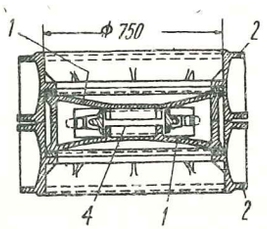
На рис. 124 представлена задвижка генератора водяного газа. Уплотнение создается двумя дисками.

Диски *1* снабжены кольцевыми приливами, которыми они прижимаются к седлам *3*. Внутренние соприкасающиеся фланцы *4* дисков охвачены хомутом *5*. Фланцы очерчены по винтовой линии, и при вращении дисков последние плотно прижимаются к седлам. При опускании стержня *6* диски с хомутом опускаются до тех пор, пока шипы *7*

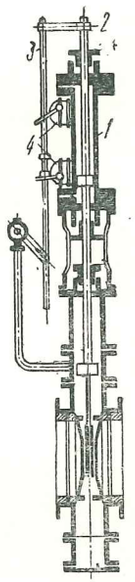
хомута не придут в соприкосновение с кожухом; движение стержня *6* продолжается, и рычаги *8*, связанные со стержнем и дисками, вызывают вращение дисков в противоположном направлении. При этом диски отодвигаются друг от друга и прижимаются к седлам.

Корпус *2* задвижки — стальной и состоит из двух частей, соединенных фланцами. Верхняя крышка *9* изготовлена из гематита. Сменяемые седла выполнены из нержавеющей тугоплавкой стали. Диски клапана, хомуты, стержень и рычаги изготовлены из нержавеющей





124. Задвижка генератора водяного газа



125. Схема привода задвижки водяного газа

стали. Для доступа к концу стержня *6* предусмотрены два отверстия *10* и для доступа к дискам и хомуту — отверстие *11*.

Клапан может иметь вспомогательный клапан для удаления газов из самого клапана в атмосферу, а также для отвода конденсата.

Привод задвижки представлен на рис. 125. Задвижка приводится в действие с помощью поршня, движущегося в гидравлическом цилиндре *1*. Шпиндель *2* связан с направляющей тягой *3*, приводящей в действие электрические переключатели *4*. С помощью этих переключателей механизмом автоматического управления учитывается положение задвижки.

Управление работой клапанов в установках водяного газа

К прибору, управляющему работой клапанов в установках водяного газа, предъявляются требования: прочности, точности работы, установки клапанов при неполадках в безопасное положение, легкости регулирования работы, малого расхода энергии, сигнализации о неполадках и т. д.

Управление работой клапанов, применяемое в более старой установке, представлено на рис. 32. Здесь лебедка *16*, установленная на рабочей площадке, управляет перестановкой клапанов в воздухопроводе *12*, в дымовом ходе *13* и в ходах для водяного газа *3* и *4*.

Газовщик наблюдает за цветом газа горячего дутья и в соответствующий момент переключает генератор с горячего дутья на холодное при помощи лебедки *16*.

Преимущество автоматического управления работы клапанов в установках водяного газа отмечено в главе II.

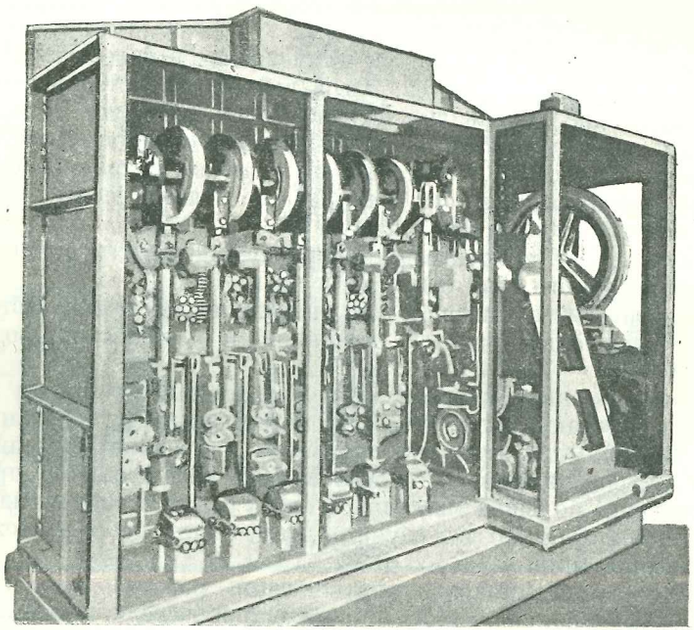
Ниже приводится описание различных устройств для автоматического управления работой клапанов в установках водяного газа [34, 35, 69].

В автоматических аппаратах для управления клапанами прибегают к использованию электрической, механической и гидравлической энергии. В небольших установках задвижки приводят в движение с помощью электромеханической передачи. При необходимости приведения в движение больших масс прибегают к использованию гидравлического сервомотора. Во всех случаях предусматривается возможность ручного управления.

Автоматический аппарат, управляющий работой задвижек, открывает и закрывает задвижки в определенной очереди, приостанавливает работу, если какая-либо из задвижек перестала двигаться или работает неправильно, при остановке устанавливает вентили в безопасном и годном для пуска в ход положении, дает при неполадках звуковой и световой сигналы, указывает положение, в каком задвижки находятся и в каком они должны были бы находиться, допускает изменение продолжительности всего или части цикла газификации.

Аппарат управления электрогидравлического механизма, представленный на рис. 126, контролирует работу шести вентилей, приводимых в движение гидравлическим путем. Механизм приводится в движение синхронным мотором переменного тока в 1,8 л. с., поле которого возбуждается постоянным током. Мотор с помощью червячной передачи приводит в движение распределительный диск (колесо времени), делающий полный оборот в 4—6 минут соответственно продолжительности цикла. Мотор также приводит в движение горизонтальный вал с шестью кулачными дисками. Каждый диск несет ленту, указывающую стадию, в которой находится операция в каждый от-

дельный момент. Передача от мотора к кулачному валу производится с помощью специального однооборотного механизма, останавливающегося после каждого оборота. Вращение этого механизма регулируется переставляемыми пальцами, расположенными на ободе распределительного диска. На каждую задвижку приходится два пальца, сцепляющихся при вращении распределительного диска поочередно с рычагом, оперирующим вышеуказанным однооборотным механизмом, который передвигает кулачный вал каждый раз на одну двенадцатую оборота.

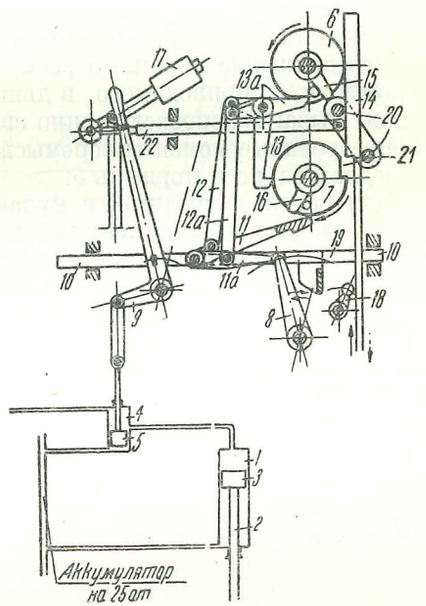


126. Автоматический аппарат управления большой установки

Расстояние между пальцами соответствует продолжительности фаз цикла. Обод каждого кулака имеет выемку, по которой ходит ролик, соединенный квадратным стержнем — зубчатой рейкой — со штоком первичного клапана. Первичный клапан регулирует ток масла, идущего под давлением в 30 *ат* к основным задвижкам и открывающего и закрывающего их. Каждая выемка соответствует условиям работы управляемого вентиля. Расположение кулаков на валу определяет работу их в определенном порядке, продолжительность же открытия или закрытия отдельных клапанов зависит от положения пальцев на распределительном диске.

Рейка, соединяющая ролик со штоком, сцеплена с шестерней, скрепленной с толстым диском, часть обода которого вырезана Диск соприкасается с другим таким же диском, приводимым в движение другой рейкой и шестерней. Диски, а следовательно и вал могут вращаться лишь в том случае, если вырез одного диска дает соответствующую возможность вращения другому диску. Диски связаны с клапанами, и следовательно последние связаны между собой определенным образом, препятствующим их движению в неправильном порядке.

Безопасность работы установки также обеспечивается системой непосредственной связи задвижек. Так, для избежания одновременного открытия задвижек воздуха и газа обратного парового дутья задвижки снабжены приводимыми в движение специальным гидравлическим устройством клиньями, которые могут препятствовать открытию задвижки. В закрытом положении обоих клапанов устройство бездействует, но при открытии одного клапана масло передвигает поршень гидравлического устройства, а с помощью последнего и клин в положение, не допускающее открытия второго клапана. Иная система взаимной связи предусмотрена между задвижкой для газа обратного дутья и трехходовым клапаном, контролирующим подачу пара вверх и вниз. Трехходовый клапан установлен с помощью груза таким образом, что стремится подать пар всегда снизу вверх. В необходимый момент последней частью движения задвижки для отвода газа снизу паровой клапан переставляется.



127. Схема аппарата для автоматического управления большой установки

Для ручного обслуживания кулачный вал с помощью гидравлического цилиндра передвигается по оси и при этом выносит ролики из выемок.

Устройство задвижки и гидравлического цилиндра, приводящего ее в движение, представлено на рис. 124 и 125.

Схема другого устройства автоматического управления, обслуживающего установку большой производительности, представлена на рис. 127 [69].

Каждая задвижка приводится в действие с помощью стержня *2* и поршня *3*, движущегося в цилиндре управления *1*. Пространство цилиндра под поршнем всегда соединено с водяным аккумулятором с давлением воды в 25 *ат*; пространство над поршнем, в зависимости от положения поршня *5* в распределительном цилиндре *4*, соединено или с этим же аккумулятором или с отводящим воду трубопроводом.

При подаче воды под давлением в верхнюю часть цилиндра *1* поршень движется вниз и открывает задвижку. При опускании поршня *5* и соединении верхней части цилиндра *1* с трубопроводом отработанной воды поршень *3* поднимается и закрывает задвижку.

Управление распределителем *4* производится следующим образом. Движению задвижки вверх и вниз соответствует перемещение пары кулачных дисков *6* и *7*. Диски расположены на двух параллельных валах, приводимых в движение мотором с редуктором (на рисунке не показанных).

Период полного оборота валов точно соответствует продолжительности цикла и регулируется изменением числа оборотов мотора. Аппарат, так же как и описанный выше, допускает изменение продолжительности отдельных периодов.

Передвижение поршня *5* распределителя производится с помощью коромысла *8*, приводимого в движение отдельным мотором и редуктором. Рычаг *9* непосредственно связан с поршнем *5* и со штангой *10*. В определенные моменты коромысло *8* приводит в движение штангу *10*, а следовательно и поршень *5*.

Для связи со штангой и кулачными дисками коромысло *8* сцепляется поочередно с клиньями *11* и *11а*. Эти клинья соединены с штангой *10* и связываются с дисками *6* и *7* с помощью стержней *12* и *12а* и пальцев *13* и *13а*.

В периоды, когда пальцы *13* и *13а* скользят по кулачным дискам *6* и *7*, клинья *11* и *11а* подняты, и движение поршня *5* не имеет места. Когда палец *13а* попадает в выемку диска *6*, клин *11а* опускается, захватывается коромыслом *8* и перемещается им влево. Вместе с клином *11а* увлекается и штанга *10*, передвигающая рычаг *9*, а вместе с ним и поршень *5*. Через несколько секунд после прохода выемки палец *13а*, следуя кривизне диска, перемещается таким образом, что клин *11а* выходит из соединения с коромыслом *8*, а следовательно прекращается и перемещение штанги *10*, рычага *9* и поршня *5*. При попадании пальца *13* в выемку диска *7* штанга *10*, рычаг *9* и поршни *5* и *3* движутся в противоположном направлении.

Ход поршней повторяется в аппарате управления посредством штанги *14*, приводимой в движение механически при помощи особого клапана. Если клапан не подчинился управлению, ход штанги *14* является неполным и не допускает свободного прохода пальцев *15* и *16*. Палец, например *16*, достигнув штанги *14*, толкает ее вправо, передвигая приспособление *21*, вращающееся вокруг оси *20* и перемещающее штангу *22* вправо. При перемещении штанги *22* освобождается груз *17*, при падении вызывающий отклонение приспособления *18*, надавливающего на упор *19* штанги *10*, и вызывающего перемещение поршня *5* в безопасное положение.

Останавливающий прибор приводится в движение при неполадках, отсутствии тока, понижении давления в воздухопроводе и т. д.

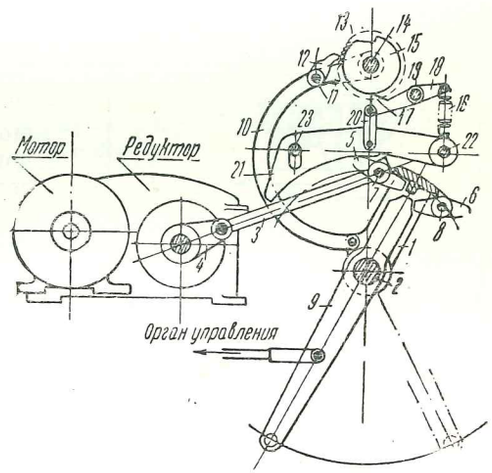
Вручную управление распределителем производится с помощью рукоятки рычага *9*.

Прибор дает возможность осуществить регулировку с точностью до $^1/_{150}$ продолжительности периода.

В установках небольшой производительности, если движущиеся части имеют малый вес, можно управлять ими без гидравлического сервомотора. В подобной установке, представленной на рис. 128, рычаг *9* связан с задвижкой системой стержней.

Коромысло *1*, помещенное на валу *2*, приводится в колебательное движение от мотора с редуктором, промежуточного рычага *3* и кривошипа *4*. Коромысло *1* вовлекает в движение язычки *5* и *6*, помещенные на валах *7* и *8*.

Изогнутый рычаг *10*, помещенный на коромысле *1*, при помощи рычага *11* и собачки *12* приводит в движение зубчатое колесо *13* и вал *14*, делающие полный оборот в течение цикла. На вал *14* насажены кулачные диски *15*. Пружина *16* прижимает палец *17* к диску *15*. Палец *17* при помощи рычага *20* соединен с большим рычагом *21*. Для половины кулачных дисков рычаги *21* расположены на валу *22* и поддерживаются валом *23*; для другой же половины соответствующие рычаги (на рисунке не показанные) расположены на валу *23* и поддерживаются валом *22*. Нижние поверхности рычагов *21*, имеющих специальный профиль, поддерживают все время в определенном положении язычки *5* и *6* за исключением того момента, когда палец *17* попадает в выемку кулака. В этот момент рычаг *21* поднимается и освобождает язычок *5*, принимающий то же положение по отношению к рычагу *9*, какое на рисунке имеет язычок *6*. При колебательном движении язычок *5* передвинет рычаг *9*, и последний приведет в движение соответствующий орган, управляющий движением задвижки.



128. Схема аппарата для автоматического управления малой установки

На рис. 128 показан язычок *6*, освобожденный своим рычагом и приводящий в движение рычаг *9*. В соответствующий момент язычок *5* аналогичным образом вызовет движение, обратное описанному, и возвратит рычаг *9* в его первоначальное положение.

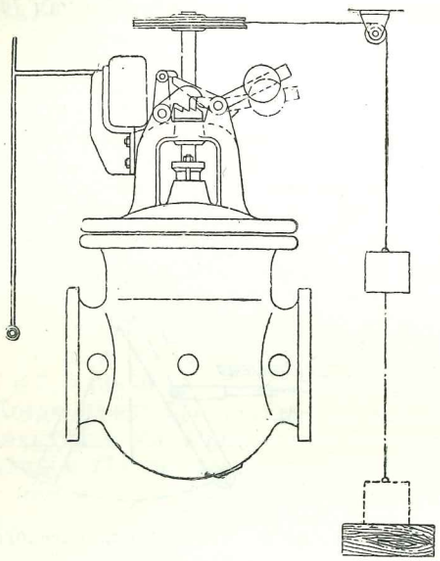
Надежность этого управления достигается при помощи соответствующей связи рычагов *9*.

Вручную рычаги приводятся в движение с помощью рукоятки. При ручном управлении специальное приспособление препятствует пальцу *17* рычага *18*, сидящего на валу *19*, падать в выемку соответствующего кулака.

Устройство дает возможность регулировать работу управления с точностью до $^1/_{50}$ продолжительности цикла.

Дистанционное управление клапанами

В современных больших генераторных станциях наблюдается стремление к созданию центральных органов управления работой станций. Наблюдения за положением клапанов в этом случае производятся путем соответствующих световых или звуковых сигналов. Однако одного контроля недостаточно. Если положение задвижки должно быть изменено, то дежурный должен иметь возможность произвести это изменение на расстоянии. Особенно важно бывает быстрое закрывание на расстоянии той или иной задвижки при аварии.



129. Приспособление для быстрого закрывания задвижки на расстоянии

Устройство, представленное на рис. 129, создает возможность осуществить такое закрывание [67]. Большой груз создает большое крутящее усилие на маховичок задвижки. Вращению шпинделя препятствует храповой механизм, собачка которого соединена с электромагнитом. При необходимости быстро закрыть задвижку достаточно включить ток (нажатием кнопки), замыкающий цепь магнита. Собачка освобождает маховичок, и груз, опускаясь до установленного на определенной высоте упора, быстро закрывает задвижку.

Подобное устройство применяют давно. Его недочетом является необходимость открывания задвижки от руки.

В последнее время для управления на расстоянии и удобства обслуживания применяют дополнительно к ручным электромоторные приводы.

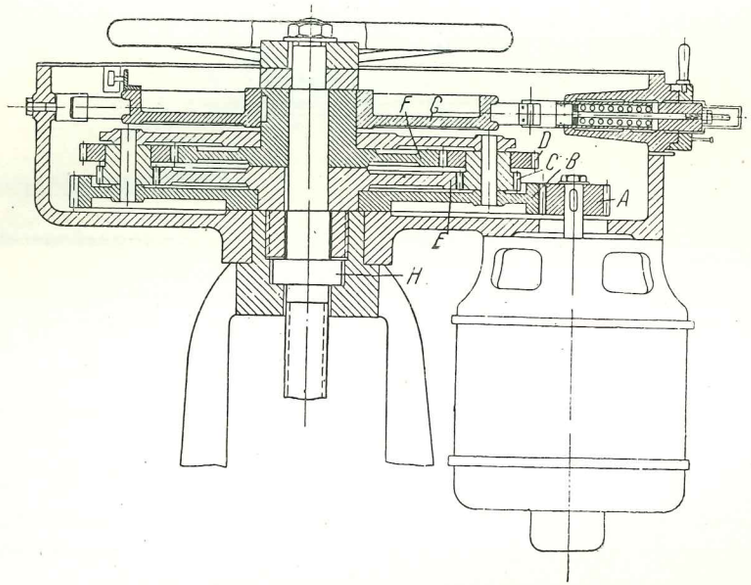
Весьма важным при подобном приводе является установление связи между ходом шпинделя клапана и плотностью закрытия задвижки, что осуществляется ограничением хода клапана концевыми выключателями или ограничением величины крутящего момента [67].

Концевые выключатели должны прерывать ток мотора в момент полного открытия или закрытия газопровода. Преждевременное выключение тока при закрытии задвижки обусловит неполное ее закрытие, а слишком позднее выключение тока создаст опасность перегрева мотора (рекомендуется предусматривать максимальные выключатели).

Во всех вращающихся частях передачи и мотора имеется запас кинетической энергии, и поэтому даже при преждевременном выключении мотора тарелки прижимаются к газопроводу; однако величина прижимающего усилия остается неопределенной.

Недостатком этого способа связи хода клапана с плотностью закрытия является таким образом трудность установки выключателей, а преимуществом — возможность останавливать задвижку в любом положении.

В последнее время получает развитие способ связи хода клапана с плотностью закрытия путем ограничения величины крутящего момента. При этом способе мотор при закрывании задвижки затягивает шпиндель до того момента, пока сила прижима диска не достигнет заранее установленной величины. В этот момент специальное приспособление, включенное на передаче от мотора к шпинделю (ограничитель), перестает передавать вращение на шпиндель. Мотор еще некоторое время вращается и останавливается. Усилие, необходимое для открывания, обычно меньше, чем для закрытия, и ограничитель легко передает это усилие.



130. Приспособление для ограничения крутящего момента

Ограничение величины крутящего момента может быть устроено по принципу планетарной передачи.

Величина крутящего момента, при которой ограничитель перестает передавать вращение, по данным Грюнбаума, колеблется в зависимости от величины задвижки в пределах 10—30 *кг*.

Выполнение привода по принципу планетарной передачи представлено на рис. 130. Шестерня A, сидящая на валу мотора, сцеплена с шестерней B, на которой расположены шестерни C и D планетарной передачи, сцепляющиеся с шестернями E и F. Шестерня F наглухо соединена с тормозом G, а E — со шпинделем H задвижки. Ввиду того,

что свинченные наглухо шестерни C и D имеют разное число зубьев, шестерни E и F должны при работе передачи изменять свое взаимное положение, т. е. смещаться друг относительно друга таким образом, что шестерня F, соединенная с ленточным тормозом, будет неподвижна, а шестерня E будет вращаться со шпинделем задвижки. При этом задвижка будет открываться или закрываться. Когда в крайнем положении клапана величина крутящего момента превзойдет установленную тормозом величину, шестерня E со шпинделем остановится, а шестерня F начнет вращаться, протягивая тормозное колесо G под лентой. Сила, а следовательно и момент, необходимые для этого, устанавливаются натяжением ленты.

На тормозном колесе предусмотрен кулачок, выключающий при движении колеса ток мотора.

Глава четвертая

ПОДАЧА ВОЗДУХА И ПАРА В ГЕНЕРАТОРЫ

1. ПОДАЧА ВОЗДУХА

Общие соображения

В генераторах, работающих с естественной тягой (самодувно), воздух подается вследствие разности весов столбов холодного наружного воздуха и нагретого газа в генераторе. Эта же сила продвигает газы в самом генераторе и создает вверху его положительное давление, потребное для движения газа в газопроводе (см. гл. II).

Увлажнение воздуха в этом случае достигается устройством бетонного поддувала и заполнением его водой. За счет лучеиспускания решетки, а также отдачи тепла раскаленными частицами золы и шлака, проваливающимися в бетонное поддувало, вода испаряется и примешивается к воздуху, поступающему в генератор. Ввиду ограниченности и незначительности напора, создаваемого самодувными генераторами [1], в случае большого сопротивления слоя топлива или же при необходимости преодолеть какие-либо сопротивления за генератором применяют искусственное дутье.

Искусственным путем воздух подается или пароструйными приборами-инжекторами и воздуходувками за счет энергии сжатого пара, или вентиляторами, воздуходувками и компрессорами с помощью электрической энергии.

Чтобы избежать разрежения в генераторе, газопроводах и очистительных устройствах, обычно воздух подается в генератор под давлением.

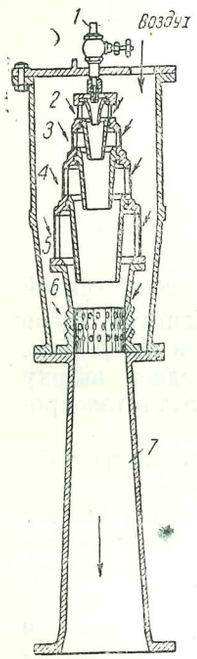
[1] Видно из следующего примера: высота генератора—4,5 *м*, средняя температура газа в генераторе — 650°, воздуха — 0°, объемный вес газа — 1,1 *кг/м*³ и воздуха — 1,29 *кг/м*³; располагаемый напор:

$$4{,}5\left(1{,}29-\frac{1{,}1\cdot 273}{650+273}\right)=4{,}3\ кг/м^2\ (4{,}3\ мм\ \text{вод. ст.}).$$

Количество воздуха, подаваемого в газогенераторы при получении воздушного или смешанного газа из различных топлив, приведено в табл. 61.

Давление дутья под решеткой при получении смешанного газа в генераторах без швельшахты составляет в среднем 100—200 *мм*, в газогенераторах со швельшахтой — 200—450 *мм* вод. ст. При производстве водяного газа давление воздуха под решеткой доходит до 700—1 000 *мм*. В установках с жидким шлакоудалением применяют более высокие давления.

При расчете вентиляторов и инжекторов следует учитывать утечку воздуха через неплотности. Основными местами утечек являются соединительные части воздухопровода и колосниковой решетки, кладка под генератором и дверцы и клапаны. Необходимо также учитывать увеличение потерь давления в трубопроводах и генераторе при возрастании производительности генератора.



131. Инжектор Эйнон-Эванса

Инжекторы

Для искусственной подачи воздуха раньше часто устанавливали пароструйные приборы-инжекторы. Иногда они применяются и в настоящее время для установок, работающих без мокрой очистки газа (горячий газ), преимущественно в качестве резерва благодаря надежности своей работы, простоте ухода за ними и независимости от наличия энергии на заводе. Инжектор (Эйнон-Эванса), изображенный на рис. 131, имеет следующее устройство [4]. По трубке *1* подается под давлением пар. При выходе из сопла пар приобретает за счет потери своего статического давления значительную скорость, благодаря которой, увлекая вследствие трения ближайшие частицы воздуха, присасывает (инжектирует) через отверстия *2*, *3*, *4*, *5* и *6* извне воздух, необходимый для газификации. В дальнейшем в раструбе-диффузоре *7* скоростной напор паровоздушной смеси частично переходит в статическое положительное давление, которое и служит для преодоления сопротивления слоя топлива в генераторе и создания необходимого положительного давления вверху генератора. Таким образом давление пара дает возможность присосать надлежащее количество воздуха и создать необходимое давление паровоздушной смеси.

При своих достоинствах — надежности, простоте и дешевизне — инжекторы имеют большой недостаток, заключающийся в том, что они не дают возможности установить надлежащее соотношение воздуха и пара, так как при изменении количества подаваемого пара количество подаваемого воздуха меняется непропорционально и кроме того количество пара не может быть ниже необходимого для создания

определенного положительного давления. Инжекторы часто вносят в генератор большие количества пара, ухудшающие процесс газификации и состав газа, а также увеличивающие расходы на производство пара.

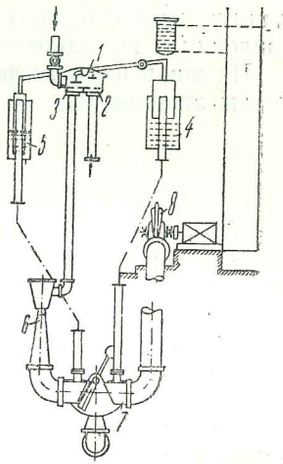
Особой подачи пара в генератор при применении инжекторов обычно не требуется.

При работе на очень влажном топливе подведение инжекторами излишнего пара особенно неблагоприятно отражается на режиме газификации. Недостатком инжекторов является также создаваемый ими сильный шум.

Инжекторы должны быть снабжены приспособлениями для дросселирования воздуха, чтобы требуемая температура смеси регулировалась независимо от давления струи. Между паровой магистралью и инжектором устанавливается редукционный клапан.

Как более экономичные, применяются многосопельные инжекторы, в которых воздух засасывается в нескольких ступенях, и паровоздушная смесь в каждой ступени служит для засасывания воздуха в следующую ступень. Сопротивление для прохода воздуха в инжектор и отдельные ступени не должно быть значительным. Устанавливается 4—6 сопел. Сечения сопел берутся средние пропорциональные между двумя рядом лежащими.

Иногда паровые наконечники снабжаются регулирующим приспособлением, дающим возможность изменять выходное сечение наконечника в соответствии с нагрузкой инжектора; при отсутствии такой регулировки сопла должны быть достаточно большими, чтобы выпускать количество пара, требуемое для максимальных давления и количества воздуха; в этом случае при уменьшении подачи воздуха и прикрывании парового вентиля (торможение пара) давление пара у выходного отверстия сопла и скорость его вытекания уменьшатся [4].



132. Приспособление для автоматического включения и выключения инжектора

Возможно устройство автоматического включения резервного инжектора при выключении тока, питающего дутьевой вентилятор, и наоборот. На рис. 132 представлена схема подобного приспособления германской фирмы «Петер» [44]. Оно снабжено двойным клапаном *1*, состоящим из двух вентилей, из которых вентиль *2* связан с воздухопроводом генератора, а вентиль *3* — с инжектором *6*. Добавляемый к дутью пар протекает через первый вентиль, второй же вентиль закрыт. Вентили связаны с колоколами *4* и *5*, погруженными в жидкость и сообщающимися с воздухопроводом *7* или инжектором *6*. Если давление в воздухопроводе упадет ниже давления газа, колокол *4* приходит в движение, переключает клапан *1* и пускает в ход инжектор. При пуске в ход вентилятора *8* клапаны вновь переключаются. Вместо колокола может быть применен электромагнит.

Расчет инжекторов. Скорость истечения водяного пара из отверстия наконечника инжектора при постоянном внешнем давлении p_a увеличивается с увеличением давления пара p_i, однако до известного предела, выше которого скорость остается неизменной. Значение отношения $\frac{p_a}{p_i}$, при котором скорость пара является максимальной, называется критическим; оно составляет для насыщенного пара 0,577 и для перегретого—0,546. Если величина отношения больше критического, то обыкновенный наконечник дает цилиндрическую струю с наибольшей возможной скоростью истечения. В случае большого давления пара (величина отношения меньше критического) применяют уширяющиеся наконечники—сопла Лаваля, в которых минимальное сечение соответствует скорости пара при критическом давлении, а выходное—максимально возможной скорости истечения.

Площадь наименьшего сечения наконечника f_m в $м^2$ определяется из выражения [70]:

$$\frac{G_{сек}}{f_m} = \psi_{max}\sqrt{2g\frac{p_i}{V_i}},$$

где: $G_{сек}$ — секундный расход пара в $кг$,
ψ_{max} — величина, равная для сухого насыщенного пара 0,45 и для перегретого — 0,473.
g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 $м/сек^2$,
V_i — удельный объем пара в $м^3/кг$,
p_i — начальное давление пара в $кг/м^2$.

Выходное сечение наконечника может быть взято согласно табл. 58 [71].

Таблица 58

Соотношение сечения выходного отверстия и минимального сечения

Пар \ $\frac{p_i}{p_a}$ =	2	4	6	8	10	20	50	60
Насыщенный	1,015	1,349	1,716	2,069	2,436	3,966	7,980	9,163
Перегретый	1,005	1,258	1,545	1,818	2,075	3,214	5,959	6,761

Необходимым условием для хорошей работы сопла является достаточно малая величина угла конусности, не превышающая 10°, так как при большей конусности струя отделяется от стенок сопла.

Для подсчета количества или давления потребного пара при заданном количестве воздуха и давлении паровоздушной смеси можно

воспользоваться уравнением количества движений масс пара и воздуха, а именно [9]

$$(M + m) \cdot x = \eta m v,$$

где: M — масса воздуха, засасываемого в 1 $сек$,
m — масса пара, подаваемого в 1 $сек$,
x — скорость смеси в $м/сек$,
η — к.п.д. смешения,
v — скорость истечения пара в $м/сек$.

Скорость истечения сухого насыщенного пара может быть определена по формуле [71]:

$$v = \varphi\, 1680 \cdot p_i^{0,03}\sqrt{1 - \left(\frac{p_a}{p_i}\right)^{0,12}},$$

где φ — коэфициент, колеблющийся от 0,8 до 0,96.

Величина потребного для работы генератора положительного давления увязывается с размерами диффузора, к.п.д. которого может быть принят равным 0,4 [9].

При давлении пара в 4 $ат$ (изб.), $\varphi = 0{,}9$, соотношении пара и воздуха 1 : 6 и $\eta = 0{,}8$ имеем:

$$v = 0{,}9 \cdot 1\,680 \cdot 5^{0,03}\sqrt{1 - \left(\frac{1}{5}\right)^{0,12}} = 650\ м/сек;$$

$$\left(\frac{6}{9{,}81} + \frac{1}{9{,}81}\right)x = 0{,}8 \cdot 650\,\frac{1}{9{,}81};$$

$$x = 74\ м/сек.$$

Этой скорости должно соответствовать минимальное сечение диффузора.

При расширении сечения диффузора сравнительно с начальным в 3 раза, температуре смеси, равной 60° [1], и объемном весе смеси в 1 $кг/м^3$, пренебрегая небольшим количеством сконденсированной влаги, получим:

$$0{,}4\,\frac{M+m}{2}\left(x^2 - \frac{1}{9}x^2\right) = pV,$$

где p — повышение давления смеси в $кг/м^2$,
V — объем смеси, составляющий при температуре смеси в 60°:

$$\frac{6+1}{1} = 7\ м^3,$$

откуда

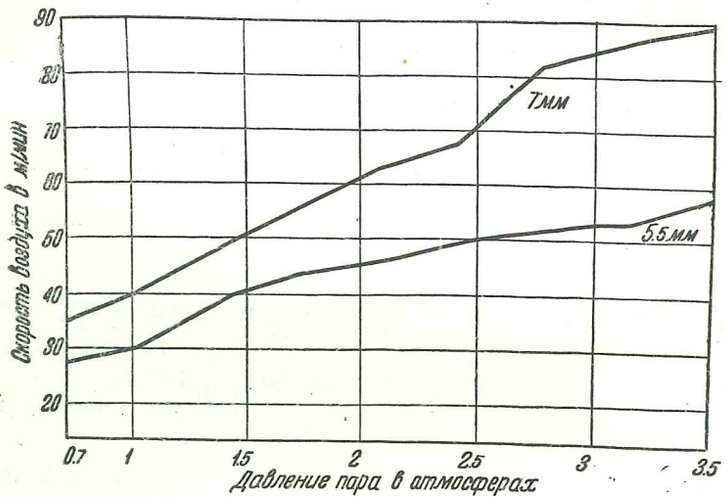
$$p = \frac{0{,}4 \cdot \frac{5+1}{2} \cdot \frac{8}{9} \cdot 74^2}{7} = 97\ кг/м^2\ (97\ мм\ вод.\ ст.).$$

[1] Температуру смеси и количество сконденсированного пара получаем из сопоставления прихода и расхода тепла с паром и воздухом.

Практические данные. При работе инжектора [4], подававшего 7,1 $м^3$ воздуха в минуту, давление дутья в зависимости от количества подаваемого пара колебалось следующим образом: при подаче в час 25 *кг* пара давление дутья составляло 51 *мм* вод. ст., при подаче 50 *кг* — 102 *мм*, при 66 *кг* — 152 *мм* и при подаче 100 *кг* — 254 *мм*.

На диаграмме (рис. 133) представлена характристика работы инжектора Эйнон-Эванса, в котором последнее сопло снабжено мелкими отверстиями для входа воздуха [4].

Кривые показывают зависимость скоростей воздуха от давления пара при двух размерах наконечников.



133. Характеристика работы инжектора Эйнон-Эванса

Диаграмма показывает (при давлении в 1,8 *ат*), что при увеличении количества пара на 63% (соотношение сечений наконечников) количество воздуха увеличивается только на 26%, и следовательно при необходимости увеличения количества подаваемого воздуха температура насыщения его, а следовательно и содержание влаги увеличиваются.

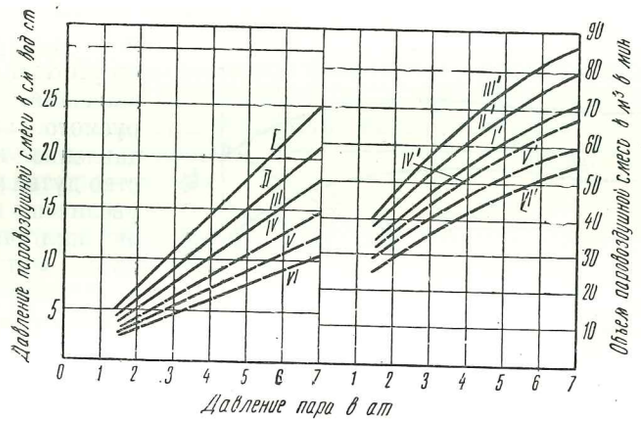
Диаграмма на рис. 134 показывает влияние изменения давления пара на давление паровоздушной смеси для инжектора Чапмана при двух размерах наконечников и различном открытии воздушных отверстий [4]. Из диаграммы видно, что для увеличения давления паровоздушной смеси при том же давлении пара количество воздуха должно быть уменьшено и что сохранение количества воздуха при повышении давления требует увеличения количества подводимого пара.

По работе инжектора Вельмана, обслуживавшего генератор, работавший на газовом угле, имеются следующие данные: давление пара — 1,5—2 *ат*, давление паровоздушной смеси — 80—100 *мм* и температура смеси 60—70° [56].

Центробежные вентиляторы

В настоящее время для подачи воздуха в генератор применяют преимущественно центробежные вентиляторы. Эти же вентиляторы применяются и для подачи газа, причем в последнем случае кожух вентилятора снабжается с одной или с двух сторон (по оси) трубами с фланцами для подвода газа и снизу — трубкой для отвода конденсата.

Газ или воздух поступают в эти аппараты в осевом направлении, и при прохождении между лопатками вращающегося колеса они



134 Характеристика работы инжектора Чапмана.
Пунктирные линии—насадка $d=11$ *мм* с коротким наконечником; сплошные линии — насадка $d = 13$ *мм* с длинным наконечником.

Кривые *I* и I^1 или *IV* и IV^1—при 36 открытых отверстиях;
Кривые *II* и II^1 или *V* и V^1—при 44 открытых отверстиях;
Кривые *III* и III^1 или *VI* и VI^1—при 52 открытых отверстиях.
Отверстия диаметром 33 *мм*

приобретают статическое давление и скоростной напор. Для превращения скоростного напора в статическое давление кожух вокруг наружного края ротора выполняется в виде спирали.

Для условий, существующих в газогенераторных установках, разность давлений у входного и выходного патрубков вентилятора остается неизменной (при тех же удельном весе газа и числе оборотов вентилятора). Эта разность давлений изменяется прямо пропорционально удельному весу газа, и следовательно, если удельный вес газа составляет по отношению к воздуху 0,75, то давление газа при тех же условиях, что и для воздуха, составит $^3/_4$ давления воздуха.

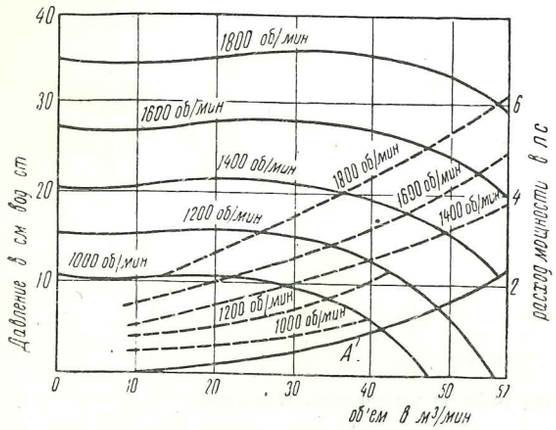
Объем газа, подаваемого вентилятором, прямо пропорционален числу оборотов вентилятора, разность же давлений пропорциональна квадрату скорости. Расход мощности, затрачиваемой на работу вентилятора, пропорциональный объему и разности давлений, меняется пропорционально третьей степени числа оборотов вентилятора.

Требуемая мощность в л. с. выражается уравнением:

$$N = \frac{V \cdot h}{75 \cdot \eta},$$

где V — секундный объем проходящего воздуха или газа в $м^3$,
h — разность давлений в *мм* водяного столба,
η — к. п. д., равный для обычных вентиляторов 0,4—0,5.

При этих вентиляторах количество подаваемого воздуха зависит от сопротивления системы. При увеличении этого сопротивления, например при зашлаковании решетки, уменьшается количество подаваемого воздуха. При отсутствии запаса давления, ликвидируемого задвижкой, давление и количество дутья могут быть увеличены путем увеличения числа оборотов вентилятора.



135. Характеристика работы газодувки высокого давления

Кривые рис. 135 показывают результаты испытаний газодувки высокого давления. Сплошные кривые показывают соотношение между давлением и объемом при различных числах оборотов, а пунктирные—соотношения между расходом энергии и объемом при одном и том же числе оборотов [4].

Сплошная кривая A дает скоростной напор газа при выходе его из вентилятора. Этот напор может быть частично превращен в статическое давление в случае установки конической расширяющейся трубы — диффузора.

При необходимости получения высоких давлений прибегают к установке многоступенчатых вентиляторов или же применяют ротационные вентиляторы и компрессоры.

Многоступенчатые вентиляторы (турбовоздуходувки) снабжаются двумя или большим количеством рабочих колес, установленных в ряд таким образом, что воздух из диффузора одного колеса поступает в середину другого колеса.

Воздух из первого колеса с большой скоростью попадает в диффузор, в котором скоростной напор переходит в статический, затем в следующее колесо и т. д. Чем больше колес, тем больше получаемое давление. Воздух может подводиться с одной стороны или с обеих. К.п.д. подобной турбовоздуходувки — 50—65% (поршневой — больше). Эти турбовоздуходувки очень чувствительны к колебаниям давления и загрязнениям. С уменьшением сопротивления они подают значительно большее количество воздуха, и наоборот.

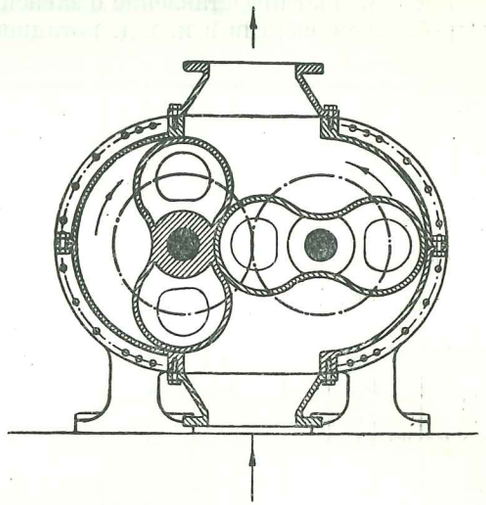
Турбовоздуходувки [72] для давления до 2,5 *ат* делают без промежуточного охлаждения. Работа их при температуре выхода воздуха в 180—200° С вполне надежна. Привод турбовоздуходувок — или от мотора или от паровой турбины.

Подобные турбовоздуходувки применяются и для транспорта газа при давлениях до 8—10 *ат*.

Ротационные вентиляторы и компрессоры

Для подачи малых количеств воздуха (и газа) под значительным давлением применяют ротационные вентиляторы и компрессоры, в которых поверхности, ограничивающие выделяемый объем воздуха, соприкасаются с внутренней поверхностью стенки кожуха.

Вентиляторы Рута. Ротационные вентиляторы и компрессоры Рута (Kapsel-Gebläse) изготовляются для давлений от 750 до 3 000 *мм* вод. ст. Они состоят из чугунного корпуса продолговатой формы, внутри которого вращаются в противоположных направлениях два фасонных крыла-колеса, заклиненных на валах (рис. 136). Оба колеса — одинаковой формы, возможно точно пригнаны, и поверхности их соприкасаются с внутренней поверхностью стен корпуса.



136. Ротационный вентилятор Рута

Поверхности колес и корпус обработаны. Валы обоих колес имеют опоры на торцовых стенках кожуха и связаны снаружи с помощью зубчатой передачи, помещенной в масляной ванне. Один из валов удлинен и снабжен шкивом для привода.

Подобные вентиляторы обычно имеют небольшое число оборотов; при длительной их работе рекомендуется снизить число оборотов до $^2/_3$ номинального, при этом к.п.д. ротационных вентиляторов составляет 60—70%.

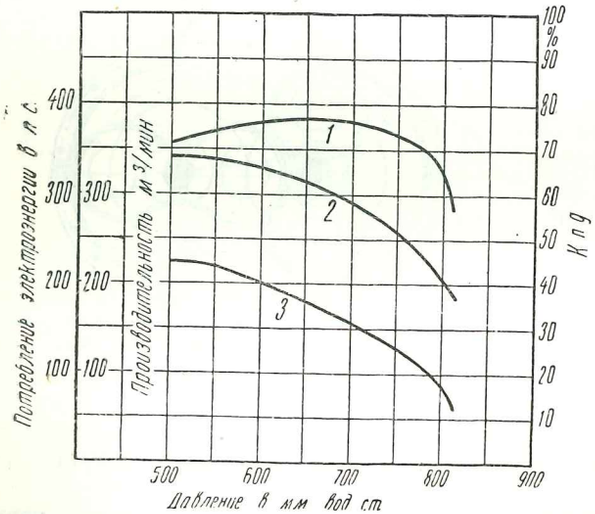
Эти вентиляторы подают неизменное количество воздуха независимо от сопротивления системы или слоя топлива, т. е. при увеличении сопротивления растет давление дутья. Данные о них приведены в табл. 59 [65].

Таблица 59

Размеры вентиляторов Рута

	Фабричный номер							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Подача (в $м^3/мин$) . . .	8,5	18	30	44	62	92	132	210
Число оборотов	500	500	400	350	325	330	330	220
Диаметры всасывающей и нагнетательной труб (в *мм*) . . .	90	125	160	200	250	300	360	450

Рис. 137 дает представление о зависимости между давлением дутья, потреблением энергии и к. п.д. ротационного вентилятора. Объемный к. п. д. его составляет 75—95%.

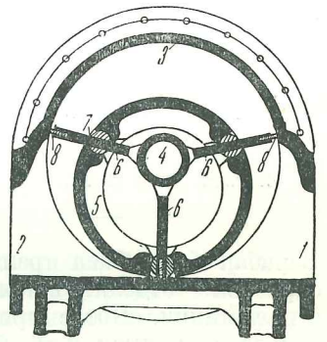


137. Характеристика работы вентилятора Рута:
1—к. п. д., *2*—потребление электроэнергии в л. с., *3*—количество воздуха в $м^3/сек$

Вследствие неизменности количества подаваемого вентилятором Рута воздуха регулирование количества дросселированием бесполезно. Изменение количества подаваемого воздуха и потребления энергии может быть достигнуто изменением числа оборотов вентилятора. При уменьшении расхода воздуха (или газа) давление воздуха увеличивается, что может иметь нежелательные последствия. Поэтому вблизи нагнетательного патрубка предусматривают предохранительные клапаны для выпуска воздуха. Вентиляторы снабжают также обводными байпассами, перепускающими воздух при уменьшении расхода его из напорного патрубка во всасывающий.

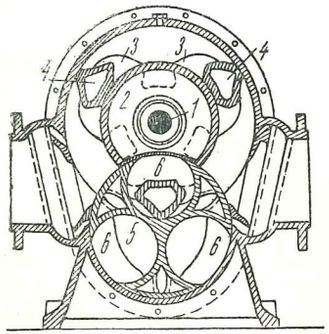
Вентиляторы с пластинами (Flügelrad-Gebläse). В цилиндрическом, обработанном изнутри, корпусе *3* ротационного вентилятора (рис. 138) с пластинами *6* (до 4) установлен цилиндрический

чугунный вращающийся барабан *5*, служащий для разобщения сторон всасывания и нагнетания (*1* и *2*). В середине корпуса *3* расположен неподвижный вал *4*, закрепленный в торцевой стенке, противоположной расположению привода барабана. На валу *4* насажены пластины *6*, могущие вращаться вокруг него. Каждая пластина проходит через прорезь в шарнире *7*, укрепленном в стенке барабана. Пластины легко перемещаются в шарнирах и при всех положениях плотно прилегают к внутренней поверхности цилиндрического корпуса *3*. При вращении барабана *5*, объемы камер, образуемые пластинами, сначала увеличиваются; при этом они засасывают газ из всасывающего патрубка. Когда при вращении барабана пластина выключает камеру, начинается уменьшение объема камеры и сжатие, продолжающиеся до сообщения камеры с нагнетательным патрубком. Края пластин прорезаны и в прорезах помещаются планки *8*, прижимаемые пружинками к стенкам корпуса.



138. Вентилятор с пластинами

В этих аппаратах число оборотов точно соответствует количеству воздуха. Регулировка происходит с помощью байпассов. Вследствие плотного прижима планок к корпусу требуется постоянная обильная смазка поверхности кожуха. Число оборотов вентилятора незначительно (80—130); расход энергии и износ невелики; величина достигаемого давления значительна; начальная стоимость и расходы на смазку больше, чем в других конструкциях [115].



139. Вентилятор с вращающимися поршнями

Вентиляторы с вращающимися поршнями (Kreiskolben-Gebläse). В последнее время находят применение вентиляторы с вращающимися поршнями [115]. На рис. 139 представлена подобная конструкция Энке. В овальном, суженном книзу, корпусе вентилятора расположен вращающийся вал *1*, проходящий через неподвижный, имеющий внизу вырез, чугунный барабан *2*. На обоих концах вала внутри корпуса заклинены фасонные пластины *3*, несущие 3 или 4 параллельные валу *1* ребра *4*. Ребра вместе с пластинами *3* вращаются в кольцевом пространстве между барабаном *2* и корпусом вентилятора.

В нижней части аппарата на валу, проходящем через стенку, укреплен барабан *5*. Вал *1* и вал барабана *5* связаны между собой двумя зубчатыми колесами со стороны, противоположной приводу.

Размеры вентиляторов Энке

	Фабричный номер						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Подача (в *м³/мин*)	3—4	6—8	9—12	12—15	15—18	18—21	24—48	34—36	40—45	60—120	85—160	125—240
Число оборотов в минуту .	220—250	210—240	200—220	109—210	175—200	175—200	160—180	155—175	150—170	150—240	150—240	150—240
Диаметр всасывающ. и нагнет. труб (в *мм*) . . .	150	175	200	250	275	300	325	350	375	400	450	500

Барабан *5* снабжен тремя цилиндрическими вырезами. Назначение барабана — отделить в нижней части корпуса пространство всасывания и нагнетания. После прохождения пространства нагнетания ребро *4* попадает в выемку *6* барабана *5*, где между ребром *4* и телом барабана имеется зазор. Вырез в верхнем барабане *2* соответствует положению сегмента нижнего барабана.

Потеря газа через зазор очень незначительна. Нагрузка зубчатых колес не велика; рабочим является только верхний вал.

Производительность подобного вентилятора регулируется, как и других ротационных вентиляторов, с помощью обводных газопроводов или изменением числа оборотов.

Создаваемое вентиляторами Энке давление — 400—3 000 *мм*; объемный к. п. д. вентиляторов Энке при давлении на выходе в 500 *мм* — 0,93—0,95, при давлении в 2 000 *мм* — 0,82—0,83 и при давлении в 3 000 *мм* — 0,60—0,70.

В табл. 60 приведены данные о размерах вентиляторов Энке [65]. К. п. д. ротационных вентиляторов составляет 75—80%. Затрата мощности может быть определена по формулам для поршневых компрессоров (см. гл. III).

Привод вентиляторов

Обычно дутьевые приспособления приводятся во вращение мотором. Во избежание больших потерь вследствие дросселирования при нормальной или неполной нагрузке желательно предусматривать регулирование числа оборотов мотора. При переменном токе от этого приходится отказываться. При моторах постоянного тока регулирование числа оборотов возможно.

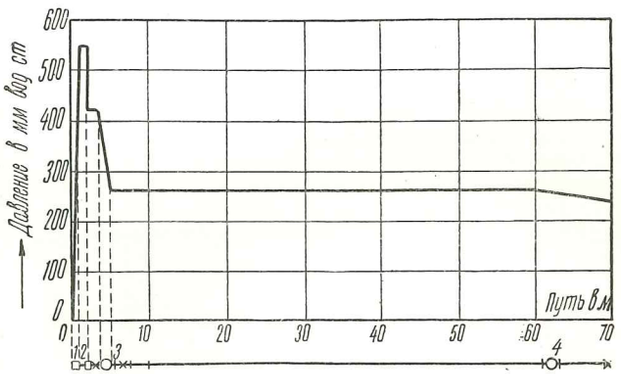
Можно изменять число оборотов при соединении вентиляторов с мотором ременной передачей путем смены шкивов. Однако применение ременной передачи вызывает сравнительно быстрый износ подшипников вентиляторов.

Следует обращать внимание на экономичность работы воздуходувки в пределах регулирования и устанавливать характеристики работы их при различных давлениях и количествах воздуха.

Таблица 60

Иногда в целях большей экономичности, удобства регулирования и большей независимости от наличия энергии применяют привод вентилятора от паровой турбины с использованием мятого пара турбины для увлажнения дутья. Привод от турбины дает возможность экономной регулировки числа оборотов при меняющейся нагрузке. При этом предусматривается возможность дополнительной подачи острого пара со стороны или же установки резервного мотора.

Преимущества подобного устройства сравнительно с инжекторами видны из следующего сравнения. Инжекторы расходуют при хорошем обслуживании, давлении пара в 8 *ат* и требуемом давлении дутья в 300 *мм* вод. ст. примерно 170 *г* пара на 1 *м³* воздуха, расход же пара с давлением в 2,5 *ат* на приведение в движение вентилятора, подающего в 1 мин. 100 *м³* воздуха с давлением в 400 *мм* вод. ст., составляет 80—120 *г* на 1 *м³* (25—35 *кг* на 1 л. с./час) [1].



140. Потери давления в воздухопроводе:

1—воздуходувка, *2*—задвижка, *3*—регулятор, *4*—клапан

Распределение давлений в воздухопроводе

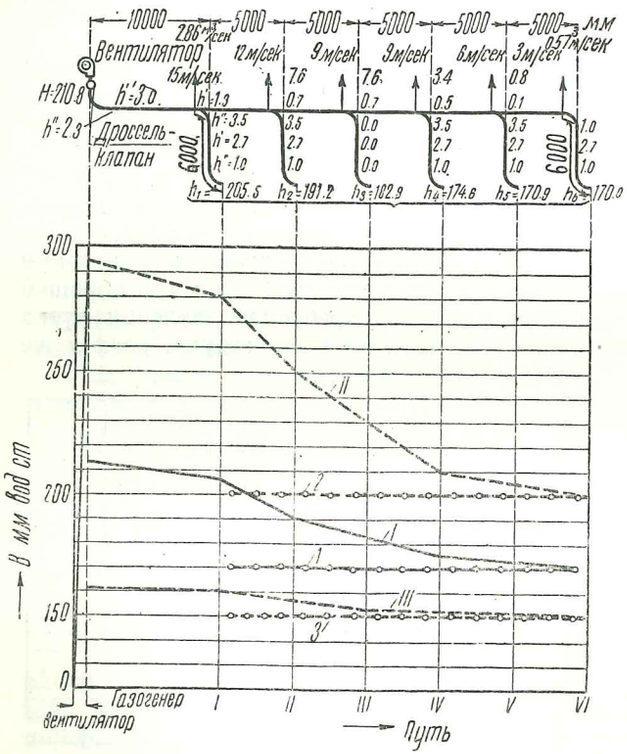
Знание условий работы генераторов и отсутствие необходимости предусматривать излишние запасы создаваемого воздушными вентиляторами давления могут в значительной мере сократить расход энергии на работу вентилятора.

На рис. 140 даны результаты исследования [14] соотношения давлений в воздухопроводе установки из четырех генераторов. Из

давления в 550 *мм*, создаваемого центробежным вентилятором, 125 *мм* теряются вследствие торможения задвижкой вентилятора и 160 *мм* поглощаются автоматическим регулятором давления; в воздухопроводе же, имеющем длину в 70 *м*, при скорости воздуха в нем в 5,5 *м/сек* теряется только 25 *мм*.

При испытании было установлено, что 40% воздуха, подаваемого вентилятором, теряется из-за неплотностей преимущественно в нижней части генератора. Таким образом полезно используется только

$$100\,\frac{0{,}6\cdot 240}{550} = 26\%$$ отдаваемой вентилятором энергии.



141. Соотношение и потери давлений в зависимости от нагрузки:

H и h_1 до h_6 — статическое давление в *мм* вод. ст.
h′ — потери вследствие сопротивления трения в отдельных участках в *мм* вод. ст.
h″ — потери в местах ответвлений и в коленах в *мм* вод. ст.

Если давление воздуха, создаваемое вентилятором, заранее установить равным 400 *мм* и потери воздуха свести к 10%, то расход энергии составит от начального:

$$100\,\frac{60\cdot 400}{90\cdot 550} = 48\%,$$

т. е. экономия составит 52%.

На рис. 141 представлены кривые [14], характеризующие соотношение давлений в установке в зависимости от ее нагрузки. Кривая *I* представляет давление воздуха перед дроссельными клапанами газогенераторов при 100%-ной нагрузке, при скорости воздуха в главном газопроводе до ответвлений в 15 *м/сек* и при расходе воздуха в 0,57 $м^3/сек$ на один генератор.

Кривая *II* показывает давление воздуха перед дроссельными клапанами при 150%-ной нагрузке и скорости воздуха в воздухопроводе в 22 *м/сек*.

Кривая *III* дает давление перед дроссельными клапанами при 50%-ной нагрузке.

Кривые *1*, *2* и *3* указывают давление воздуха под колосниковыми решетками при соответственных нагрузках в 100, 150 и 50%.

Из кривых видно, что наибольшими являются местные сопротивления, причем сопротивления трения не имеют особого значения; поэтому нужно обращать внимание на форму колен и ответвлений. Колена должны иметь радиус по меньшей мере равным двум диаметрам. Угол между ответвлениями не должен превышать 35°.

В ответвлениях желательно принимать те же скорости, что и в главном воздухопроводе, во избежание потерь от ударов, причем ответвлению в дальнейшем может быть придана расширяющаяся форма для перехода к меньшей скорости (4—5 *м/сек*) ввиду большого количества фасонных частей. Применением диффузора возможно использовать 80% освобождающегося напора.

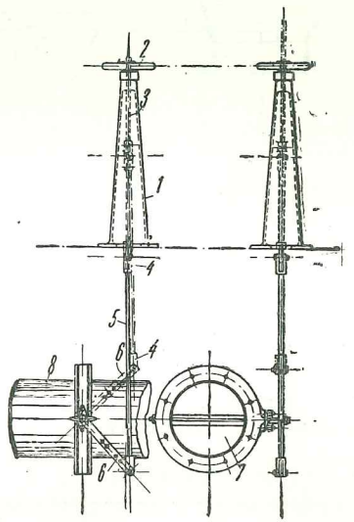
Распределение давлений в установке, снабженной генераторами с крышками-испарителями, показано на рис. 175.

Конструкция и оборудование воздухопроводов

Воздухопроводы обычно делают сварными из железа в 3 *мм* толщиной с соединениями на фланцах (при бóльших давлениях — из более толстого железа). Скорости в них принимают порядка 6—12 *м/сек*.

По германским данным, скорость не должна превышать в ответвлениях 10 *м/сек* и в главном трубопроводе — 10—15 *м/сек* [14].

Воздухопроводы подогретого воздуха для генераторов с вышуском жидкого шлака в случае высокой температуры воздуха снабжают футеровкой толщиною в 75—125 *мм* и изоляцией.



142. Дроссельный клапан:

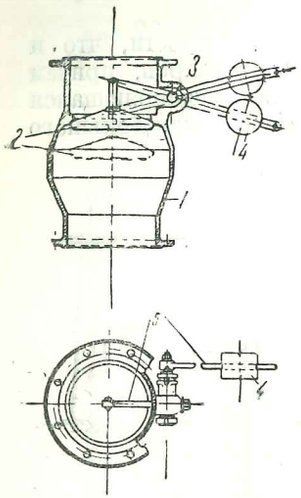
1—колонка, *2*—маховичок, *3*—винт, *4*—шарнир, *5*—тяга, *6*—рычаг, *7*—дроссель, *8*—воздухопровод

Скорость подогретого воздуха принимают в пределах 30—45 *м/сек*. Задвижки и фурмы применяют с водяным охлаждением. Воздухопроводы снабжаются задвижками или тарельчатыми клапанами, и если требуется только регулировка количества — дроссельными клапанами (рис. 142).

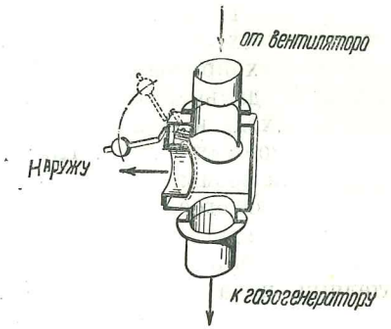
Для предохранения от проникания газа в воздухопровод при падении давления воздуха на ответвлениях от воздушной магистрали к отдельным генераторам ставят предохранительные обратные клапаны (рис. 143). В случае внезапного падения давления в воздухопроводе вследствие остановки вентилятора клапан закрывается и предотвращает попадание газа в воздухопровод.

Иногда применяют предохранительные обратные клапаны конструкции, изображенной на рис. 144. При понижении давления воздуха клапан выключает воздухопровод и соединяет генератор с атмосферой. Таким образом избегается возможность попадания в воздухопровод газа, и кроме того воздух может подаваться в генератор из атмосферы благодаря самотяге генератора.

Более надежным, но требующим постоянной затраты большего



143. Обратный клапан:
1—корпус клапана, *2*—конус клапана, *3*—валик, *4*—противовес, *5*—рычаги



144. Обратный клапан

напора, является применение обратных клапанов с барботерами (см. гл. III).

Давление газа в сети обычно регулируется путем установки на воздухопроводе автоматического регулятора с дросселем, получающего импульс из газопровода.

Иногда при выключении газового и воздушного вентиляторов (прекращение подачи тока) вследствие неудовлетворительной работы обратных клапанов происходит попадание в воздухопровод газа из генератора и смешение его с воздухом. Полученная смесь при поступлении в генератор может взорваться и разрушить воздухопровод. Во избежание этого в подобных случаях воздухопровод продувают. Воздухопровод снабжают продувными трубами, расположенными на концах, и предохранительными клапанами на торцах. Иногда отдельные отрезки воздухопровода (у дутьевых коробок) изготовляют из менее прочной ткани, разрывающейся при взрыве, что предохраняет остальные части воздухопровода от разрушения. Воздушные коробки под решетками, если они не имеют гидравлического затвора, также снабжают предохранительными клапанами.

Схема установки вентилятора, регулятора давления, дросселей и задвижек представлена на рис. 145. При падении или повышении давления в газопроводе к потребителю в результате изменения отдачи газа, автоматически (или вручную) поворотом дросселя изменяется давление, а следовательно и количество поступающего воздуха ко всем генераторам. Изменение подачи воздуха к отдельным генераторам для регулирования их режима производится обычно

вручную с помощью дросселей. Изменение количества воздуха, подаваемого в общий воздухопровод, может производиться и регулированием парового клапана турбины или инжектора или же регулированием числа оборотов электромотора вентилятора.

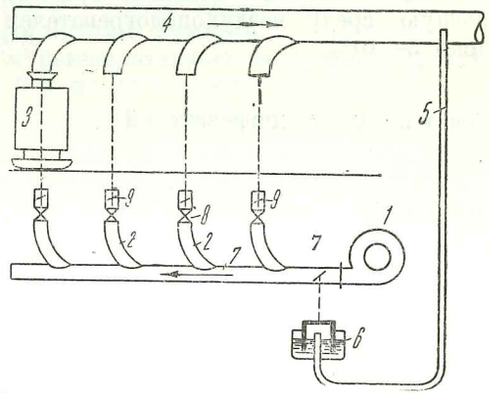
2. ПОДОГРЕВ ВОЗДУХА

Подогрев воздуха, вводимого в генератор, применяется особенно часто для генераторов, работающих с выпуском жидкого шлака.

Конструкция воздухоподогревателей

Для подогрева воздуха служат две группы аппаратов: регенеративные и рекуперативные [73, 74, 139].

В регенераторах насадка (обычно из шамотного кирпича) в один период — прохождения через нее горячих газов — аккумулирует тепло, которое она отдает во второй период воздуху, проходящему через нее. Эти аппараты таким образом характеризуются аккумулированием тепла и периодической переменой режима.



145. Схема установки вентилятора, регулятора давления, дросселя и задвижки:
1—воздушный вентилятор, *2*—ответвление к генераторам, *3*—генератор, *4*—газопровод, *5*—импульсный газопровод, *6*—автоматический регулятор, *7* — дроссель, приводимый в движение автоматическим регулятором, *8*—задвижка, *9*—дроссель

В рекуператорах тепло непрерывно передается через стенку от горячих охлаждающихся газов нагревающемуся воздуху. Эти аппараты работают с постоянным, неизменным режимом.

Рекуператоры бывают металлические и из огнеупорного материала. В рекуператорах, изготовленных из обычного железа и чугуна, можно подогреть воздух до температуры не выше 300—400°; рекуператоры из специальных жароупорных металлов и шамотные рекуператоры дают возможность повысить подогрев до 1000°.

Недостатком кирпичных рекуператоров являются образование в них трещин и расхождение швов, а также громоздкость, связанная с малой теплопроводностью огнеупорных материалов (шамота).

В отношении компактности и неизменности режима наиболее целесообразными аппаратами являются металлические рекуператоры, применяющиеся в виде пластинчатых и трубчатых конструкций. Однако высокая стоимость жароупорных металлов заставляет в случае необходимости подогрева воздуха до высокой температуры применять регенеративные подогреватели.

В качестве большого воздухоподогревателя регенеративного типа может быть применен каупер, представляющий собой большой высоты башню с насадкой, снабженную железным кожухом, футеровкой и теплоизоляцией. Продукты горения специально сжигаемого газа поступают в подсводовое пространство каупера с помощью каналадымохода, образуемого насадкой, опускаются по насадке, отдавая ей тепло, и отводятся снизу в дымовую трубу или вытяжку. В период дутья воздух вводится в аппарат снизу и поднимается по насадке, подогреваясь за счет тепла, аккумулированного насадкой.

На случай выключения одного из регенеративных аппаратов или увеличения продолжительности газового периода сравнительно с воздушным устанавливаются три воздухоподогревателя.

К. п. д. регенеративного подогревателя зависит от температуры отходящих газов и составляет примерно 65—75%. Потеря в окружающую среду воздухоподогревателем принимается равной примерно 5—10%.

Расчет воздухоподогревателей

Расчет рекуперативных устройств сводится к определению их поверхности F из формулы [73, 74]:

$$Q = KF\,\Delta t_m,$$

где Q — количество передаваемого тепла в *кал/час*,
K — коэфициент теплопередачи от газов к воздуху в *кал/м² час* °С,
Δt_m — средняя логарифмическая разность температур газов и воздуха в °С.

Данные, необходимые для расчета трубчатых подогревателей, приведены в гл. VI.

В случае рекуперативных подогревателей величина K определяется из выражения:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda}}\ \textit{кал/м² час}\ °С,$$

где: α — коэфициент теплоотдачи от газов к стенке в *кал/м² час* °С,
α_1 — » » » стенки к воздуху в *кал/м² час* °С,
δ — толщина стенки в *м*,
λ — коэфициент теплопроводности материала в *кал/м час* °С.

Величина α, как и α_1, слагается из двух величин: $\alpha_к$ — коэфициента теплоотдачи конвекцией и $\alpha_л$ — коэфициента теплоотдачи лучеиспусканием.

Так как лучеиспускающими газами являются углекислота и водяные пары, содержание которых в воздухе ничтожно, поглощением тепла от лучеиспускания для воздуха можно пренебречь, и следовательно, можно написать:

$$\alpha = \alpha_к + \alpha_л \quad \text{и} \quad \alpha_1 = \alpha_{1к}.$$

Толщина стенок металлических рекуператоров очень не велика, и теплопроводность их высокая (λ для железа — 45, чугуна — 43, стали — 38 и никеля — 50), почему и можно величиной $\frac{\delta}{\lambda}$ пренебречь.

Таким образом

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_к + \alpha_л} + \frac{1}{\alpha_{1к}}}\ \textit{кал/м² час}\ °С.$$

Данные о значениях коэфициентов $\alpha_к$, $\alpha_л$ и $\alpha_{1к}$, так же как и о значениях средней разности температур в случаях прямотока, перекрестного тока и противотока, приведены в гл. VI.

Для расчета регенеративного подогревателя можно воспользоваться соответствующими формулами Руммеля.

Поверхность нагрева F*м²* регенеративного воздухоподогревателя определяется по Руммелю ([73]) из выражения:

$$Q = FK\,\Delta t,$$

где: Q — количество тепла, передаваемого насадке за период (оно равно количеству тепла, приобретаемому воздухом, плюс потеря в окружающую среду за период воздуха, или равно количеству тепла, оставляемому отходящими газами, за вычетом потери в окружающую среду в период отходящих газов),
Δt — средняя разность температуры дымовых газов и воздуха,
K — коэфициент теплопередачи, определяемый приближенно [1] из выражения:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_д T_д} + \frac{1}{\alpha_в T_в} + 0{,}4\left[\frac{2}{cs\gamma} + \frac{s}{2\lambda\,(T_д + T_в)}\right],$$

где $\alpha_д$ — коэфициент теплопередачи от дымовых газов к кирпичу *кал/м² час* °С,
$\alpha_в$ — то же для воздуха,
$T_д$ — продолжительность периода отходящих газов в часах,
$T_в$ — » » воздуха в часах,
c — теплоемкость кирпича (для шамота = 0,27 *кал/кг* °С или $0{,}185 + 0{,}00015t$, где t — средняя температура кирпича),
γ — объемный вес кирпича (для шамота = 1 800 *кг/м³*),
λ — коэфициент теплопроводности материала кирпича (для шамота примерно 1 *кал/м час* °С),
s — толщина кирпича в *м*,
$\alpha_д$ — определяется как сумма $\alpha_к + \alpha_л$,
$\alpha_к$ — определяется для кладки в шахматном порядке из выражения:

$$\alpha_к = \frac{8{,}3\,W_0^{0{,}5}}{d^{0{,}33}},$$

[1] Точнее по более сложным формулам Шака ([73]) и Хейлигенштедта ([139]).

где W_0 — скорость газов при 0° в *м/сек*,
d — гидравлический диаметр в *м*.

Для насадки, расположенной сквозными ходами, коэфициент 8,3 заменяется величиной 7,5.

$\alpha_л$ — определяется по предыдущему,
$\alpha_в$ — определяется с учетом только конвекционной теплопередачи.

Коэфициент излучения шамота может быть принят равным 3,5.

Коэфициенты теплопередачи K вычисляются отдельно для верха и низа камер, после чего берется среднее значение его.

3. ПОЛУЧЕНИЕ И ПОДАЧА ПАРА ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ

Общие соображения о получении и потреблении пара

Пар в газогенераторных установках расходуется для подачи в генератор, для завес шуровочных и загрузочных затворов, для обогрева смоляных резервуаров и лотков, для отопления, для приведения в движение паровых турбин и машин (воздуходувки, газодувки и пр.), для инжекторов, для продувки газопроводов и скрубберов и т. д.

В газогенераторных установках может применяться и получаться как перегретый, так и насыщенный пар. Недочетом насыщенного пара является его конденсация в трубопроводах. Применение перегретого пара выгодно в отношении увеличения полезной разности температур при его использовании для силовых нужд (температура 300° и больше) или для целей отопления.

Количество получаемого в одинаковых условиях перегретого водяного пара меньше, чем насыщенного, что уменьшает выгодность получения перегретого пара.

При получении пара в генераторных установках различают низкое, среднее и высокое давление, под которым понимают давление соответственно до 0,5 от 0,5 до 5 и от 5 *ат* и выше.

Нижний предел давления пара ограничен условиями применения: для силовых нужд требуется 8—10 *ат*, для отопления и питания генераторов смешанного газа достаточно низкого давления, для питания генераторов водяного газа применяется пар с давлением в 1—2 *ат*.

В наиболее простом случае получение пара осуществляется в отдельной котельной установке. Так как подобное устройство связано с расходом топлива на получение пара и денежными затратами на сооружение и содержание котельной, имеется целый ряд конструкций, предусматривающих получение пара в охлаждающих кожухах и крышках и в котлах-утилизаторах за счет использования физического тепла генераторного газа или продуктов горячего дутья генераторов водяного газа.

Имеются также конструкции, в которых пар получается за счет тепла горячей воды или горячего воздуха.

Некоторое количество водяного пара в генераторах, снабженных гидравлическими затворами вращающихся чаш, может испаряться из затворов. Обычно это количество водяного пара не велико. Однако в случае понижения уровня золы в генераторе и при повышении зольности топлива из чаши будет испаряться значительное количество влаги.

В установках смешанного газа одной из основных статей расхода пара является расход его на дутье.

На практике обычно в генераторах смешанного газа применяется паровоздушное дутье, содержащее некоторое количество влаги. Контроль влагосодержания в этом случае производится путем измерения температуры смеси.

При данной температуре парциальное давление водяного пара в насыщенной смеси остается постоянным, независимо от общего давления, т. е. при постоянной температуре отношение количеств пара и воздуха изменяется обратно пропорционально общему давлению смеси. Содержание влаги в дутье в зависимости от температуры насыщения приведено в табл. 82.

Перегрев паровоздушной смеси может происходить или из-за дополнительного ее подогрева вследствие подачи сильно перегретого пара, или же при пропуске сухого пара высокого давления через дроссель.

В этих случаях имеется излишек тепла, перегревающий смесь.

При наличии подобных условий для возможности контроля влажности дутья измерением температуры ее рекомендуется подведение влажного пара для поглощения излишка тепла.

Ввиду большого влияния влажности паровоздушной смеси на режим газификации рекомендуется влажность регулировать автоматически, что производится с помощью термостатов.

Обычно пар для увлажнения дутья подводят к отдельным воздушным ветвям, что дает возможность регулировать подачу пара в отдельные генераторы в зависимости от их состояния и режима. Смешение пара с воздухом производят на достаточном расстоянии от генератора, чтобы смесь была равномерна, путем ввода внутрь воздухопровода паровой трубки в виде расширяющегося сопла или винтовой вставки.

Худшие результаты дает подвод пара непосредственно под колосники. Кроме того в этом случае контроль добавки пара путем измерения температуры паровоздушной смеси невозможен.

Данные о расходе пара на увлажнение дутья при различных топливах в генераторах смешанного газа приведены в табл. 61.

Расход пара, превышающий 35—40% от веса углерода топлива, обычно вызывается шлакованием. Расход пара на паровые завесы шуровочных и загрузочных отверстий изменяется в зависимости от степени спекания и шлакования топлива; ориентировочно можно принять его до 20% от веса топлива, пересчитанного на условное.

Расход пара с давлением в 8 *ат* на инжекторы, применяемые иногда в качестве резерва, составляет при давлении дутья в 200, 300 и 400 *мм* вод. ст. соответственно примерно 0,35; 0,41 и 0,58 *кг* на 1 *кг* каменного угля [82]. Расход пара на прогрев смолы, про

Таблица 61

Выход и теплотворная способность газа, расход пара и первичного воздуха при газификации различных топлив

Род топлива	Количество		Выход газа (в $м^3/кг$)		Теплотворная способность газа (в $ккал/м^3$)				Температура газа (в °С)
					сухого		влажного		
	пара (в $кг/кг$)	воздуха (в $м^3/кг$)	сухого	влажного	высшая	низшая	высшая	низшая	
Дрова	0—0,1	0,7—1,2	1,0—1,7	1,7—2,2	1 350—1 600	1 300—1 500	850—1 300	800—1 200	80—300
Торф	0,1—0,2	0,7—1,2	1,2—1,7	1,8—2,2	1 250—1 700	1 200—1 600	800—1 350	750—1 250	80—300
Бурый уголь	0,1—0,4	0,7—1,5	1,4—2,4	2,0—3,0	1 200—1 700	1 150—1 600	800—1 400	750—1 350	70—400
Каменный уголь	0,2—0,4	1,5—2,6	2,3—3,8	2,7—4,2	1 300—1 500	1 200—1 40)	1 150—1 400	1 000—1 350	500—800
Антрацит	0,3—0,6	2,6—3,2	3,8—4,4	4,0—4,7	1 200—1 300	1 150—1 250	1 100—1 250	1 050—1 200	350—650
Кокс	0,3—0,6	2,6—3,2	3,8—4,4	4,0—4,7	1 200—1 300	1 150—1 250	1 100—1 250	1 050—1 200	350—650

парку газопровода, отопление и т. д. определяется в зависимости от характера станции.

Расход пара на дутье в установках водяного газа составляет примерно 1—1,5 *кг* на 1 *кг* углерода в топливе. — 0,5—0,8 $кг/м^3$ газа.

Котлы-утилизаторы в установках смешанного газа

Газогенераторы смешанного газа снабжаются обычно индивидуальными котлами-утилизаторами, что делает работу установок независимой от засорения каналов. В случае установки одного котла для нескольких газогенераторов засорение общего соединительного газопровода до котла вызывает необходимость выключения группы генераторов.

Верхний предел давления пара, получаемого в котле-утилизаторе, ограничивается конструкцией котла (дымогарные—до 15 *ат*, водотрубные—выше) и температурой газов. При низких температурах целесообразно получать пар низкого давления. Если принять что температура газов составляет при входе в котел 450° и при выходе величину, на 100° большую температуры пара, то получим полезный перепад равным:

При 5 *ат*: 450 — (160 + 100) = 190°.
» 15 » 450 — (200 + 100) = 150°.

Таково же соотношение между количествами получаемого пара.

Преимущественное распространение в качестве котлов-утилизаторов имеют дымогарные котлы с одним ходом газов, с цельнотянутыми трубами диаметром 54—100 *мм*. Они легко чистятся, плотны, допускают применение больших скоростей, удобны в монтаже, компактны. При больших давлениях (больше 15 *ат*) их заменяют водотрубными котлами. Преимуществом последних является их меньшее сопротивление [75].

Для очистки котлов с дымогарными трубами от накипи и осадков пучки труб делают выдвижными и предусматривают лючки у отдельных труб, иногда же между трубами оставляют большие промежутки,

Чистка водотрубных котлов затруднительнее.

Физическое тепло генераторного газа используется в котлах при топливах, не содержащих смол и дающих горячий газ, теплосодержание которого составляет 8—12% от теплотворной способности топлива. Газ пропускают через вертикальные трубчатые котлы, в которых полезно используется 40—50% указанного тепла.

Согласно данным по котлам-утилизаторам в печных установках, установка [75] паровых котлов-утилизаторов рентабельна лишь в случае достаточно высокой температуры газа (больше 400°). Расчеты указывают на невыгодность охлаждения газов ниже 250—275°.

В трубчатых котлах получают или пар или горячую воду. В последнем случае дутьевой воздух может быть увлажнен путем пропускания его над горячей водой.

На рис. 173 представлен внешний вид котла коксового генератора Пинча. Газ, пройдя пылеуловитель, входит в котел сверху

и проходит по трубкам, завальцованным в решетчатые днища, направляясь далее в скруббер для окончательного охлаждения и очистки.

Вода в котел подводится снизу и излишнее количество ее сливается в отводную трубку сверху. Проходящий вверху котла над водой воздух увлажняется получающимся паром и направляется по воздухопроводу к генератору.

В нижней части котел снабжен водяным затвором, служащим для сбора пыли, и предохранительным клапаном.

В результате испытания генератора [76], снабженного подобным котлом (Часов-Ярский завод), получены следующие данные: расход коксика — 633 *кг/час*; испарено в котле воды — 164 *кг/час*; температура газа при выходе из генератора — 415°; температура газа у скруббера (за котлом) — 125°; выход газа — 4,2 $м^3$ на 1 *кг* коксика; температура воды, поступающей в котел, — 16°; температура воздуха — 21°; количество сухого воздуха (0°, 760 *мм* вод. ст.) — 1 640 $м^3/час$; температура паровоздушной смеси при выходе из котла — 76°; температура воды, вылившейся из испарителя, — 99° и количество последней — 80 *кг/час*. Поверхность нагрева котла — 44 $м^2$; диаметр труб — 100 *мм* и длина — 2,5 *м*; сопротивление котла — 5 — 10 *мм* вод. ст.

По генераторам А. V. G. диаметром в 2,6 *м* работающим на коксе и снабженным котлами-утилизаторами, имеются следующие данные [77]: производительность генератора—18,4 *т*/сутки; выход газа—4,06 $м^3/кг$; температура газа при выходе из генератора—513°; температура по выходе из котла—218°; количество получаемого пара—1,13 *кг* на 1 *кг* кокса; давление пара—5 *ат* (изб.); температура питательной воды—41°; полезно использованное тепло в рубашке и котле составляет 11% от теплотворной способности топлива; охлаждающий кожух и котел соединены в одну систему, снабженную хорошей изоляцией.

В газогенераторах Кертинга Луганского паровозостроительного завода диаметром в 2,6 *м*, снабженных котлами-утилизаторами, при производительности генератора в сутки 13,9 *т* АМ и выходе сухого газа в 3,72 $м^3/кг$, температура газа составляла при выходе из генератора—535°, до котла—427° и по выходе из котла—187°. Котлы имеют поверхность нагрева, равную 100 $м^2$, и предназначены для получения пара с давлением в 12 *ат*.

Съем пара с 1 $м^2$ поверхности нагрева котла-утилизатора, обслуживающего генератор смешанного газа, в среднем составляет 4—6 *кг*.

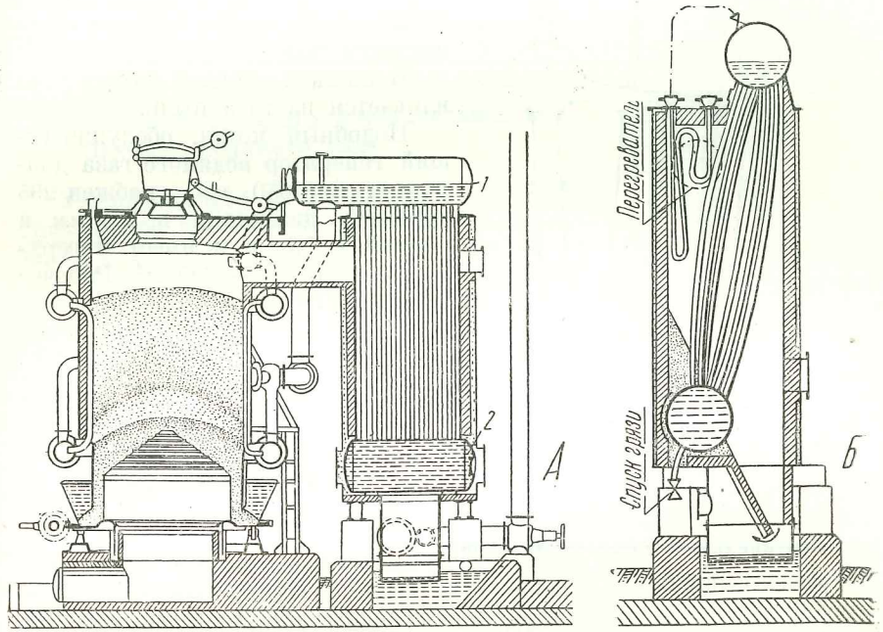
На рис. 146 представлен генератор смешанного газа с водотрубным котлом-утилизатором.

Котлы-утилизаторы имеют то неудобство, что они засоряются пылью и сажей. Засорение труб увеличивает сопротивление движению газов, ухудшает теплопередачу от газов к воде и вынуждает выключать генераторы для очистки котлов, если только не имеется обводного канала для газа и независимого от котла подвода пара к генератору.

Котлы-утилизаторы в установках водяного газа

В установках для получения водяного газа устанавливают как индивидуальные, так и групповые котлы [3, 4, 33, 37]. В последнем случае физическое тепло водяного газа в котлах не используется. Эти котлы обычно снабжаются водоподогревателями и пароперегревателями.

В установках водяного газа тепло, содержащееся в продуктах воздушного дутья, составляет большую величину—порядка 25—30%. Преимущественно это тепло используется для получения пара в ко-



146. Водотрубный котел-утилизатор;

А—общий вид, *Б*—разрез по котлу; *1*—верхний барабан, *2*— нижний барабан

личествах, превышающих потребность самой генераторной станции. Перед котлами устанавливаются камеры сгорания для дожигания горючих газов. В этих камерах обычно выкладывают шамотную насадку для создания постоянного очага высокой температуры. Эти же насадки смягчают до известной степени колебания температур поступающих в котел газов. Для отвода газов, минуя котел, предусматривают непосредственное соединение камер горения с дымовой трубой.

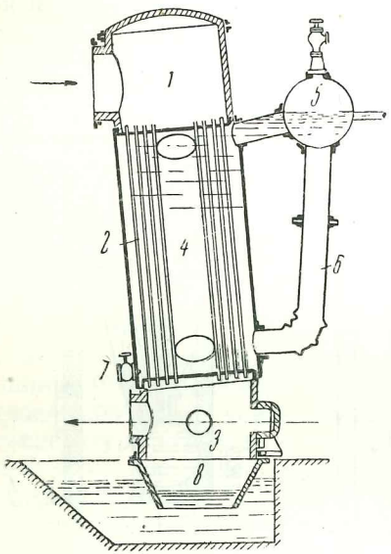
Условия работы котлов, применяющихся в установках водяного газа, довольно тяжелые. Температура подводимых к ним газов обычно значительно выше, чем в установках для получения смешанного газа;

газа; кроме того в случае установки индивидуальных котлов у отдельных генераторов, а также пропуска через котлы водяного газа в целях использования его физического тепла в котле имеют место значительные колебания температур, вредно влияющие на прочность и плотность соединений.

В установках водяного газа применяются как горизонтальные, так и вертикальные котлы типа дымогарных. На рис. 147 представлен вертикальный котел. В нем отходящие газы идут сверху вниз в направлении, противоположном циркуляции воды; котел стоит наклонно, и уровень воды в пароводяном барабане поддерживается такой, чтобы трубы целиком были покрыты водой.

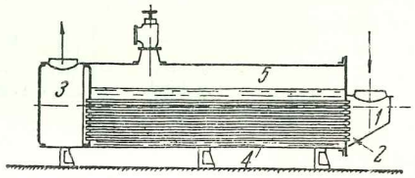
В нижней сборной камере улавливается из газа пыль.

Подобный котел, обслуживающий генератор водяного газа диаметром в 3 050 *мм*, снабжен 295 трубками диаметром в 57 *мм* и длиной в 5,5 *м* и имеет поверхность нагрева в 290 $м^2$. Рабочее давление—20 *ат* [35].



147. Вертикальный котел-утилизатор:

1 — распределительная камера, *2*— дымогарные трубы, *3*—сборная камера для прошедших котел газов, *4*— водяное пространство, *5* — пароводяной барабан, *6*—циркуляционная труба, *7*—спускной кран, *8*—камера для пыли—гидравлический затвор.



148. Горизонтальный котел-утилизатор:

1—распределительная камера, *2*— дымогарные трубы, *3* — сборная камера для прошедших котел газов, *4*—водяное пространство, *5*— паровое пространство.

На рис. 148 представлен горизонтальный котел, имеющий преимущество перед вертикальным в отношении наличия большего зеркала испарения, но зато более подверженный засорению [34].

Практика показывает, что в условиях высоких давлений (больше 15 *ат*) и особенно в случаях сильных колебаний температур в результате периодического пуска в котел газов дымогарные котлы деформируются и дают течи, и в подобных случаях более целесообразны водотрубные котлы.

По данным Морриса котел-утилизатор в установке водяного газа дает 1 000 *кг* пара с давлением в 10 *ат* на 1 000 $м^3$ водяного газа, что соответствует 12,5% от всего введенного в генератор тепла. По другим данным, на 1 000 $м^3$ водяного карбюрированного газа получается 1 400 *кг* пара с давлением в 6 *ат*, что соответствует к. п. д. котла в 45%.

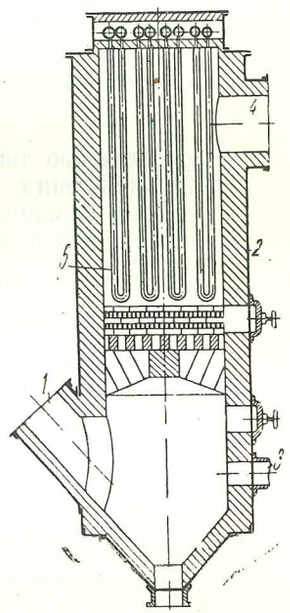
Тепловой баланс системы из индивидуального котла-утилизатора с пароперегревателем и перегревателя пара низкого давления из рубашки в установке водяного газа может быть ориентировочно представлен следующими данными: приход тепла—физическое тепло газов горячего дутья—85%, физическое тепло водяного газа—15%; расход тепла—в водяном паре, полученном в котле,—40%, перегрев пара высокого давления — 6%, перегрев пара низкого давления — 8%, физическое тепло отходящих газов—26% и потеря в окружающую среду—20%.

Перегрев пара и подогрев питательной воды в установках водяного газа.

Установки для получения водяного газа снабжаются пароперегревателями. Необходимость сильного перегрева пара, подаваемого в генератор, высокие температуры греющих газов, а также подача в генератор пара только в отдельные периоды вынуждают применять или кирпичные пароперегреватели регенеративного типа или специальные конструкции пароперегревателей.

Обычно пар, подаваемый в генератор водяного газа, перегревается за счет тепла продувочных газов или других видов отбросного тепла.

Несмотря на первоначальные неудачи в этой области, связанные с сильными и быстрыми изменениями температур в трубках перегревателей, с этой задачей справились.



149. Пароперегреватель в установке водяного газа

На рис. 149 представлен перегреватель, применяемый в некоторых установках водяного газа. Пар, подаваемый в генератор снизу вверх, проходит изнутри по трубам пароперегревателя, а идущий сверху вниз (из котла) проходит снаружи. Газ из генератора входит по трубопроводу *1* и выходит по трубопроводу *4*; для дожигания газов предусмотрен подвод *3* вторичного воздуха; подогреватель снабжен огнеупорной футеровкой *2*; железные змеевики *5*, по которым проходит пар, защищены огнеупорной оболочкой. Насадка камеры аккумулирует тепло продуктов горения.

При проходе через насадку пароперегревателя пара высокого давления из котла, а по трубкам—пара низкого давления из рубашки, последний перегревается первым.

Подобный перегреватель [35], обслуживающий генератор водяного газа диаметром в 3 *м*, имеет внутренний диаметр в 2 *м* и полную

высоту около 5,5 *м*. Он снабжен 36 петлями паровых трубок со внешним диаметром в 38 *мм*. Длина каждой петли—4,3 *м*. Поверхность нагрева перегревателя—37 $м^2$.

Другие пароперегреватели представляют собой камеры с кирпичной решеткой (обычно—из шамотного кирпича), уже упоминавшиеся выше. Пароперегреватели комбинируются с топками для дожигания газа. Объем топок, в которых предусматривается подача вторичного воздуха, определяется из учета интенсивности горения газа порядка 500 000—700 000 *кал*/$м^3$ *час*.

Размер кирпичной насадки можно определить, исходя из соображений, изложенных в разделе о регенеративных воздухоподогревателях, обслуживающих генераторы с выпуском жидкого шлака.

Иногда определяют ориентировочно вес насадки из формулы (49)

$$Q = gc\tau,$$

где Q — количество тепла, отдаваемого насадкой в 1 мин. в период прохождения пара (тепло, воспринимаемое паром, плюс тепло, теряемое в окружающую среду в *кал*),

c — теплоемкость кирпича насадки, определяемая из выражения:

$$c = 0{,}185 + 0{,}00015t$$

где t — средняя температура кирпича за оба периода (горячего и парового дутья) в °С,

g — вес кирпича насадки в *кг*,

τ — падение температуры насадки в минуту в °С, составляющее ориентировочно:

$$\frac{0{,}44}{100}\Delta t$$

где Δt — средняя разность температур насадки за период горячего и парового дутья.

В целях увеличения использования тепла в установках водяного газа ставят котлы с водоподогревателями.

Водоподогреватели, применяемые при дымогарных котлах, аналогичны по конструкции котлам и при горизонтальных котлах обычно располагаются над котлом.

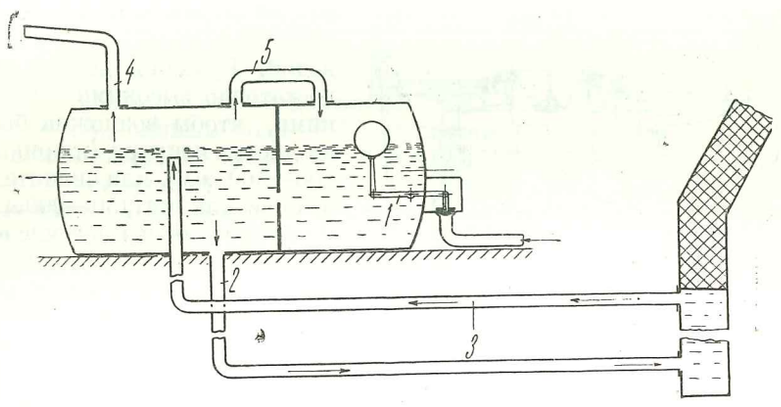
При водотрубных котлах обычно применяют подогреватели с чугунными трубами.

Подогрев питательной воды дает возможность дополнительного использования тепла отходящих из котлов газов. Температура газов, покидающих подогреватель, примерно на 50° выше температуры подогрева воды. Температура подогрева воды должна быть ниже температуры кипения во избежание парообразования в подогревателе и в насосах и перебоев в снабжении котла водой.

Охлаждающие кожухи генераторов

На рис. 62 представлено устройство охлаждающего кожуха (рубашки, ватержакета) газогенератора. Водяное пространство кожуха соединено двумя трубами с небольшим паросборником. Получаемый

в верхней части последнего пар с давлением в 0,5 *ат* (изб.) и изредка—бóльшим, используется для дутья. В ватержакете и паросборнике идет непрерывное движение воды. По верхней трубе из наивысших точек рубашки нагретая вода идет в паросборник, где вскипает, и из последнего холодная вода течет в ватержакет по нижней трубе. Для более равномерного отбора пара ватержакет обычно охватывается сверху кольцевой трубой, отбирающей пар по окружности кожуха, и уже эта труба соединяется с паросборником. В нижней части охлаждающего кожуха устанавливают продувной кран. Иногда в охлаждающих кожухах предусматривается и паровое пространство. В этих случаях во избежание перегрева и деформации стенок паровое



150. Охлаждающий кожух и паросборник:

1—автоматический шаровой питательный клапан, *2*—труба питающая, *3*—труба, отводящая горячую воду из рубашки, *4*—отвод пара из паросборника, *5*—труба для выравнивания давления.

пространство находится в области более низких температур генератора или же помещается за огнеупорной футеровкой генератора.

Паросборник представлен на рис. 150. Питание ватержакетов водой производится через автоматические шаровые клапаны паросборников, что дает возможность подводить в рубашку горячую воду и предупреждать коррозию металла рубашки со стороны, обращенной внутрь генератора. Автоматический питательный клапан с поплавком другого типа показан на рис. 92.

Иногда отдельных паросборников не применяют, а в качестве таковых используют верхнюю часть рубашки, изолируя ее от внутренности генератора.

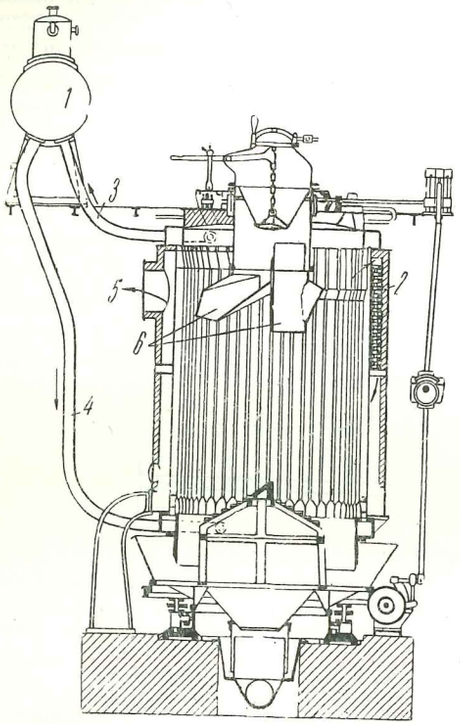
Обычно водяные рубашки изготовляются для низкого давления, так как такие рубашки легче и проще по конструкции и предъявляют меньшие требования в отношении ухода и обслуживания.

Все же иногда предусматривают возможность поддержания в рубашке более высокого давления, выполняя их в виде котлов высокого давления или соединяя их с таковыми. В установках водяного газа

часто применяют рубашки, дающие пар с давлением, близким к давлению в главном паропроводе.

Отбор рубашками тепла от слоя топлива понижает несколько теплотворную способность газа. Количество тепла, отбираемое рубашкой, обычно не превышает 10% от теплотворной способности топлива.

Высоту рубашек применяют различную, располагая их или только соответственно реакционной зоне или по всей высоте шахты или слоя. Обычно высота рубашек не менее 1,5 *м*.



151. Установка генератора Маришка:

1 — паросборник, *2*— пароперегреватель, *3*—отводящая пар труба, *4*—обратная труба, *5*—выход газа, *6*—аппарат для распределения топлива по сечению.

Чтобы в рубашках и трубах не образовалась накипь, их следует питать умягченной водой. Рубашки делают или достаточно высокими и широкими, чтобы возможна была их чистка изнутри (ширина—400—500 *мм*), или значительно более узкими (150—200 *мм*), предусматривая многочисленные лючки для возможности чистки снаружи; в некоторых конструкциях чистка рубашки производится путем подъема ее вверх после разъединения соединительных трубопроводов. Для возможности подъема рубашки бункер генератора отнесен в сторону.

Из генераторов, снабженных рубашками высокого давления, следует особо отметить генераторы Маришка (рис. 151) [1,5,1] в которых шахта представляет собой котел, состоящий из двух барабанов, соединенных трубками, развальцованными в плитах барабанов. Бо́льшая часть котла заключена в футерованный железный кожух, снабженный многочисленными лючками и дверцами для чистки и удаления пыли. Парообразование происходит за счет отдачи тепла топливом и газами.

В генераторе Маришка диаметром в 2 *м* поверхность нагрева котла—55 $м^2$. При газификации кокса с содержанием влаги в 16% и золы в 14,56% напряженность поверхности нагрева составляет 13,8 $кг/м^2$ *час* (1,2 *кг* на 1 *кг* кокса); температура выходящего из генератора газа—180°.

Из всего получаемого в генераторах Маришка пара 20% расходовалось на собственные нужды газогенератора, остальной же пар шел на привод двигателей и другие заводские нужды.

Чистка котлов от накипи производится через 4 месяца 2 рабочими в течение 6 дней. Систематический предупредительный ремонт был настолько целесообразен, что в течение 10-летней работы ни один котел не был заменен новым.

В качестве недочета установки следует отметить ее высокую начальную стоимость. В новейших конструкциях подобных генераторов в верхних частях устанавливают пароперегреватель.

Иногда охлаждающие кожухи выполняют в виде экранных котлов высокого давления, состоящих из отдельных труб (рис. 146) с барабанами, находящимися вне генератора.

Тепловой баланс рубашки по данным Люта [51] приход: тепло питательной воды при 15°—2,7%, тепло, полученное из генератора,—97,3%; расход: теплосодержание пара—91,1%, конденсационная вода—0,1%, сливная вода—2,1%, потеря в окружающую среду—6,7%.

Напряженность поверхности нагрева рубашек может быть принята в пределах 10—30 $кг/м^2$ *час*. Как показывают исследования, количество получаемого в рубашках пара растет почти пропорционально производительности генератора, количество же пара, получаемого на 1 *кг* топлива, меняется мало. Иностранные фирмы в своих гарантиях часто указывают, что на 1 *кг* антрацита или кокса в рубашках может быть получено 0,5—0,6 *кг* пара.

Расход тепла на получение пара в рубашке составляет, взависимости от размеров рубашки и хода генератора, от 3 до 10% от теплотворной способности топлива.

В охлаждающих кожухах генераторов можно получать не пар, а горячую воду. Это может иметь смысл например при пользовании неочищенной водой и при потребности производства в горячей воде и кроме того придает бо́льшую безопасность и простоту устройству и предъявляет меньшие требования в отношении надзора. Максимальная допустимая температура нагрева для неочищенной воды 40—50°, в случае же очищенной воды—обычная температура 80°. При низкой температуре воды возможна коррозия рубашки вследствие конденсации на внутренней поверхности рубашки влаги дутья.

Рамбуш дает следующие практические цифры количества воды, расходуемой в водяных рубашках при подогреве до 70° (в $м^3$ на 1 $м^2$ поверхности нагрева в час): для кокса—0,5, каменного угля—0,4 и бурого угля—0,2 (величина для бурого угля повидимому относится к случаю применения генератора без швельшахты.—*Д. Г.*) [4].

В генераторе, работающем на газовом коксе, снабженном рубашкой с поверхностью нагрева в 12 $м^2$, расходуется 535 *кг* воды на 1 $м^2$ поверхности рубашки. Учитывая производительность генератора в 800 *кг/час* и теплотворную способность кокса в 6 100 *кал/кг*, получаем, что теплосодержание воды составляет от теплотворной способности топлива:

$$\frac{12 \cdot 535 \cdot (70 - 15) \cdot 100}{6\,100 \cdot 800} = 9{,}2\%.$$

Использование этой воды для увлажнения воздуха не дает возможности достаточно ее охладить, и в этом случае потребуется или дополнительное охлаждение воды или повышение скорости циркуляции.

Получение пара за счет охлаждения верхней части генератора

Для использования физического тепла генераторного газа в целях получения пара для дутья в случае бессмольного газа может быть применено устройство верхней части генератора в виде охлаждающего кожуха или крышки с водой, омываемых газом. Эти приспособления часто предназначаются для работы с тем же давлением, с которым воздух подается в генератор.

Подобные устройства, отнимающие тепло от газа, но не от реакционной зоны, не могут иметь влияния на состав газа.

На рис. 152 представлен генератор диаметром в 2 800 *мм* с металлической крышкой, в которой получается пар, необходимый для увлажнения дутья. Крышка генератора—железная и снабжена по периферии полым кольцом, спущенным в шахту и имеющим высоту в 750 *мм*. Вода, заполняющая кольцо и часть крышки, нагревается за счет лучеиспускания раскаленного топлива и отдачи тепла газом. Крышка снабжена водоподводящей и сливной сифонной трубками. Часть вводимого в генератор воздуха специальным приспособлением ответвляется в крышку, где, проходя над горячей водой, увлажняется. Регулированием количества воздуха, пропускаемого в крышку, или количества воды, подаваемой в крышку и постоянно спускаемой через сливную трубку (следовательно регулированием ее температуры), устанавливают надлежащую температуру паровоздушной смеси и надлежащее влагосодержание воздуха. В результате за счет физического тепла генераторного газа получается необходимый для увлажнения дутья пар [54].

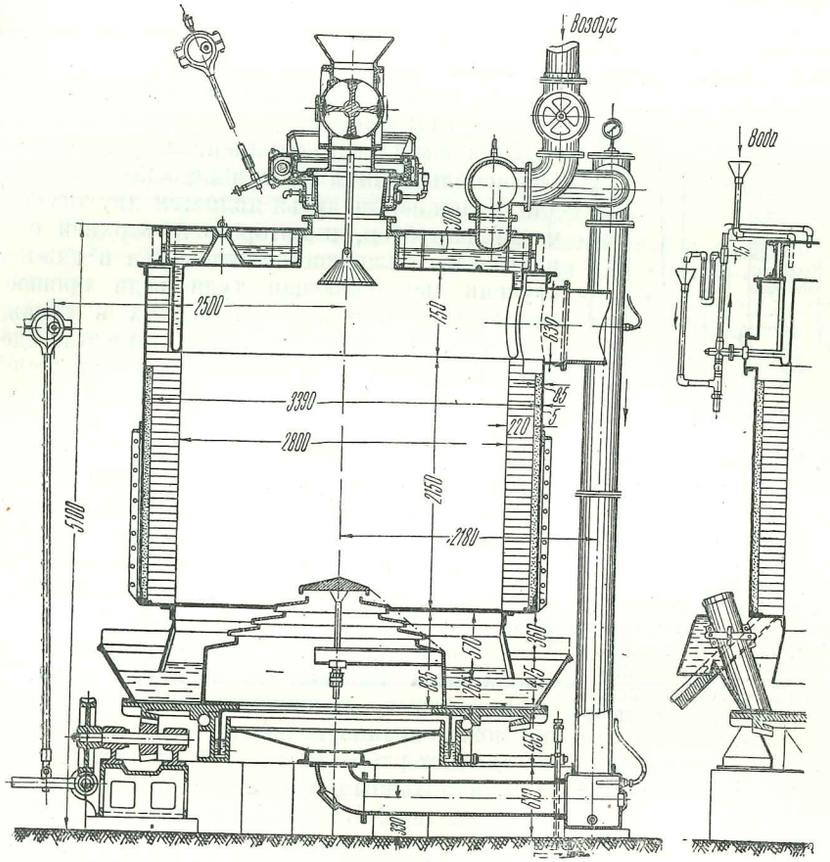
Испытания подобного генератора на антраците (Семилукский шамотный завод) выявили следующие данные: суточная производительность генератора—12,4 *т*; выход газа—4,25 *м³/кг*; температура паровоздушной смеси—42°; температура выхода газа из генератора—416°; температура поступающей в испаритель воды—2°; температура выходящей воды—77°; количество пара, поступающее в генератор из испарителя,—0,227 *кг/кг*; количество слившейся из испарителя избыточной воды—620 *кг/час* (1,2 *кг/кг*).

Устройство требует постоянного наблюдения вследствие зависимости парообразования от режима генератора и тепла, аккумулированного водой испарителя.

Чистка испарителя производится путем съема перекрывающих его листов. Очевидно, что количество пара, получаемого в подобном испарителе, зависит от количества и температуры отходящих газов, от состояния поверхности топлива, от размеров поверхности нагрева испарителя и количества добавляемой в него воды.

Как указывает Рамбуш [4], подобные испарители должны рассчитываться при хорошем топливе, с низким содержанием летучих, на

получение до 1 *кг* пара на 1 *кг* топлива. При начальной температуре газов в 650—700°, по его данным, следует принимать 0,05—0,07 *м²* поверхности нагрева на 1 *кг* пара в час, что будет соответствовать использованию в паре примерно 8% от теплотворной способности топлива. Температура газа при выходе из генератора составляет примерно 350°.



152. Генератор с металлической крышкой

Испарители должны снабжаться продувными кранами и должны быть доступны для чистки от накипи и осадков; питательная вода должна быть возможно мягче и чище.

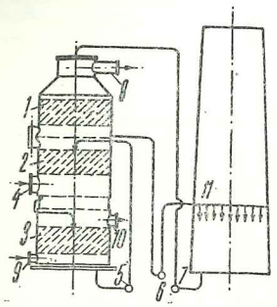
Регенеративные испарители

Использование тепла продувочных газов генераторов водяного газа для получения пара возможно не только в котлах, но и в регенеративных испарителях, в которых в один период нагревается на-

садка из стойкого в отношении изменения температур материала, а в другой—подается вода, испаряющаяся за счет тепла насадки [37]. Сложность подобной установки, оборудованной многочисленными клапанами, и трудность подбора материала насадки до сих пор препятствовали распространению этого вида приспособления (см. гл. II).

Использование тепла охлаждающей воды

Вода, охлаждающая газ, может быть использована для увлажнения воздуха дутья, что имеет особенное значение в случае смолистого газа, когда невозможна установка котлов-утилизаторов.



153. Трехступенчатый скруббер А. V. G.:

1 — верхняя ступень, *2*—средняя ступень, *3*—нижняя ступень, *4* — вход газа, *5*—насос горячего цикла воды, *6*—насос холодного цикла воды, *7*—насос холодного цикла, подающий воду в скруббер, *8*—выход охлажденного осушенного газа, *9*—вход воздуха, *10*—выход увлажненного воздуха, *11*—градирня

Простым и распространенным устройством для использования тепла охлаждающей воды для увлажнения дутья является двухступенчатый скруббер, в котором в верхней ступени газ охлаждается водой, а в нижней ступени перетекающая туда вода орошает подаваемый в генератор воздух и увлажняет его. Сравнительно легко возможно сделать подобный увлажнитель нечувствительным к загрязнениям смолой, пылью и сажей.

При проектировании охладителей-увлажнителей следует учитывать, что газ должен отдать больше тепла, чем его требуется для увлажнения, и что температура насыщенного влагой газа при выходе из генератора будет на 5—10° выше температуры увлажненного воздуха.

Если для хорошей работы увлажнителя необходима высокая температура воды, то для хорошего охлаждения газа требуется возможно низкая температура воды, что часто заставляет работать в подобных устройствах с недостаточным использованием физического тепла газа. В описанном ниже трехступенчатом скруббере (рис. 153), установленном на заводе «Гусь-Хрустальный», этот недочет избегнут.

Газ входит в среднюю *2* ступень скруббера с температурой 75°, орошается теплой водой, несколько охлаждается и поступает для дополнительного охлаждения до 25—30° в верхнюю *1* ступень, куда подается холодная вода. Горячая вода стекает в нижнюю ступень, где орошает и увлажняет воздух, поступающий в дальнейшем для газификации. Таким образом верхние два отделения служат для охлаждения генераторного газа, а нижнее—для увлажнения подаваемого в генератор воздуха. Заполнением для скруббера служат кольца Рашига. В устройстве имеются два цикла воды—холодный и горячий. Холодная вода подается центробежным насосом в верхнее отделение

скруббера и вращающимся распределительным устройством разбрызгивается по всему поперечному сечению скруббера. Вода из верхнего отделения поступает на градирню для охлаждения, проходя предварительно маслоотделитель. Холодная вода поступает в приямок генераторного здания, откуда вновь подается насосом в верхнее отделение скруббера. Вода этого цикла—холодного—не используется для насыщения воздуха.

Нижние два отделения обслуживают одновременно и охлаждение газа и увлажнение дутья (цикл горячей воды). Центробежный насос подает теплую воду из второй ямы во вращающийся распределитель среднего отделения, разбрызгивающий воду. Теплая вода охлаждает более горячий газ, нежели в предыдущем цикле, нагревается сильнее и собирается в нижней части среднего отделения, поступая отсюда через маслоотделитель в нижнее отделение скруббера.

Воздух выходит из нижнего отделения насыщенным с температурой в 45—50° и направляется к генераторам. Дальнейшее увлажнение его до температуры насыщения в 55—60° достигается добавкой пара из паросборников кожухов. Охлажденная вода из нижнего отделения подается вновь во второе отделение для орошения и охлаждения газа. Скруббер обслуживает 8 генераторов (из них один—резервный) производительностью по 40 *т* торфа в сутки. Диаметр его—4,5 *м* и общая высота—20 *м*.

Скруббер запроектирован на пропуск 7,6 $м^3$ сырого газа в секунду. При этом продолжительность пребывания газа в нем—22 сек.

Недостатком этого скруббера оказалось то, что в условиях наличия в газе паров уксусной кислоты воздух, пройдя третье отделение скруббера, воспринимает из орошающей его воды уксусную кислоту, вымытую водой из газа и сильно разъедающую воздухопровод. Кроме того кольца Рашига сравнительно быстро засоряются.

В подобной же установке Уральского завода тяжелого машиностроения в условиях промывки газа до скруббера в аппарате Штредера (водой) и наличия в газе избытка аммиака коррозии воздухопровода и засорения насадки скруббера не наблюдается.

При исследовании коксового генератора [80], снабженного скруббером со ступенью для увлажнения первичного воздуха (двухступенчатый скруббер), количество тепла, отбираемого воздухом (в теплосодержании паровоздушной смеси), оказалось равным при нормальном ходе 3,25% и при форсировке (на 50%)—2,5% от теплотворной способности кокса.

Работа двухступенчатого скруббера (с одной ступенью—для охлаждения газа и второй—для увлажнения дутья) при работе на буром угле характеризуется [183] следующими данными: температура подогрева воды—60°; температура воды, охлажденной в увлажнительной ступени,—40°; производительность генератора—16 *т/сутки*; количество подаваемого воздуха—925 $м^3/час$; необходимая добавка пара к дутью—100 *г/кг*; требуемая температура насыщения воздуха—41°; содержание влаги в воздухе при его входе в увлажнительную ступень (15°, 80%-ная влажность)—11 $г/м^3$; требуемое содержание влаги—67 $г/м^3$; испаряется влаги в скруббере—56 $г/м^3$; теплосодержание 1 $м^3$

воздуха и 67 *г* водяного пара при 41°—54,2 *кал/м³*; теплосодержание 1 *м³* воздуха и 11 *г* водяного пара при 15°—11,2 *кал/м³*; тепло, приобретаемое воздухом в увлажнительной ступени: (54,2—11,2) · 925 = = 40 000 *кал/час*; потребное количество воды при к. п. д. увлажнительной ступени, равном 0,8, составляет $\frac{40\,000}{20 \cdot 0{,}8} = 2\,500$ *кг/час*; количество воспринимаемой воздухом влаги—52 *кг/час*.

В табл. 62 приведены средние данные по работе двух установок, снабженных описанными выше трехступенчатыми скрубберами [81].

Таблица 62

Данные по работе установок, оборудованных трехступенчатыми скрубберами

	Брикеты бурого угля	Сырой бурый уголь
Производительность установки в сутки	100 *т*	220 *т*
Влажность топлива	15%	55%
Выход газа на 1 *кг* топлива	2,5 *м³*	1,4 *м³*
Точка росы газа при выходе из генератора	57°	74°
То же по выходе из смолоотделителя	61°	74°
Температура газа перед скруббером	80°	75°
Количество воздуха, потребного на 1 *кг* топлива	1,6 *м³*	0,85 *м³*
Количество пара, потребного на 1 *кг* топлива	0,3 *кг*	0,1 *кг*
Потребная температура насыщения воздуха	59°	52°
Насыщение воздуха, достигаемое в скруббере	57°	52°
Количество пара, получаемого в скруббере на 1 *кг* топлива	0,265 *кг*	0,1 *кг*
Недостающее количество пара	0,035 *кг* (11,6%)	—

Недочетом подобных установок являются их большая начальная стоимость, громоздкость и конденсация влаги в воздухопроводе. Для уменьшения последней воздухопровод изолируют.

Вообще при наличии теплой воды в производстве она может быть использована для увлажнения дутья. Для этой цели применяют цилиндрические резервуары, снабженные деревянными решетками, по которым вода стекает вниз навстречу поступающему снизу воздуху, увлажняя его.

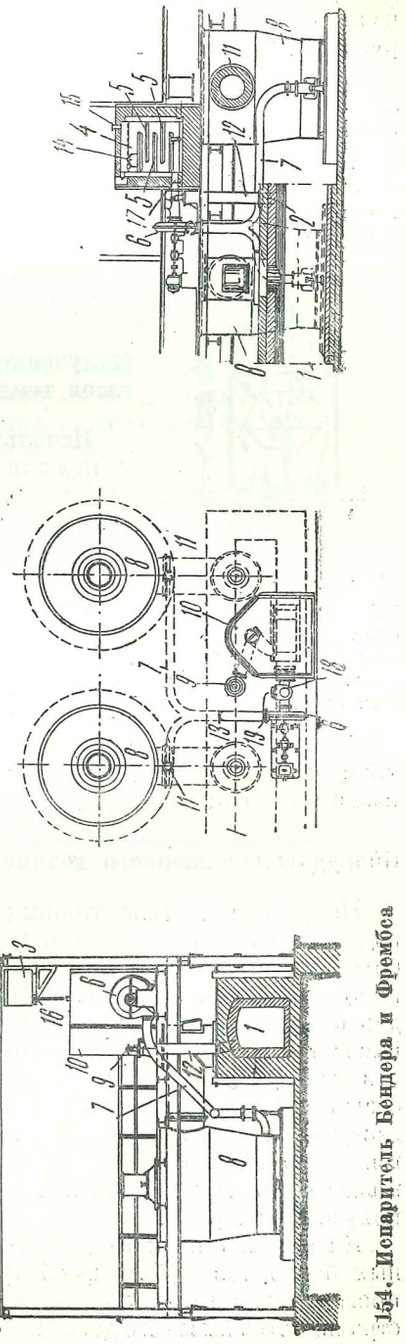
Кроме решетчатых увлажнителей применяют увлажнители с разбрызгивающими приспособлениями (соплами-пульверизаторами), в которых теплая вода мелко распыливается и частично испаряется, частично остается в воздухе в виде мельчайших частиц—тумана.

Аналогичное устройство может быть применено и в случае наличия горячего воздуха. Мелко распыленные частицы воды в горячем воздухе испаряются за счет тепла воздуха, и паровоздушная смесь может быть подана в генератор.

Увлажнение нагретого воздуха может быть скомбинировано с подсушкой топлива, например торфа или бурого угля.

Испарители Бендера и Фрембса

Недостатком применения насыщенного пара во всех случаях является конденсация его в воздухопроводах. Эта конденсация, а также установки дорогого котла с отдельным обслуживанием отпадают при устройстве испарителей, в которых водяной пар получается за счет сжигания некоторого количества газа из генератора. Устройство подобного испарителя системы «Бендер и Фрембс» представлено на рис. 154 [10].



154. Испаритель Бендера и Фрембса

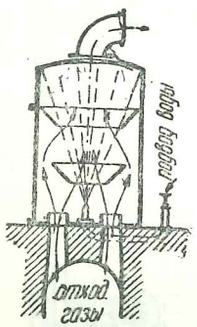
Испаритель состоит из сожигательной камеры *10*, испарительной камеры *4*, вентилятора *6* с мотором и водяного бака *3*. Генератор *8* соединен с газосборником *1* газопроводом *11*. В сожигательную камеру *10* из газосборника *1* через отверстие *2* по газопроводу *12* отсасывается небольшое количество газа, регулируемое вентилем *9*. На поду сожигательной камеры расположена горелка, с обеих сторон которой подводится воздух для сжигания газа, регулируемый шиберами. Продукты сгорания поступают через отверстие *14* в камеру испарения *4*, с чугунными корытами *5*, по которым стекает вода, подаваемая из бака *3* воронкой *15* и регулируемая вентилем *16*. Вода испаряется продуктами сгорания, и смесь их с водяным паром с температурой 300—400° через отверстие *17* засасывается вентилятором *6*. Одновременно через отверстие *18* засасывается извне воздух, количество которого регулируется шибером *19*. Количество смеси воз-

духа, водяного пара и продуктов горения, подаваемой вентилятором через общий трубопровод *13* и к отдельным генераторам регулируется шиберами.

Температура смеси, подаваемой в генератор,—150—170°, что предупреждает возможность конденсации водяного пара и образования сернистой кислоты, разъедающей воздухопровод.

Содержание CO_2 в смеси достигает 1,0—1,6%.

Расход газа на получение пара составляет в этих испарителях примерно 3% от всего количества газа. Получающаяся в результате горения газа углекислота в генераторе восстанавливается в CO и действует, так же как водяной пар, охлаждающим образом.



155. Схема устройства для использования тепла продуктов горения для испарения воды

Получение пара за счет тепла отходящих газов тепловых установок

Использование тепла продуктов горения для испарения воды и подачи смеси водяного пара предложено Гинсельманом [44]. Схема устройства представлена на рис. 155. Отходящие газы, отсасываемые вентилятором через ответвление от дымового борова, испаряют в специальной камере-испарителе распыливаемую пульверизатором воду. Смесь отходящих газов и водяного пара отсасывается вентилятором и подается в генератор.

Как указывает Тренклер [1], более простая регулировка достигается при установке воздухоподогревателя, отапливаемого отходящими газами, и испарении влаги нагретым воздухом.

Оборудование парового хозяйства

Получение в генераторных установках избыточных количеств водяного пара, возможность получения в котлах-утилизаторах пара более высокого давления, чем в рубашках, наличие потребителей, нуждающихся в паре повышенного давления (шуровочные затворы, для получения энергии)—вызывают устройство двух паровых линий—высокого и низкого давления: первой—соединенной с котлами-утилизаторами и второй—соединенной с рубашками. Обе линии соединяют для возможности перепуска пара высокого давления в магистраль низкого давления (через редукционный вентиль), причем генератор питают паром низкого давления. В качестве последнего может быть также применен мятый пар, уже использованный для получения энергии.

Магистраль низкого давления, соединяющая котелки пароводяных барабанов рубашек, обслуживает подачу пара в генератор и прогрев смоляных лотков и ям и других устройств; другая же магистраль, более высокого давления, в которую пар подается из котельной

или из котлов-утилизаторов, обслуживает подачу пара для получения энергии, для паровых завес, к калориферам для отопления, добавку недостающего пара в магистраль низкого давления и т. д.

Наиболее значительным потребителем энергии в установках водяного газа является воздуходувка. Использованный ею пар может быть применен для подачи в генераторы. Однако даже в больших установках количество получаемого из воздуходувок пара часто не соответствует потребности, то превышая ее, то являясь недостаточным. Это неудобство устраняется аккумуляторами пара, представляющими собой большой бак, соединенный с линией мятого пара. При наличии избытка пара давление в линии повышается, и мятый пар конденсируется в воду, подогревая ее, и наоборот, при недостатке пара вода испаряется, восполняя недостаток пара.

Запас воды в рубашках, пароводяных барабанах и котлах-утилизаторах не велик; перерыв в снабжении их водой опасен. Известны случаи прогара рубашек и выпучивания их в результате обнажения поверхностей, соприкасающихся с раскаленным топливом, а также случаи взрывов вследствие попадания больших количеств воды при восстановившемся питании на оголенные от воды, раскаленные поверхности. Рубашки, как и котлы-утилизаторы, должны быть обеспечены питанием водой от двух водоводов. На случай прекращения подачи воды по водопроводам рубашки необходимо обеспечить питанием водой из специальных баков. Питание котлов, работающих с значительным давлением, обеспечивается от парового и центробежного насосов.

Очень большое значение имеет также надежное автоматическое питание котла, обычно производимое с помощью поплавковых клапанов, которые должны обеспечивать основное питание (резервное—ручное от вентиля) (рис. 92).

Котлы и паропроводы снабжаются обычными для котельных установок арматурой и оборудованием—конденсационными горшками, предохранительными клапанами, отводами в атмосферу, водомерными стеклами, манометрами, водомерами и пр.

При возможном наличии в генераторном газе или в продуктах горения продувочных газов сернистого газа (SO_2) во избежание коррозии труб, подогревателей или котлов, имеющей место при холодной воде и конденсации из газов влаги, следует применять подогретую воду. Температура подогрева должна быть выше точки росы газов. Для подогрева воды возможно смешение ее с выпускаемой из подогревателей водой или использование отработанного пара.

В качестве примера оборудования парового хозяйства генераторной станции можно привести установку из двух генераторов Дружковского завода, обслуживающих болтовый цех [78, 79].

Генераторы водяного газа, работающие на антраците, снабжены охлаждающими кожухами с пароперегревателями в самом генераторе и общим дымогарным котлом-утилизатором с пароперегревателем. Ширина рубашки—170 *мм*, высота—3 600 *мм*. Поверхность нагрева перегревателя пара из рубашки—12 $м^2$. Котел имеет поверхность нагрева в 235 $м^2$. Поверхность нагрева пароперегревателя

котла—24,4 $м^2$, водяного экономайзера—142 $м^2$ и воздушного экономайзера, подогревающего воздух, дожигающий продукты горячего дутья,—132 $м^2$. Камера дожигания имеет диаметр в 2 000 *мм* и полную высоту в 8 450 *мм*. Питательная вода перед поступлением в экономайзер и паровые котлы, находящиеся на газогенераторах, предварительно проходит через подогреватель, расположенный на газопроводе водяного газа перед входом последнего в скруббер, имеющий поверхность нагрева, равную 12 $м^2$.

Пар из котла с давлением в 12 *ат* должен использоваться для приведения в движение турбины, обслуживающей нужды завода и снабженной в качестве резерва мотором.

Отработанный пар, как и пар, получаемый в рубашках, идет для нужд газификации, причем в случае избытка этого пара он направляется в аккумулятор Рутса, установленный на газогенераторной станции. Сюда же направляется через специальный регулятор избыточный пар из котла-утилизатора. Из аккумулятора избыточный пар идет на различные заводские нужды. В случае недостатка пара он покрывается подачей пара из заводской котельной через тот же аккумулятор.

Питание котлов осуществляется с помощью парового насоса Вартингтона, питаемого паром из котла. Кроме того имеется центробежный насос, работающий от электромотора.

Первоначально установка в отношении получения пара в котле-утилизаторе работала совершенно не удовлетворительно вследствие плохого дожигания продуктов горячего дутья и загрязнения уносом труб котла и экономайзера. С котла снималось только 2,3 *кг* пара с 1 $м^2$. Съем пара в рубашках составлял 18,4 $кг/м^2$ *час*.

После переоборудования установки, при котором был подведен дополнительный воздух в слой и в верхнюю часть генератора для лучшего разогрева слоя и сжигания в самом генераторе продуктов горячего дутья, работа парового хозяйства улучшилась. При работе одного генератора вместо двух показатели были следующие: производительность—17,5 *т* антрацита в сутки (1 624 $м^3$ водяного пара в час); соотношение воздушного и парового дутья—2,1 : 4,8; напряженность поверхности нагрева рубашки (29,39 $м^2$)—32,7 $кг/м^2$ *час* при давлении в 2,5 *ат*; перегрев пара был ничтожен (малая величина пароперегревателя); температура продуктов горячего дутья перед котлом равнялась в среднем 670°; температура питательной воды, подававшейся из аккумулятора Рутса, превращенного в подогреватель воды за счет избыточного пара рубашки, составляла 50°; напряженность поверхности нагрева котла, отнесенная ко всему времени работы,—5,34 $кг/м^2$ *час* (всего 1 255 *кг/час*) и к периоду обогрева котла—17,57 $кг/м^2$ *час*; давление пара в котле—8 *ат*; температура перегрева пара—395°; излишек пара из котла (60%) отдавался на нужды завода; при работе двух газогенераторов паропроизводительность котла должна была бы увеличиться больше чем вдвое.

Глава пятая

СВОЙСТВА ТОПЛИВА ДЛЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

1. ТОПЛИВО, ЕГО СОСТАВ И СВОЙСТВА

Топливом называют содержащие органические вещества горючие, которые способны сгорать в воздухе с выделением значительного количества тепла, достаточно распространенные и могущие быть практически использованными в качестве источников тепла.

Классификация топлив

Различают твердые, жидкие и газообразные топлива. Каждую из этих групп топлив разделяют на подгруппы—естественное и искусственное топливо. Переработка топлива предпринимается для возможности более полного и рационального его использования.

Путем механической переработки получают брикеты. Они изготовляются из мелкого малоценного топлива с добавкой связующих веществ путем прессования. Связующим веществом обычно служит каменноугольный пек. Некоторые сорта бурых углей не требуют добавки связующего вещества, так как их смолистые вещества под высоким давлением плавятся и связывают вещество брикета.

Искусственным топливом, получаемым путем термической переработки топлива, является кокс или полукокс—твердый остаток от топлива, образующийся в результате высоко- или низкотемпературной перегонки топлива.

Газы, изучаемые в настоящей работе, являются топливом искусственным, получаемым из естественных твердых топлив—дров, торфа, бурого угля, каменного угля, антрацита и сланца или из искусственных твердых топлив—брикетов и кокса.

Главную массу применяемых для газификации топлив составляют горючие породы, имеющие разнообразные состав и свойства в зависимости от своего происхождения и возраста.

Из числа многочисленных попыток классификации топлив по различным признакам, по комплексу характеристик химического состава и физических свойств выделяется научная классификация Стадникова [83], повидимому охватывающая угли всех стран.

Естественная классификация ископаемых углей

Таблица 63

	Класс I	Класс II	Класс III	Класс IV
Возраст	**Сапропелиты**—в органической массе 8—10% водорода; не содержат смол, восков и гуминовых кислот; содержат органические кислоты и их ангидриды; дают высокий выход первичного дегтя, не содержащего фенолов, асфальтенов и силикагелевых смол; остаточный уголь спекается и вспучивается.	**Гумусовые угли**—рыхлые бурые или блестящие твердые черного цвета вещества; содержат воски, смолы и гуминовые кислоты или углеводороды, смолы и гумиты; дают первичный деготь, содержащий асфальтены, смолы и много фенолов (35—50%); содержание водорода в органической массе не более 5%; остаточный уголь не спекается.	**Смешанные сапропелито-гумусовые**—преобладает сапропелитовая часть; содержат гуминовые кислоты или гумиты, неполимеризованные и полимеризованные, жирные кислоты и продукты их декарбоксилирования; дают спекшийся полукокс и дегти, содержащие карбоновые кислоты, мало смол, асфальтенов и фенолов (5,18%); первичный газ богат метаном (60—70%); остаточный уголь спекается. **Болотные сапропели**—содержат осатки неразложившихся растений в сапропелито-гумусовой основной массе, заключающей много растворимых жирных кислот и их солей.	**Смешанные гумусово-сапропелитовые** — преобладает гумусовая часть; содержат много гумусовых кислот или гумитов, смолы, воски и углеводороды; дают порошкообразный полукокс и первичные дегти, содержащие значительные количества асфальтенов, смол и фенолов (18—30%); остаточный уголь не спекается.
А. Торфы	**Сапропелитовые торфы**—резиноподобная масса, содержащая альги, хлорофилл и много растворимых кислот (куронгит и балхашит).	**Сухие торфы** — светлобурая рыхлая масса, состоящая из гуминовых кислот и содержащая воски, смолы и форменные элементы растений (листья, хвою, древесину).		**Болотные торфы** — состоят из сильно оводненных, набухших гуминовых кислот, смол, восков, жирных кислот и их полимеров; содержат форменные элементы растений.
Б. Бурые угли	**1) Богхеды**—сапропелиты, содержащие остатки альг и не содержащие или почти не содержащие спор. а) Богхеды плотные—дают раковистый излом, мало содержат экстрагируемых веществ (2—4%). б) Богхеды слоистые—многозольные, легко расщепляются, содержат много экстрагируемых веществ (10—15%). **2) Кеннельские сапропелиты**—в основной сапропелитовой массе содержат остатки альг и много спор (мега и микро). **3) Масляные сланцы**—плотные богхеды, содержащие включения нейтральных масел, сходных с нефтью.	**1) Бурые угли**—светло- и черно-бурая масса, содержащая гуминовые кислоты, гуматы, воски и смолы, иногда гумиты. а) Битуминозные бурые угли—содержат извлекаемого спиртобензолом битума больше 10%. б) Перегонные бурые угли—содержат от 5 до 10% битума. в) Тощие бурые угли—содержат битума меньше 5%. **2. Гумусовые кеннели**—содержат много спор в основной гумусовой массе и дают высокий выход дегтя (15—20%).	**1) Гумусовые богхеды**—плотные образования, содержащие растворимые в водной щелочи гуминовые кислоты и сильно кислые битумы. **2) Сапропелито-гумусовые угли**—черно-бурые с раковистым изломом или ясно заметной штриховатостью. а) Витритовые—блестящие пеко-подобные угли с раковистым изломом. б) Полосчатые угли—с преобладанием витрита и без фузита.	**Бурые угли** — рыхлые или плотные образования, содержащие извлекаемые водной щелочью гуминовые кислоты. а) Битуминозные (витритовые)—плотные образования почти черного цвета, дающие 5—8% битума и до 15% первичного дегтя. б) Тощие—мало плотные бурого цвета образования, дающие 2—3% битума и низкий выход первичного дегтя.
В. Каменные угли		**1) Каменные угли**—без блеска (матовые), содержат смолы, углеводороды и гумиты; не содержат гуминовых кислот; плохо спекаются. а) Битуминозные—выход первичного дегтя не менее 5%, содержание водорода не менее 4,5%. б) Тощие—выход первичного дегтя меньше 5% и содержание водорода—от 3 до 4%. в) Фузитовые — преобладает фузит. **2) Антрациты** — содержание водорода не более 2%.	**1) Каменные**—черные блестящие угли, содержащие мало экстрагируемых веществ и дающие хорошо сплавленный и вспученный полукокс. а) Витритовые—блестящие пеко-подобные угли, дающие раковистый излом. б) Полосчатые угли—с преобладанием витрита; фузит отсутствует или почти отсутствует.	**1) Каменные**—не содержат гуминовых кислот; дают ничтожный выход дегтя. а) Витритовые — блестящие с раковистым изломом; фузита не содержат или почти не содержат. б) Полосчатые—с малым содержанием витрита и гумусовым дуритом; фузита мало. в) Фузитовые — с преобладанием фузита. **2) Антрациты**—содержат не более 2% водорода.

По естественной классификации Стадникова (табл. 63), угли по своему происхождению разделяются на чистые сапропелиты, образовавшиеся из жирных кислот, входивших в состав жиров микрорастений (альг); чистые гумусовые, образовавшиеся из лигнина, восков и смол высших растений, и смешанные, в образовании которых принимали участие как жирные кислоты микрорастений, так и остатки высших растений или продуктов их аэробного изменения. В зависимости от преобладания той или иной части среди углей смешанного происхождения различают сапропелито-гумусовые и гумусово-сапропелитовые.

Стадников рассматривает торф как уголь, находящийся в стадии образования. Угли, содержащие много спор, называются кеннельскими.

В зависимости от изменения органического материала углей, т. е. их химического возраста, они разделяются на торфы, бурые и каменные угли.

Конечной стадией чисто сапропелитовых углей является буроугольная. Чисто сапропелитовые образования, пройдя стадию торфа, превращаются в бурые угли-богхеды, кеннельские сапропелиты и масляные сланцы.

Богхеды содержат остатки альг и не содержат или мало содержат спор; кеннельские сапропелиты содержат остатки альг и много спор; масляные сланцы содержат много смолы и включения нейтральных масел, сходных с нефтью. Эти угли характеризуются однородностью структуры в отличие от большинства каменных углей, содержащих разные прослойки (полосчатые угли).

В чисто гумусовых бурых углях различают разновидность—гумусовые кеннели и в каменных—антрациты, содержащие не больше 2% водорода.

Вещество каменных углей в зависимости от своего внешнего вида и происхождения носит название витрита, дурита и фузита. Витрит представляет собой черный блестящий бесструктурный уголь с раковистым изломом сапропелито-гумусового происхождения. Дурит является бесструктурной темнобурой матовой массой смешанного происхождения, часто содержащей споры. Фузит образует матовые прослойки или вкраплен в другие части угля; эта часть углей гумусового происхождения часто сохраняет структуру материнского растения.

В противоположность вышеуказанной лигниновой теории происхождения гуминовых тел доказывается возможность образования гумусовых веществ также из клетчатки (целлюлозная теория) [170].

Состав топлива

Топливо состоит из горючей и негорючей частей. Горючая часть состоит из органических (углеродных) соединений, включающих в себе углерод, водород, кислород, азот и серу.

Из элементов, составляющих горючую часть топлива, горючими являются углерод, водород и сера. Углерод может быть связан с с H, O, N, S, причем разрушение этих соединений сопровождается

небольшим выделением тепла, и поэтому углерод при сгорании в любых соединениях дает почти одно и то же количество тепла. Что касается водорода, то для него имеет большое значение характер связи с другими элементами.

С увеличением возраста угля возрастает содержание в его горючей массе углерода и уменьшается содержание водорода и кислорода.

Негорючая часть топлива состоит из минеральных соединений и влаги. Если помимо состава горючей части задается содержание влаги и золы в применяемом топливе, то такие состав и топливо называются рабочими.

В топливе часто содержится больше влаги, чем это соответствует природе и возрасту топлива; поэтому иногда характеризуют топливо тем содержанием влаги, которое оно удерживает при хранении в течение определенного промежутка времени в лаборатории (лабораторная влажность).

Влага, удерживаемая топливом на воздухе в обычных условиях хранения топлива, при установлении, следовательно, равновесия с паром окружающего пространства, называется гигроскопической.

Влага топлива связана отчасти с органическими веществами, отчасти же с минеральной составной частью. Связь влаги с минеральной частью имеет значение для зольных углей, содержащих много алюмосиликатов.

Влага находится в топливе в коллоидально связанном состоянии. Органические коллоиды могут быть обезвожены высушиванием при 100—105°, минеральные же коллоиды иногда требуют для полного обезвоживания температур в 200° и больше. В топливе может также содержаться удерживаемая на его поверхности влага (внешняя влага)—лед, снег.

Абсолютно сухим топливом называют условно топливо, доведенное путем высушивания при 105° в атмосфере воздуха до постоянного веса.

Остаток, образующийся после полного сгорания топлива, называется золой. Он не тождествен с теми минеральными примесями, которые находились первоначально в топливе, так как при горении или газификации минеральная часть топлива подвергается под влиянием высокой температуры изменениям, и при этом меняется также содержание кислорода в органической массе. Поэтому вводят понятие о горючей массе топлива, учитывающее получение измененной минеральной части—золы. Таким образом горючая масса является беззольной и безводной частью топлива [181].

Горючую часть, как состоящую из органических соединений, называют органической частью топлива, если только не учитываются изменения, которые происходят с минеральной частью при горении и которые влияют и на органическую часть. Таким образом органическая часть представляет собой топливо без минеральной части и влаги.

В большинстве случаев по элементарному составу нельзя судить о природе угля, и последний подвергают дополнительным исследованиям: прокаливанию без доступа воздуха для определения содержания летучих и выхода кокса, обработке водой, органическими растворите-

лями, кислотой и щелочью для извлечения органических веществ [85]. Вещества, извлекаемые нейтральными органическими растворителями (бензолом, эфиром, спиртом и т. д.), носят название битумов.

Данные о составе и свойствах топлив СССР приведены в табл. 64 [46].

Минеральная часть топлива

Минеральные вещества, входящие в состав углей, бывают двоякого происхождения: из материнского вещества углеобразователя (первичная зола) и нанесенные со стороны (вторичная зола). Минеральные вещества растений-углеобразователей при превращениях растительного материала претерпевают ряд изменений, при которых часть состоящая из щелочных окислов и образующая легкорастворимые соли, вымывается водой.

В углях с высоким содержанием минеральных веществ последние являются результатом наносов ветром (песок в виде пыли) и водой (песок, карбонаты, глины, растворимые соли). Принесенные со стороны минеральные вещества, взаимодействуя с органической массой топлива, меняют состав минеральной части угля.

Указанные минеральные вещества или равномерно распределяются в топливе или же представляют собой механически примешанные частицы, тесно вкрапленные в топливо и трудно отделимые. Если примеси попали при добыче топлива, они могут быть в известной мере удалены с помощью соответствующей обработки топлива.

Важнейшие минеральные примеси: карбонаты, как например $CaCO_3$, $MgCO_3$ и $FeCO_3$; сульфаты—$CaSO_4$, Na_2SO_4 и $FeSO_4$; колчедан—FeS_2; железо (закисное) в растворимой форме; силикаты Al_2O_3, MnO, CaO, Na_2O, K_2O; поваренная соль в небольших количествах.

Заключающиеся в топливе минеральные примеси при сгорании или газификации, как уже выше указывалось, претерпевают известные изменения, а именно:

1) кремнезем с известью, магнезией и щелочами образуют сложные силикаты; последние частью расплавляются;

2) карбонат кальция разлагается по реакции:

$$CaCO_3 = CaO + CO_2;$$

3) сульфаты восстанавливаются в сернистые металлы и фосфаты—в фосфористые металлы;

4) степень окисления железа меняется;

5) серный колчедан взаимодействует по реакции:

$$3FeS_2 + 8O_2 = Fe_3O_4 + 6SO_2$$

или же разлагается по реакции:

$$FeS_2 = FeS + S$$

с образованием H_2S и SO_2 по реакции:

$$FeS + SiO_2 + 1{,}5O_2 = FeSiO_3 + SO_2;$$

х а р а к т е р и с т и к и

	$S^г_{ор}$	$N^г$	$O^г$ по разности	$Q^г_б$	$Q^г_в$	$V^г$	Характеристика
	%	%	%	Калорий	Калорий	%	
ее	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее	Среднее от—до	Среднее	Среднее от—до	
	14	15	16	17	18	19	20
	0,8	1,4 1,0—1,7	7,3	**8 350** 8 230—8 680	**8 320**	**29,0** 25,0—35,0	От порошкообра спекш., сплавл.
	6,3	8,8		**8 240**	**8 030**	**46,0**	Спекшийс
,9	1,4 1,3—1,5	1,0*	17,8	**6 970** 6 680—7 200	**6 880**	**40,0** 36,0—52,0	Порошкообра
	0,3	1,8 1,6—2,1	2,2	**8 600** 8 510—8 720	**8 530**	**15,5** 14,0—17,0	От слабо спекш спекшегося, пл
	0,5	2,1 1,6—2,5	3,8	**8 400** 8 200—8 640	**8 380**	**18,0** 15,0—24,0	От порошкообр спекшегося, спл
	0,6	2,0 1,7—2,4	6,2	**8 200** 7 950—8 600	**8 180**	**29,0** 21,0—34,0	От слипшегося шегося, сплавл.
	0,5	2,7 2,4—2,9	7,5	**8 250** 8 100—8 430	**8 220**	**41,0** 37,0—44,0	Спекшийся, сп умеренно-пло
	0,3	2,1 1,9—2,2	12,9	**7 650** 7 450—7 810	**7 630**	**43,0** 40,0—45,0	От слипшегося шегося, плот
	0,9	1,7 1,4—2,0	5,3	**8 300** 8 170—8 480	**8 260**	**12,0** 9,0—24,0	Порошкообра
	0,5	2,4	5,3	**8 250** 8 000—8 450	**8 230**	**29,0** 23,0—33,0	Спекшийс
	1,0	2,3 1,8—2,5	12,3	**7 800** 7 610—8 100	**7 760**	**43,0** 38,0—46,5	От слабо слип до спекше
,5—1,8		—	—	**6 180—6 620**	—	**40,0—48,0**	Порошкообра
	1,4	1,6 1,0—2,3	13,3	**7 750** 7 200—7 980	**7 700**	**45,0** 41,5—52,0	От слипшегося шегося, плот
	0,7	18,5		**7 200** 6 800—7 320	**7 170**	**41,5** 39,0—43,8	Порошкообра
	0,8	1,0	14,1	**7 760**	**7 730**	**37,0**	От порошкообр
,3—4,7		0,6—2,2		6 980—8 370		30,0—45,3	до спекшег
	0,1	1,2	23,0	**6 610**	**6 600**	**41,0**	Порошкообра
,01—0,2				6 500—6 800		34,0—45,0	
	0,4	1,5	20,7	**7 050**	**7 030**	**48,0**	То же
,01—0,7		1,1—2,7		6 510—7 390		44,5—50,0	
	0,3	1,4	6,7	**8 400**	**8 380**	**25,5**	Спекшийся, сп
,1—0,5		1,0—1,7		8 260—8 770		20,8—30,0	ный, вспучен
	0,4	1,6	17,2	7 200	**7 280**	44,5	Порошкообра
,2—0,7				7 100—7 400		37,4—50,3	
	0,4	9,4		**8 250**	**8 230**	**19,0**	Спекшийся, сп
,3—0,5						14,7—27,1	ный, вспучен
	0,2	1,4	21,7	**6 700**	**6 680**	**47,5**	Порошкообра
,1—0,7		0,8—1,8				43,2—53,4	
3	0,2 0,1—0,4	0,8 0,7—1,0	16,1	**7 070** 6 950—7 170	**7 040**	**28,5** 24,0—32,5	То же

Таблица 64 (продолжение)

	Сухая масса	Рабочая масса			Температура плавления золы в полувосстановительной среде		
кокса	$Q^c_б$	A^p	$S^p_{об}$	$Q^p_н$	Начало деформации	Температура размягчения	Температура жидко-плавкого состояния
	Калор.	%	%	Калор.	°С	°С	°С
	Среднее	Среднее	Среднее	Средн. от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до
	21	22	23	24	25	26	27
зного до плотн.	6 890	16,3	0,7	6 120	>1 450	—	—
я	5 520	32,4	4,3	5 090	—	—	—
зный	5 820	12,8	2,6	4 170	1 020 1 000—1 040	1 050 1 040—1 060	1 110 1 060—1 250
егося до отного	7 820	8,6	0,5	7 280	1 170 1 150—1 200	1 370 1250—>1450	>1 450 1 390—
азн. до ,плотн.	7 810	6,6	0,5	7 090	1 120—1 450	1240—>1450	1 320—
ю спек-, плотн.	7 080	12,6	0,5	6 240	1 060—1 300	1 130—1 430	1 240—1 540
плавлен. тный	7 510	8,5	0,5	6 720	1 100	1 170	1 250
ю спек-ного	6 960	8,2	0,3	6 010	1 040—1 140	1 160—1 210	1 200—1 260
зный	6 980	14,6	0,7	6 090	1 000—1 370	1 270—1 470	1 300—1 530
я	7 590	7,4	0,5	6 670	—	—	—
шегося ося	6 700	12,5	0,9	5 640	—	—	—
зный	—	—	—	—	—	—	—
до спек-ного	6 510	14,4	1,2	5 520	1010—>1500	1 130—	1 170—
зный	6 580	5,8	0,5	4 100	—	—	—
разного ося	6 900	10,0	0,8	5 810	—	—	—
зный	5 740	10,0	0,2	4 060	—	—	—
	6 270	8,3	0,4	4 300	1 130 1 120—1 150	1 200 1 180—1 220	1 290 1 230—1 330
плавлен-ный	6 840	17,9	0,4	6 360	—	—	—
зный	6 520	9,4	0,4	5 410	—	—	—
плавлен-ный	7 160	12,6	0,4	6 530	—	—	—
зный	5 540	13,2	0,4	3 950	—	—	—
	6 240	9,4	0,9	4 680	1 130 1 040—1 290	1 240 1 120—1 360	1 270 1 180—1 274

6) углерод кокса переходит в графит и образуются карбиды железа и кремния;

7) отдельные составные части, в особенности поваренная соль, улетучиваются.

Чем больше в золе окислов железа, кальция и магния, тем ниже температура плавления золы. Степень плавкости золы оценивают соотношениями:

$$\frac{SiO_2 + Al_2O_3}{Fe_2O_3 + CaO + MgO} \quad \text{и} \quad \frac{Al_2O_3}{SiO_2},$$

причем чем больше величина этих соотношений, тем выше температура плавления.

Сера угля

Наличие серы в топливе, несмотря на то, что при сгорании она выделяет некоторое количество тепла, нежелательно, так как сероводород, получаемый при газификации топлив, содержащих серу, и окислы серы, получаемые при сгорании генераторного газа, вредно влияют на здоровье людей, разъедают металлические поверхности и т. д.

В ископаемых углях сернистые соединения бывают первичного и вторичного происхождения. Первичные образовались из сернистых соединений, которые входили в состав растений, служивших материнским веществом угля. Вторичные сернистые соединения получились путем изменения сульфатов, принесенных в скопления растительного материала со стороны.

При анализе топлива обычно определяют общее содержание серы в топливе, однако ее можно разбить на две части: 1) негорючую, или сульфатную, серу, входящую в состав минеральной части топлива в виде сульфатов гипса — $CaSO_4$ и сернокислых металлов — $FeSO_4$ и $MgSO_4$, в которых сера уже связана с кислородом, и 2) горючую, или летучую, серу. В свою очередь горючая сера состоит из серы пиритной, входящей в состав серного колчедана FeS_2 (иногда в соединении с цинком, медью и другими металлами), и органической серы, входящей в состав сложного органического вещества, из которого образовалось топливо. Содержание сульфатной серы обычно незначительно.

По Поуэлю и Парру[83, 87] сероводород в газе появляется в результате разложения пиритной серы и некоторой части органически связанной серы. По Ферстеру и Гейслеру, органическая сера не принимает участия в образовании сероводорода; он образуется только из пирита. Изменения сернистых соединений[83, 87] могут быть сведены к следующим:

1. Разложение пиритной серы по реакции:

$$FeS_2 = FeS + S.$$

В присутствии водяных паров и водорода в газе элементарная сера образует сероводород. Также и при взаимодействии сульфида с водяным паром и водородом образуется сероводород по реакциям:

$$FeS + H_2O = FeO + H_2S \quad \text{и}$$
$$FeS + H_2 = Fe + H_2S.$$

2. Сульфатная сера в значительной степени восстанавливается углеродом до сульфидной по реакции

$$RSO_4 + 2C = RS + 2CO_2.$$

Сульфид, образующийся при восстановлении сульфата, как и при разложении пирита, может в некотором количестве окисляться или дать новые количества сероводорода. Сульфид также реагирует с органическим веществом угля с образованием новых количеств органической серы. При повышении температуры сульфат распадается с образованием серного ангидрида.

3. Часть образовавшегося сероводорода может реагировать с минеральным веществом угля с образованием новых количеств сульфида.

4. Некоторая часть сероводорода реагирует с органическим веществом угля и образует небольшие количества сероуглерода и других летучих органических соединений серы.

Таблица 65 дает представление о постепенных превращениях различных форм серы при высокотемпературном коксовании [83, 87].

Таблица 65

Превращения серы угля под влиянием температуры

Формы серы	При температурах (°С)					
	0	300	400	500	600	1 000
Пиритная сера	1,75	1,75	1,42	0,31	0,00	0,00
Сульфатная сера	0,71	0,55	0,44	0,01	0,01	0,00
Органическая сера	1,79	1,6	1,51	1,70	1,87	1,81
Сульфидная сера (FeS)	0,00	0,13	0,44	0,93	0,82	0,84
Сероводород	0,00	0,19	0,39	1,20	1,39	1,44

Уже при 500° главная масса пирита угля превращается в сернистое железо и сероводород, и это превращение заканчивается при 600°; органическая сера отчасти удаляется из угля в виде сероводорода и других сернистых соединений, а отчасти вновь образуется из минеральной серы. Удаление органической серы из угля вследствие образования сероводорода и легколетучих органических сернистых соединений начинается (как и у пирита) при 300° и продолжается до конца перегонки. Однако потеря органической серы заметна только до 400°, а начиная с этой температуры, она маскируется образованием новых сернистых соединений вследствие реакции органической массы угля с серой, получающейся при распаде пирита. Эта последняя сера отчасти дегидрогенизирует образующиеся при распаде угля органические соединения, а отчасти вступает в соединение с высокомолекулярными нелетучими веществами и после их обугливания остается в коксе.

Восстановление сульфатов в сульфиды почти полностью заканчивается в пределах температур полукоксования.

При полукоксовании не образуется высокостойких содержащих серу соединений, поэтому в случае пропускания через полукокс газов, содержащих водород, сильно увеличивается выход сероводорода.

При достаточном притоке кислорода сернистое железо образует сернистый ангидрид, переходящий в газ или реагирующий с водородом с образованием сероводорода.

Азот угля

Значительное содержание азота во многих топливах связано с повышенным содержанием его в болотных растениях, принимавших участие в образовании этих топлив. Азот в топливе повидимому входит в состав сложных органических соединений, главным образом амидов, распадающихся при нагревании с образованием азотистых соединений углерода, из которых азот не может быть извлечен без содействия водяного пара или химических реагентов. Наиболее высоким содержанием азота отличаются торфы (до 3%); у сапропелитовых углей содержание азота обычно не превышает 1%; у гумусовых и смешанных—достигает 2%.

При сухой перегонке топлива азот частично выделяется в виде аммиака, азота и циана и частично остается в коксе. Выделение аммиака начинается при низких температурах и достигает максимума при 800°. При дальнейшем повышении температуры выделяющийся аммиак разлагается, что подтверждается опытами Майера и Альтмайера [1], проведенными при трехчасовом нагревании угля до различной температуры (табл. 66).

Таблица 66

Содержание азота (в %)

Уголь	Температура нагревания угля (° С)			
	600	700	800	900
Уголь I				
в коксе	72,4	70,1	65,2	62,1
в аммиаке	10,6	19,6	21,7	20,8
Уголь II				
в коксе	82,33	80,83	78,21	74,18
в аммиаке	5,99	11,98	15,28	14,82

При топливах, содержащих больше летучих и дающих меньшие выходы кокса, получаются бóльшие выхода аммиака, и меньшие количества азота удерживаются в коксе.

При увеличении продолжительности нагревания отщепление азота в виде аммиака идет в больших количествах. Полученный при быстром нагревании кокс при вторичном нагревании больше не отщепляет азота, что свидетельствует о наличии определенных химических реакций превращения азотистых соединений, связанных с коксованием угля.

О влиянии водяного пара на выход аммиака свидетельствуют опыты, произведенные Юнгом и Рамзеем [1] над саарскими углями, подвер-

гавшимися трехчасовой сухой перегонке и последующему воздействию водяного пара. Результаты опытов (табл. 67) указывают на значительное увеличение выхода аммиака при подводе пара и предохранение паром получающегося аммиака от разложения.

Таблица 67

Выход аммиака (в %) из саарских углей согласно опытам Юнга и Рамзея

Условия опыта	Температура			
	600°	700°	800°	900°
После трехчасовой сухой перегонки %	10,83	19,17	21,88	20,57
При подводе пара: после 6-часовой сухой перегонки	13,04	20,85	23,12	23,84
при подводе пара: после 9-часовой сухой перегонки	3,17	8,53	9,04	5,35
при подводе пара: после 12-часовой сухой перегонки	1,84	5,10	6,12	2,21
при подводе пара: после 15-часовой сухой перегонки	0,17	3,17	3,71	—
при подводе пара: после 18-часовой сухой перегонки	—	1,50	2,14	—
при подводе пара: после 21-часовой сухой перегонки	—	—	1,12	—
Выход NH_3 в % от всего содержания азота	29,05	58,32	67,23	51,97

В табл. 68 приведены данные произведенных Боне и Уиллером опытов получения аммиака при газификации. Горючее—английский каменный уголь с 78% C, 1,4% N и 4,2% золы. Производительность генератора—574 *кг/час*. Средняя высота слоя топлива—2,13 *м*.

Данные характеризуют увеличение выхода аммиака с увеличением примеси к воздуху пара: одновременно увеличивается содержание H_2 и CO_2 и уменьшается содержание CO.

Азот отщепляется не только в виде аммиака, но и в виде циана. Согласно опытам Фостера [1], при нагревании переходит в аммиак 14,5% всего азота, в циан—1,56%; выделяется в виде элементарного азота 35,26% и остается в коксе 48,68%. Для образования циана необходима температура не ниже красного каления. Присутствие кислорода и водяного пара сказывается неблагоприятно на его образовании, и в генераторном газе он отсутствует. При коксовании в циан переходит 1,5—4% всего азота.

Сухая перегонка топлива

Чем моложе топливо, тем больше летучих оно дает при сухой перегонке (см. табл. 69).

Летучие вещества состоят из газов и паров воды и смолистых веществ, которые могут быть сконденсированы при охлаждении газа.

Таблица 68

Результаты опытов Боне и Уиллера

Условия опыта \ Опыты	1	2	3	4	5
Температура насыщения первичного воздуха	60	65	70	75	80
Состав газа в %					
CO_2	5,25	6,95	9,15	11,65	13,25
CO	27,30	25,40	21,70	18,35	16,05
H_2	16,60	18,30	19,65	21,80	22,65
CH_4	3,35	3,40	3,40	3,35	3,50
N_2	47,50	45,90	46,10	44,85	44,55
Горючие составные части в %	47,25	47,10	44,75	43,30	42,2
Высшая теплотворная способность в *кал/м³*	1 670	1 669	1 598	1 549	1 526
Низшая теплотворная способность в *кал/м³*	1 557	1 547	1 469	1 416	1 382
Выход газа из 1 *т* угля в *м³*	3 810	3 704	3 898	4 012	4 065
Количество пара на 1 *кг* угля в *кг*	0,45	0,56	0,80	1,10	1,55
Разложенный пар в %	87	80	61	52	40
Термический к. п. д. (с учетом расхода пара на воздуходувку) в %	77,8	75,0	72,7	70,1	66,5
Выход сернокислого аммония на 1 *т* угля в *кг*	17,7	19,97	22,9	29,15	32,8

Таблица 69

Количество летучих, выделяемых различными топливами при нагревании (на 100 частей сухого, беззольного вещества)

	Дрова	Торф	Бурый уголь	Молодые каменные угли	Старые каменные угли	Антрацит
Остаток после перегонки	20	30	40	60	80	95
Летучие	80	70	60	40	20	5

При нагревании топлива вначале из него выделяется влага; при температурах 250—300° начинается значительное выделение газа и смол. Из газов вначале выделяются содержащие кислород газы—углекислота и окись углерода; при дальнейшем нагревании выделяются метан, тяжелые углеводороды и водород.

Выделение смол заканчивается при сравнительно низких температурах (450—500°). Основное количество газов выделяется при более высоких температурах.

При сухой перегонке топлива результат термического разложения его органической массы в значительной степени зависит от условий перегонки: конечной температуры, скорости ее подъема, давления в перегонном приборе и конструкции перегонного аппарата.

В случае перегонки при низких температурах (до 500—550°) получаемый маслообразный продукт называют первичной смолой, газ—первичным и твердый остаток—полукоксом.

В качестве приспособлений для определения выходов продуктов сухой перегонки при низкой температуре служит стеклянная реторта Грефе, алюминиевая реторта Фишера и для больших количеств топлива—вращающаяся реторта Фишера. Иногда для сухой перегонки малых количеств топлив пользуются стеклянной трубкой Штрахе. Максимальные выходы смол дает алюминиевая реторта [85].

Перегонка при низких температурах дает максимальный выход смол. Для различных углей выход первичной смолы при перегонке в алюминиевой реторте колеблется в пределах 0—60%.

Как указывает Стадников [83], наибольший выход первичной смолы дают сапропелиты, за ними следуют сапропелито-гумусовые угли, богатые битумами гумусово-сапропелитовые и последнее место занимают гумусовые образования. Первые угли содержат много экстрагируемого битума и называются битуминозными, вторые—бедны битумами и называются тощими.

Для чистых сапропелитов выход первичной смолы падает с увеличением возраста угля. Для чистых гумусовых углей одинакового происхождения выход смолы сначала растет с увеличением возраста угля и, достигнув максимума, начинает падать, доходя почти до нуля у старых каменных углей и гумусовых антрацитов. У углей смешанного происхождения выходы первичной смолы меняются в зависимости от соотношения сапропелитовой и гумусовой составных частей.

Спекание угля

Разложение углей при нагревании протекает различно. Сапропелиты при нагревании до 350° сначала размягчаются и потом плавятся; при дальнейшем нагревании (начало—около 350—400°) идет бурное разложение угля с образованием смол, газа и полукокса. При дальнейшем нагревании получается спекшийся кокс. Влияние возраста на ход процесса разложения незначительно. У углей сапропелитового происхождения или же с преобладанием сапропелитовой составной части спекаемость обусловливается природой угля, битумы же не играют существенной роли при коксовании. Для углей с преобладанием гумусовой части спекаемость обусловливается битумами.

Францем Фишером [3] было показано, что извлеченный из каменного угля бензолом под высоким давлением и при высокой температуре (250°) экстракт—общий битум—может быть разделен путем обработки петролейным эфиром на две части: маслянистый битум, растворяющийся в петролейном эфире, и твердое коричневое тело—твердый битум. Чем старее уголь, тем меньше содержит он общего битума и тем большую часть общего битума составляет маслянистый битум.

Маслянистый битум сплавляет входящие в состав угля вещества в однородную массу и определяет свойство угля спекаться, твердый битум определяет свойство вспучиваться. Температура разложения твердого битума, являющаяся показателем начала вспучивания, увеличивается с возрастом угля. Если она совпадает с температурой, при которой уголь принимает пластическое состояние, то вспучивание будет наивысшим.

Для спекания угля требуется определенный минимум маслянистого битума. Чем моложе гумусовый уголь, тем раньше начинается процесс его разложения. Распад органического вещества молодого гумусового угля начинается при очень низкой температуре, одновременно с началом перехода битума в жидкое состояние. Основная масса этих углей не плавится и не размягчается и получаемый полукокс представляет собой рыхлую порошкообразную массу. Расплавленные битумы не растворяют гуминовых кислот и продуктов их разложения; поэтому даже при значительном содержании битумов в угле не получается сплавленной массы.

Угли смешанного происхождения занимают промежуточное положение между указанными двумя группами.

Как указывает Стадников [83], необходимым условием для спекания угля является присутствие в угле определенного количества легко размягчающейся части. Последняя представляет собой совокупность веществ, из которых одни плавятся легко, или даже являются жидкими при обыкновенной температуре (маслянистый битум), а другие плавятся при высокой температуре (500°). Жидкие или легкоплавкие вещества могут понизить температуру плавления высокоплавких, если последние способны давать растворы с жидкими и легкоплавкими составными частями углей. Для равномерного спекания необходимо, чтобы температура плавления размягчающейся части (витрита) лежала значительно ниже температуры разложения. При этом тугоплавкие составные части имеют достаточно времени для диспергирования в расплавившейся массе.

Таким образом процесс спекания углей смешанного происхождения может быть представлен в следующем виде.

При нагревании угля первоначально переходит в жидкое состояние битум, в котором растворяются более высокоплавящиеся части витрита: при дальнейшем повышении температуры по расплавлении витрита в полученном сплаве растворяются составные части дурита. После расплавления угля наступает его спекание.

При преобладании в витритовом угле сапропелитовой части и благоприятных количественных соотношениях для растворения высокоплавких частей легкоплавкими, последние с повышением температуры все более размягчаются и при температуре 350—400° переходят в тестообразное пластическое состояние, и в них растворяются неплавящиеся составные части. Если уголь долгое время находится при температуре пластического состояния, то из битумов отгоняются летучие составные части, и получается хрупкий полукокс. Если же быстро перейти через точку плавления битумов, то битумы, как и продукты их перегонки, разлагаются, выделяя углерод (отчасти в виде графита, уменьшаю-

щего реакционную способность кокса) или высокомолекулярные углеродные соединения с высоким содержанием углерода, и получается прочный кокс. Выделение газа из размягченной при температуре 300—500° массы угля ведет к образованию пор, от количества и тонкости которых зависит реакционная способность кокса.

Витритовые угли, содержащие большие количества гумусовых веществ, не плавящихся и не растворяющихся в битуме, не способны давать спекшийся кокс.

Результат спекания у полосчатых углей зависит от состава витрита и количественного соотношения между витритом и дуритом. Витрит должен плавиться при относительно низкой температуре и растворять дурит в течение короткого периода до начала обугливания, что происходит в том случае, если витрит имеется в достаточном количестве и является сапропелитовым образованием.

Кусковатый полукокс получается из углей, обладающих способностью размягчаться и спекаться при низкой температуре.

Состав и свойства продуктов полукоксования

Удельный вес полукокса зависит от веса исходного угля; наименьший удельный вес имеет торфяной полукокс, наибольший—каменноугольный. Сеть капилляров торфа переходит в полукокс и обусловливает его большую поверхность; плотный же каменноугольный полукокс имеет слабо развитую поверхность.

Состав полукокса определяется природой и составом исходного угля.

Полукокс молодых углей, отщепляющих много углекислоты и следовательно кислорода, содержит значительно больше углерода, чем исходный уголь; в составе же каменных углей и их полукокса такой разницы не наблюдается. Смол полукокс не содержит.

Период образования первичной смолы лежит почти для всех углей в одних пределах температур (350—500°). Состав первичной смолы меняется главным образом от происхождения и отчасти от возраста угля.

Сапропелитовые угли дают много углеводородов жирного ряда; гумусовые угли—различное количество (меняющееся в зависимости от происхождения угля) фенолов, углеводородов жирного ряда, гидроароматических углеводородов; смешанные угли дают смолы, по составу занимающие промежуточное положение.

Как указывает Стадников [83], первичные смолы содержат насыщенные и ненасыщенные углеводороды как жирного, так и гидроароматического ряда, а из ароматических соединений—только гомологи. Первичные смолы не содержат нафталина и почти не содержат бензола и карболовой кислоты.

Первичная смола может быть источником легкого жидкого топлива для двигателей внутреннего сгорания, а также служит для изготовления пропиточных, смазочных и других веществ. Она редко применяется непосредственно: чаще перерабатывается на различные ценные продукты. В продуктах сухой перегонки древесины, а также торфов, содержащих растительные остатки, неполностью гумифицированные,

содержится ряд продуктов, которые отсутствуют в продуктах перегонки других топлив, являющихся результатом более сильного изменения первоначального растительного вещества. Такими продуктами являются уксусная кислота, метиловый спирт, ацетон и др.

Чем ближе стоит топливо к каменным углям, тем меньше углекислоты в первичном газе. Первичный газ каменных углей смешанного происхождения в отличие от получаемого из гумусовых углей содержит много углеводородов, среди которых метан занимает первое место.

Состав и свойства продуктов коксования

При сухой перегонке топлива до более высоких температур (900—700°) выход смолы уменьшается, выход же газа, особенно водорода и метана, увеличивается как вследствие разложения смол, так и вследствие разложения составных частей полукокса. Как уже было выше отмечено, спекшийся полукокс хрупок и при дальнейшем нагревании не дает прочного кокса. Лишь при соответствующем ведении процесса и непосредственно из спекающегося угля можно получить прочный кокс.

В зависимости от внешнего вида различают неспекшийся (порошкообразный или слипшийся) и спекшийся (сплавленный, вспученный, различной плотности) кокс. Содержание летучих характеризует степень обжига кокса. Хорошо обожженный кокс содержит 1—1,5% летучих. Содержание углерода в горючей массе кокса высоко — до 97%, содержание водорода и кислорода — в сумме 1—1,5%.

Пористость и удельный вес кокса зависят от его способности вспучиваться, обусловленной содержанием в угле твердого битума.

С увеличением температуры перегонки угля меняется характер смолы, в ней появляются нафталин, антрацен, бензол и другие соединения ароматического ряда. Эта смола является источником сырья для производства красок и фармацевтических препаратов. Она может быть разделена перегонкой на ряд кипящих при различных температурах масел с последующей их переработкой на бензол, фенол, нафталин, креозот, антрацен и т. д.

Остаток от перегонки смол — пек — может быть применен для брикетирования угольной мелочи, огнеупорных набоек в металлургических печах, фабрикации кровельного толя и непроницаемого для воды кирпича и для других нужд.

Кислород полукокса при дальнейшем нагревании полукокса выделяется в составе углекислоты, окиси углерода и паров воды (распад карбоксильных соединений). Азот полукокса выделяется частично в виде аммиака. Водород вначале выделяется главным образом в составе метана и при более высоких температурах — в виде свободного водорода.

еакционная способность кокса и полукокса

Большое значение имеет реакционная способность полукокса и кокса. Под реакционной способностью понимают поведение полукокса в отношении воздуха — воспламеняемость и горючесть — и спо-

собность реагировать с углекислотой с образованием окиси углерода — реактивность.

Наиболее рациональны следующие методы исследования активности топлива: определение температуры, при которой начинается восстановление углекислоты до окиси углерода; нахождение температуры воспламенения кокса; определение количества углекислоты, восстановленной в определенных условиях температур, или количества разлагаемого пара; установление количества углекислоты, образующейся при 850° при определенном токе воздуха [83, 85].

Реакционная способность полукокса обусловливается рядом факторов; главным из них является величина реагирующей поверхности. Чем более развита последняя, тем скорее должны протекать различные реакции полукокса с газообразными веществами. Активность полукокса в значительной степени зависит от свойств золы исходного топлива, причем активность сильно повышается железом, входящим в состав золы. Имеет также значение температура перегонки и химический возраст топлива. Чем ниже температура разложения топлива, тем активнее полукокс; чем моложе исходный уголь, тем больше реакционная способность полукокса.

Реакционная способность кокса в значительной степени зависит от пористости его; однако в еще большей мере она зависит от свойств и строения его горючей массы и состава золы [68, 83].

Древесный уголь состоит из аморфной массы с большим количеством пор и с трещинами в стенках пор. Самое вещество горючей массы древесного угля является весьма активным.

Угольный кокс состоит из плотного серого вещества с металлическим блеском, часто покрытого слоем угля другого характера, представляющим собой или губчатую массу с сильно развитой поверхностью или графитоподобный углерод.

Образование губчатого угля является результатом разложения при сравнительно низких температурах органических соединений, чему способствует каталитическое действие железа, марганца и никеля. Особенно легко разлагаются углеводороды жирного ряда с образованием углерода и водорода, поэтому на поверхности кокса из углей, битум которых содержал много таких углеводородов, образуется много губчатого угля. При наличии в золе угля окислов железа на поверхности кокса образуется много губчатого угля даже при малом содержании в битуме угля алифатических углеводородов.

С повышением температуры активность кокса уменьшается.

Структура активного угля при нагревании его до 900° может измениться, и он может приблизиться по свойствам к инертному графиту, чему повидимому в известной мере препятствует наличие железа; при нагревании до 800° меняется и состав активного угля — из него выделяются летучие. Уменьшение активности кокса при повышении температуры может быть вызвано осаждением на нем графитоподобного угля, выделяющегося в результате разложения метана, что особенно наблюдается при 800°.

Падение активности кокса по мере повышения температуры его образования (от 900 до 1 200°) объясняется взаимодействием активного

угля, отлагающегося на поверхности кокса, с водородом, углекислотой и парами воды коксового газа и уменьшением его количества, а также отложением неактивного углерода в результате разложения метана.

В табл. 70 представлены результаты опытов Бера [83], определявшего активность полукокса и кокса, полученных при различных температурах, и влияние на активность добавки окиси железа.

Реакционная способность кокса в этой таблице выражена в процентах углекислоты, восстановленной до окиси углерода.

Таблица 70

Результаты опытов Бера

Испытанные угли	Температура возгорания угля °С	Температура начала реакции °С	Реакционная способность
Древесный уголь	310	480	99,0
Полукокс из беззольного угля, полученный при 550°	230	530	37,5
Кокс из того же угля, полученный при 950°	300	730	17,5
Кокс из того же угля, полученный при 1150°	380	770	11,5
Электродный графит	410	820	4,4
Кокс из беззольного угля с прибавкой 3% окиси железа, полученный при 950°	320	740	58,4
Кокс из беззольного угля с прибавкой 3% окиси железа и 3% SiO_2, полученный при 950° . .	320	750	59,4
Кокс из беззольного угля с прибавкой 6% окиси железа, полученный при 950°	310	740	70,5

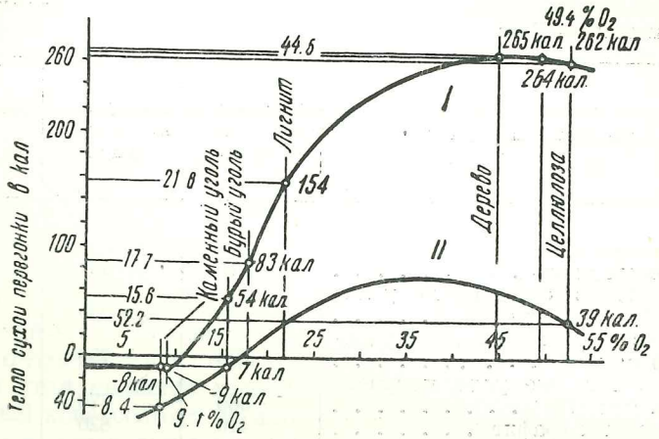
Опыты Бера и другие исследования указывают на наличие в коксе двух видов угля, обладающих различной активностью. Образование одного из них не зависит от прибавленной окиси железа, он является активным углем, отлагающимся на поверхности кокса; другой же получается из угля, содержащего окись железа. Влияя на степень восстановления углекислоты, уголь, содержащий окись железа, не влияет на температуру начала восстановления углекислоты в окись углерода; этот процесс зависит от слоя угля, покрывающего поверхность кокса.

Для промышленных установок, в которых поверхностный активный уголь быстро выгорает и продолжает гореть основная масса кокса, важна активность массы кокса и особенно характер ее пористости.

Тепловой эффект процесса разложения

Процесс термического разложения топлива может протекать с различным тепловым эффектом. По Штрахе и Грау [88], следует различать верхний и нижний пределы тепла, выделяемого при сухой перегонке.

Под верхним пределом понимается количество тепла, выделяемое или поглощаемое при сухой перегонке (теплота разложения) и при получении влаги и смол в жидком виде. Нижний предел дает соответствующее тепло, отнесенное к парообразным влаге и смоле.



156. Зависимость между содержанием кислорода в топливе и величиной тепла сухой перегонки, отнесенная к чистому углю (по данным Штрахе и Грау):

I—тепло по верхнему пределу, *II*—тепло по нижнему пределу

Произведенные исследования над каменным и бурым углем, деревом и целлюлозой показали, что между высшей теплотой газообразования и содержанием кислорода в данном топливе имеется известная зависимость.

После нагревания целлюлозы до 300° процесс выделения газов идет без подвода тепла извне — за счет экзотермичности выделения углекислоты. Лишь по окончании этого процесса необходимо подводить тепло извне.

Торф и бурый уголь имеют положительные величины теплот разложения; для каменных углей это по большей части величина отрицательная.

Крайние пределы и средние данные величины теплот для различных топлив следующие: для дерева от 118 до 366, в среднем 231, для бурого угля от 25 до 98, в среднем 52, для каменного угля от —57 до +12, в среднем — 8 *кал/кг*.

Зависимость между содержанием кислорода в топливе и величиной тепла сухой перегонки, по данным Штрахе и Грау, отнесенная к чистому углю, дана на рис. 156. При содержании кислорода выше 17% величина по нижнему пределу является положительной, при содержании ниже — отрицательной.

Для практики имеет значение нижний предел теплоты разложения, так как влага и смолистые вещества получаются в парообразном виде.

Величина по нижнему пределу отличается от величины по верхнему пределу на величину тепла парообразования конденсата. При этом бурые угли приближаются к каменным, требующим длительного нагревания для своего разложения. Величины теплот, требуемых для сухой перегонки в атмосфере азота и водорода, по данным Девиса [13] приведены в табл. 71.

Таблица 71

Данные Девиса о величине термического эфекта процесса сухой перегонки

Род топлива	Количество летучих в %	Термический эфект *кал/час*	
		в атмосфере воздуха	в атмосфере азота
Торф Миннезота	55,7	—	+85
Бурый уголь Техсас	41,8	+10	+42
Каменный уголь Иллионойс. . . .	37,5	+24	+30
» » Фрипорт	28,0	0	+14
» » Покахонтас . . .	17,0	— 8	+ 7

По Штрахе и Фрону, каменные и хорошие бурые угли требуют для перегонки длительного нагревания; низшие сорта бурого угля и дерево обнаруживают положительную теплоту сухой перегонки [38]. Этим объясняется необходимость более длительного нагревания для полного окончания газообразования топлив, содержащих мало кислорода.

Приведенные данные имеют значение для сухого топлива, доведенного до температуры, при которой идет интенсивное выделение газа. Сырое топливо требует во всех случаях для подсушки и сухой перегонки подвода тепла извне, причем особенно много тепла требуется для удаления влаги топлива.

Окисление и самовозгорание угля

Все угли за исключением антрацита на воздухе подвергаются окислению; при этом они становятся рыхлыми, обогащаются кислородом, понижают свою теплотворную способность и теряют способность спекаться. Некоторые угли при окислении разогреваются и самовозгораются. При повышении температуры скорость процесса окисления углей растет.

Самовозгоранию угля способствует наличие в нем в присутствии влаги пирита, а также измельченность угля.

Окисление угля протекает в нескольких стадиях. Уголь сначала медленно поглощает кислород, потом быстрее. При разогреве угля

выше 100° окисление угля идет с выделением углекислоты и водяного пара.

Для каждого угля существует критическая температура, ниже которой самовозгорание не начинается.

Как отмечает Стадников, чем богаче топливо углеродом и старше, тем медленнее оно окисляется. Очень легко окисляется органическая масса торфа, хотя случаи самовозгорания торфа редки, так как окисление протекает интенсивно в период первой стадии сушки, когда торф очень влажен, и заканчивается к моменту обезвоживания торфа до воздушносухого состояния.

Бурые угли тоже легко окисляются на воздухе, причем могут разогреваться до точки возгорания. Сапропелитовые образования в силу своего химического состава и плотности структуры более стойки, чем гумусовые.

2. ПРИМЕНИМОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ

Газификации подвергают и естественное и искусственное топливо: дрова, древесные отбросы, торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит, сланец, брикеты, кокс.

Свойства газифицируемого топлива имеют решающее значение для процесса газификации. Из отдельных свойств и особенностей топлива имеют значение для газификации размер кусков топлива и стойкость, количество и состав продуктов сухой перегонки, содержание и свойства золы, количество влаги, свойства топлива при нагревании и свойства получаемого кокса.

Размер кусков топлива

Равномерность размера кусков топлива имеет очень большое значение для процесса газификации. Малые куски газифицируются быстро, большие — медленно, и при неравномерности кусков топлива большие куски доходят до колосников, плохо выгорев, увеличивая потерю горючего в очажных остатках.

При наличии пыли в слое топлива могут оказаться трудно пронизываемые для дутья участки, в разультате чего часть топлива достигает колосников плохо выгоревшей и увеличивается потеря в провале.

При крупных кусках топлива реакционная поверхность его невелика, и приходится увеличивать слой топлива для получения хорошего газа. Таким образом чем крупнее топливо, тем выше слой его, и наоборот.

При очень мелком топливе увеличивается сопротивление слоя. Вследствие увеличения поверхности соприкосновения газов и угля слой топлива держится низким, однако необходимость повышения давления остается, и с этим связан ряд недочетов режима: образование частых прогаров, неравномерность работы, значительный унос топлива, необходимость продолжительной и частой шуровки.

Уголь должен быть хорошо отсортированным. Размер кусков угля, антрацита и кокса может вообще лежать в пределах 12—75 *мм* с тем, чтобы каждая партия состояла из кусков возможно более равномерного размера в указанных выше пределах, например 25—35 *мм*, 50—75 *мм* и т. д.

Для углей, газифицирующихся в генераторах со швельпахтами (бурые угли), размер кусков, во избежание большого сопротивления слоя, не должен быть ниже 25 *мм*. Наиболее благоприятный размер кусков топлива лежит в пределах 25—50 *мм*. При антрацитовом топливе пригодны и некоторые сорта АС.

Кусков, не соответствующих по размерам принятым пределам, должно быть не более 15—20%. Несоблюдение указанного условия ухудшает режим (производительность, состав газа, выжиг и унос). Стойкое топливо, как например антрацит и некоторые каменные угли, если оно прибыло хорошо сортированным, может при малом содержании мелочи направляться непосредственно в газогенератор со склада без промежуточного грохочения; топлива, менее прочные, должны обязательно подвергнуться грохочению на генераторной станции, и в этом случае уменьшение содержания мелочи в прибывающем угле уменьшает отсев, получаемый на генераторной станции.

Влияние содержания мелочи в топливе на процесс газификации может быть продемонстрировано на примере с челябинским углем, газифицировавшимся в генераторе диаметром 2,6 *м* с вращающейся решеткой и охлаждающим кожухом [89]:

1) При угле с размером кусков 0—37 *мм* и ситовым анализом: 0—5 *мм* — 38%, 5—10 *мм* — 23%; 10—22 *мм* — 26% и 22—37 *мм* — 13% производительность генератора составила 8—10 *т* в сутки, причем содержание горючего в шлаке было равно 29,27% от веса шлака, теплотворная способность газа была низка — 1 100 *кал/м*^{3}, режим был неустойчив, наблюдались сильное шлакование и прогары.

2) При угле с размером кусков 5—37 *мм* с ситовым анализом: до 5 *мм* — 26%, 5—10 *мм* — 32%, 10—22 *мм* — 32% и 22—37 *мм* — 10% результат работы был такой же, как и в первом случае.

3) При газификации угля размером 10—37 *мм* с ситовым анализом: 0 — 5 *мм* — 14%, 5 — 10 *мм* — 17,5%, 10 — 22 *мм* — 47,5% и 22 — 37 *мм* — 21% производительность генератора составила 23 — 25 *т*, содержание горючего в шлаке понизилось до 7%, теплотворная способность газа возросла до 1450 *кал/м*^{3}.

4) При газификации угля размером 10—50 *мм* с ситовым анализом: 0—5 *мм* — 14%, 5—10 *мм* — 15%, 10—22 *мм* — 51% и 22—50 *мм* — 20%, были получены такие же результаты, что и в третьем случае.

5) При угле крупном—10—100 *мм* с содержанием кусков: 0—10 *мм* — 21%, 10—22 *мм* — 25% и 22—100 *мм* — 54% показатели были хороши, но выжиг ухудшился и содержание углерода в шлаке составило 22%.

Для водяного газа содержание мелочи в топливе должно быть снижено до 5%, так как все недочеты в этом случае выявляются резче. Размер кусков топлива для водяного газа обычно применяется в пределах 50—100 *мм*, хотя и нет особых оснований исключать сорт размером 25—50 *мм*.

Если мелкое топливо имеет равномерный размер зерна, то его удается довольно хорошо газифицировать при пониженной производительности генератора и хорошем уходе. Для этой цели применяют генераторы со ступенчатой решеткой и обычно генераторы с вращающейся решеткой, однако производительность этих генераторов при этом топливе малая. При попытках повышения производительности образуются спекшиеся куски и комья шлака, нарушающие равномерность процесса. Лучшие результаты газификации мелких топлив дают генераторы высокого давления со специальными решетками, снабженными мелкими отверстиями взамен обычных щелей (генераторы высокого давления Керпели и др.). При этих решетках улучшается распределение воздуха по сечению.

Если топливо настолько физически нестойко, что даже после сортировки при транспортировке, в загрузочном аппарате и при шуровании и сползании в генераторе разрушается, то при этом наблюдаются все недочеты, связанные с применением кусков неравномерного размера, в частности более быстрая газификация мелких кусков и большой недогар больших кусков, неравномерное распределение кусков по сечению генератора, прогары у стен и недогар топлива, лежащего в середине генератора, ухудшение качества газа, увеличение шлакования и т. д.

Дрова газифицируются в виде поленьев $1^1/_2$ *м*, 1 *м*, $^3/_4$ *м* (аршинка), $^1/_2$ *м* (швырок), а также в виде чурки (300—350 *мм*). Для увеличения интенсивности газификации древесины в последнее время ее применяют в виде щепы, для чего дрова измельчают дробилками-чиперами.

Отбросы лесного и лесопильного хозяйства — пни, хворост, сучья, решетину, горбыли и т. д.— особенно успешно газифицируют в виде кусков, нарезанных специальными ножницами.

К достоинству применения мелких, однородного размера кусков древесины относится также упрощение механизации транспорта и возможность использования более влажной древесины.

Торф газифицируют в виде торфин размером примерно 300 × 120 × × 75 *мм*. Особых неудобств для газификации этот размер кусков не представляет, хотя повидимому применение кусков меньшего размера должно благоприятно отражаться на ходе процесса газификации.

Применение рядового угля значительно ухудшает работу генератора в отношении производительности, качества газа и содержания горючего в провале.

Хорошим топливом в смысле размера кусков являются прочные, не распадающиеся при нагревании, брикеты.

Бурые угли и некоторые сорта каменных (длиннопламенные) легко распадаются при транспорте. Это заставляет применять их у мест добычи, иметь лишь небольшие запасы у генераторных станций, оборудовать склады приспособлениями для сортировки, предусматривать получение с рудника сортированного топлива и вместе с тем обеспечивать сбыт отсеянной мелочи ввиду распадения топлива на месте хранения.

Иногда неспекающиеся угли смешивают со спекающимися для уменьшения уноса из генератора. Из применяемых для газификации

каменных углей спекшийся кокс дают угли газовые. При не слишком большой спекаемости с ней можно с успехом бороться путем применения автоматических шуровочных приспособлений.

Отдельные сорта углей, применяющихся для газификации, обладают различной стойкостью. Бурые угли (подмосковные и челябинские) легко выветриваются и распадаются. Отсеянный через грохот в 25 × 25 *мм* челябинский уголь дал отсев перед применением около 20%, а в бункере в нем вновь оказалось 20—25% мелочи ниже 25 *мм*. При месячном лежании челябинского угля в летнее время разложился слой угля толщиной в 20 *см* и отсев мелочи через сито в 25 × 25 *мм* составил 51% [90].

Рядовой подмосковный уголь [91], содержавший более 50% штыба, после отсева мелочи через сито в 25 × 25 *мм* в бункере у генератора дал вновь около 30% мелочи размером меньше 25 *мм*.

Каменные угли более прочны и стойки, однако не все.

Сравнительно легко разрушаются лисичанский и журинский угли. Лисичанский уголь, с успехом применявшийся в генераторах обычных конструкций, недостаточно хорош в генераторах с автоматическими шуровочными приспособлениями, давая до 5% и больше выноса пыли, что обусловливает большую потерю и препятствует использованию горячего газа из этого угля [56].

Более прочны при хранении и транспорте антрациты. Антрацит АГ, полежавший некоторое время на складе, содержал при загрузке без всякого грохочения 22% кусков размером ниже 25 *мм*, в том числе только 7% размером ниже 12 *мм*. Антрацит АК, пролежавший некоторое время на складе, содержал при загрузке в генератор без всякого грохочения 17,4% кусков размером ниже 30 *мм*, в том числе 5% кусков размером ниже 12 *мм*.

Боково-хрустальский антрацит, пролежавший на складе 6 месяцев, не претерпел видимых изменений и не подвергался грохочению, так как не содержал мелочи и был однороден по величине кусков [93, 94].

Целый ряд антрацитов растрескивается при нагревании, причем количество уноса при этом доходит до 12% от веса топлива [93].

Кокс прочен при хранении и транспорте.

Из вышеуказанного следует, что газогенераторные станции должны снабжаться возможно более прочными и стойкими сортами углей, что должно улучшить их использование в генераторах, уменьшить отсев, обычно являющийся баластом, и дать возможность отказаться от грохочения на самой генераторной станции.

Влажность топлива

Подсушка топлива в генераторе заканчивается в верхних слоях и в раскаленную зону топливо попадает совершенно подсушенным.

Чем влажнее топливо, тем выше должна быть зона подсушки и тем выше должен быть весь слой топлива. При низком слое и влажном топливе раскаленная зона низка, и трудно поддерживать ровный и хороший режим. Удаление золы и шуровка при низком слое легко влекут за собой нарушения процесса, обусловливающие потерю зоны, образование каналов, прогары.

Перешедшая из топлива в газ влага ухудшает его качество. При очень большой влажности топлива генераторный газ получается холодным и влажным. Влага повышает вес транспортируемого топлива и опасность его смерзания, понижает теплотворную способность газа, при сгорании отнимает тепло на свой нагрев, понижая температуру горения газа, и уносит из места сгорания газа тепло. Влажный газ подвергают осушке путем его охлаждения, причем с увеличением влажности газа увеличивается расход охлаждающей воды.

Очень влажные топлива, как например дрова, торф, перед употреблением подсушивают, применяя естественную сушку, заключающуюся в укладке на продолжительное время на воздухе штабелей дров или торфа. Влажный уголь целесообразно перед употреблением некоторое время продержать для сушки под навесом для приведения в воздушно-сухое состояние.

Искусственную сушку топлива применяют редко из-за ее дороговизны. Однако при наличии дешевого отбросного тепла, например отходящих газов печей, такая сушка может быть проведена.

Для получения сносного по качеству газа, влажность топлива не должна быть выше 50—55% [1]. При бо́льшей влажности тепла поднимающихся газов нехватает на подсушку и перегонку топлива, и вверху генератора могут в этом случае конденсироваться смола и влага, что ухудшает работу генератора или вызывает его заглушение. При этом возникают перекосы зон, падает производительность генератора, ухудшается состав газа и увеличиваются потери в остатках.

В случае водяного и двойного газа топливо не должно содержать влаги выше определенных довольно низких значений во избежание ухудшения процесса газификации и увеличения потерь.

Из применяющихся для газификации топлив значительной влажностью обладают дрова, торф и бурый уголь. Последний, помимо высокого процента влаги (20—35%), содержит также большое количество золы, что ухудшает его свойства как топлива для газогенераторов. Влажного топлива газифицируют обычно большее количество на единицу площади сечения генератора, нежели сухого; однако при пересчете на абсолютно сухое топливо оказывается, что при более сухом топливе газифицируется больше сухого вещества, нежели при влажном.

Зольность топлива

Наличие в топливе золы вызывает потери горючего в золе и необходимость в чистке генераторов, которая плохо отражается на равномерности процесса газификации. Особенный вред приносит зола при ее легкоплавкости. В этом случае в зоне горения зола плавится, заливает колосниковую решетку и нарушает равномерность подвода воздуха.

Расплавившаяся зола приплавляется к огнеупорной футеровке шахты, образуя настыли. При очень высокой температуре зола сплавляется с футеровкой, огнеупорность последней понижается, и она расплавляется.

[1] Считая на беззольное топливо.

Шлак обволакивает частицы топлива, препятствуя их сгоранию, и таким образом уменьшает выход газа и увеличивает потерю с горючим в провале. Шлак спекается в большие комья, уменьшающие полезное сечение генератора и создающие пустоты, через которые проходит воздух, сжигающий газ. Вязкие шлаки иногда образуют зависающие своды, под которыми получаются пустоты.

Большие неприятности в смысле шлакования причиняет наличие в топливе примесей пирита. Он оплавляет остатки, образуя большие комья шлака, препятствующие равномерной газификации.

Зола представляет собой механическую смесь различных соединений с различной точкой плавления. Составные части, имеющие наиболее низкую температуру плавления, расплавляясь, являются цементом для остальной более огнеупорной части. В результате образуется в зависимости от количества расплавившейся части золы более или менее губчатый шлак.

Таким образом нельзя говорить об определенной температуре образования шлака.

Плавкость золы учитывают или температурой полного расплавления ее или температурой размягчения. Для характеристики плавкости золы пользуются данными о температурах начала деформации, размягчения и плавления.

При исследованиях плавкости золы, имеющих большое практическое значение, чрезвычайно важна атмосфера, в которой происходит нагревание золы. Окись железа в золе восстанавливается в металлическое железо при сильно выраженной восстановительной атмосфере и в закись железа — при умеренно восстановительной. Смеси, содержащие окислы железа в присутствии силикатов, имеют более низкую температуру плавления в том случае, если железо находится в закисной форме, и более высокую, когда оно находится в форме металлического железа или в виде окисей. Для того чтобы определяемая точка плавления имела практическую ценность, необходимо знать состав атмосферы, при которой производятся опыты. Рекомендуется определение в слабо восстановительной атмосфере, что соответствует условиям работы генераторов. Более высокая температура плавления получается в окислительной и сильно восстановительной атмосфере, более низкая — в полувосстановительной. Переход до жидкого состояния происходит для различных зол в различных интервалах температур [95].

Температура плавления золы (жидкое состояние) выше 1200° дает возможность достигнуть хорошей производительности и ровного и спокойного хода генератора. С понижением температуры плавления золы технические показатели газификации ухудшаются—падает интенсивность газификации и ухудшается качество газа.

Большое значение имеет и температура размягчения шлака, так как размягченный шлак, слипаясь, нарушает режим.

В качестве минимальной температуры, при которой газификация протекает удовлетворительно и которая характеризует температуру начала деформации золы, можно принять 1000°.

Шлакообразование вызывает необходимость в тщательной шуровке, особенно для предупреждения нарастания слоя шлака.

При сильном шлаковании понижают температуру раскаленной зоны генератора введением водяного пара, благодаря чему шлаки разрыхляются. Заменяют также футеровку на уровне зоны горения водяной рубашкой. Холодные стенки рубашки устраняют возможность приваривания золы, упрощают уход за генератором и дают возможность интенсифицировать его ход.

При слишком низкой температуре плавления золы (около 1000°) газификация топлива в генераторах с кусковым золоудалением является уже малорентабельной; эти топлива могут применяться лишь в генераторах с выпуском жидких шлаков.

Ручное удаление золы при очень зольных топливах доставляет много неудобств. Применение вращающихся колосниковых решеток с автоматическим удалением золы значительно облегчает уборку золы.

Газификация многозольных топлив в генераторах с кусковым золоудалением затруднительна, при содержании золы в 50% трудно поддерживать равномерный ход генератора, что и ставит предел промышленному применению многозольных топлив.

Вообще следует отметить, что газификация топлив с содержанием золы до 50% в генераторах с кусковым золоудалением с вращающейся решеткой дает удовлетворительный результат лишь в случае достаточной тугоплавкости золы. При этом работают со сравнительно высоким слоем золы, что способствует хорошему распределению и подогреву первичного воздуха.

Дрова имеют низкое содержание золы — 0,3—2%. Зола эта тугоплавка. Повышение содержания золы и легкоплавкость ее имеют место при загрязнении дров внешними примесями — песком и илом, что может иметь место при доставке дров сплавом. Древесная зола сильно щелочная и разъедает футеровку.

Торф имеет различную зольность в зависимости от характера разрабатываемого торфяника. Верховые болота содержат золы 3—5%; переходные — 5—6% и низинные — 6—10%. Для газификации применяются преимущественно сорта малозольные — верховых болот. Торфяная зола часто легкоплавка.

Бурый уголь является более зольным. Содержание в подмосковном угле золы составлет 13—25%. Несмотря на тугоплавкость золы (1450—1500°) [14,96] он все же выявляет иногда склонность к шлакообразованию, связанную с наличием в угле серного колчедана. Потеря горючего в шлаках при газификации подмосковного угля значительна вследствие наличия в угле прослоек глины, обволакивающих частицы кокса.

Челябинский бурый уголь имеет золу несколько более легкоплавкую. Содержание золы в нем 15—25%.

По золе челябинского угля [89, 90], примененного в газогенераторах, имеются следующие данные: начало деформации — 1030°, размягчения — 1146°, жидкоплавкое состояние — 1216°; по другой пробе соответственно: 1083, 1180 и 1270°. Среднее из десяти определений Всесоюзного теплотехнического института дало: 1050, 1163, 1259°. Там, где на подмосковном угле достигается производительность генератора в 39 *m*, на челябинском достигается 25 *m*, что следует отнести преимущественно за счет свойств золы. Потеря горючего с золой челябинского угля значительна.

Богословский уголь имеет зольность 8—12%. По литературным данным зола его легкоплавка, однако имеются указания на тугоплавкость золы отдельных его сортов.

Применяющиеся каменные угли и антрациты имеют различное содержание золы с различной плавкостью. Обычно применяются сорта с содержанием золы в 10—20%, иногда и с более высоким.

Для лисичанского марки Д и бежановского Г показатели различны; они часто дают значительное шлакование. Данные по гришинским углям характеризуют его как благоприятное для газификации топливо.

Болдыревский уголь при испытании выявил себя, как топливо с легкоплавкой золой [97, 98]. Хорошие результаты дает журинский уголь [52, 97].

Весьма благоприятны в отношении плавкости свойства золы боково-хрустальского антрацита АК, характеризующиеся температурами начала деформации, размягчения и жидкоплавкого состояния в 1120, 1220 и 1270° [93, 94]. Этот антрацит дает прекрасные показатели в части производительности, выжига остатков и состава газа.

Донецко-грушевский антрацит марок АК, АМ и АС (шахта «Артем») с температурами размягчения и жидкоплавкого состояния для АК 1050 и 1150, для АМ — 1070 и 1290 и для АС — 1130 и 1310° показал в генераторе без охлаждающего кожуха при газификации АК, содержавшего около 7% золы, удовлетворительную производительность и плохой выжиг и при газификации АМ и АС плохой результат вследствие сильного шлакования и зависания шлаков.

Антрациты АМ и АС Снежнянского рудоуправления с температурой размягчения и жидкоплавкого состояния для АМ 1090 и 1200° и для АС — 1055 и 1260° газифицируются несколько лучше предыдущих сортов, однако АС значительно хуже АМ в отношении выжига остатков (10 и 28%) и шлакования. Антрациты АМ и АС Боково-хрустальского рудоуправления с температурой размягчения и жидкоплавкого состояния для АМ 1120 и 1290 и для АС — 1150 и 1340° газифицируются без особого шлакования, хотя выжиг углерода плохой (20 и 28%), причем АМ газифицируется лучше АС [93, 94].

Для топлива, применяемого для получения водяного газа, низший предел допустимой температуры плавления должен быть повышен.

Из топлив, намечаемых к газификации, наибольшей зольностью обладают сланцы (40—50%). Их зола часто легкоплавка.

Как уже указывалось, имеют также значение гигроскопичность и другие свойства золы. Некоторые золы, особенно бурых углей, гигроскопичны и втягивают воду из водяных затворов к раскаленной зоне, остужая ее и препятствуя выжигу остатков, а некоторые золы, особенно сланцевая, образуют с водой цементообразную твердую, трудноудалимую массу.

В этих случаях применяют сухие затворы.

Неудовлетворительное влияние золы в смысле уноса горючего, помех от шлакования и связывания с водой, не наблюдается при применении генераторов с жидким шлакоудалением. Добавкой флюсов мо-

гут быть достигнуты достаточная легкоплавкость шлака и его текучесть, а также требуемый состав шлака, допускающий его целесообразное использование в качестве побочного продукта. В этом случае допустима большая зольность топлива (подробнее см. главу II).

Свойства топлива при нагревании

Пригодность топлива для газификации и достоинства его в значительной мере определяются свойствами его при нагревании. Состав и выход газов сухой перегонки влияют на теплотворную способность и состав газа. Топлива с высоким содержанием летучих дают газ со значительно более высокой теплотворной способностью, чем топлива с малым содержанием летучих.

Выделяющиеся при нагревании топлива смолистые вещества в случае значительного их количества и сжигания с газами повышают пирометрический эфект горения газа и придают пламени сильно лучеиспускающий характер. Ряд продуктов сухой перегонки — смолы, уксусная кислота, сера и т. д.— может быть использован самостоятельно, что уменьшает стоимость газа и дефицит в остро необходимых продуктах.

Пригодность или непригодность топлива для газификации и качество последней могут быть определены и по свойствам кокса из топлива. Кокс может сильно спекаться, что препятствует газификации; он может быть более или менее активным, что влияет на производительность генератора и состав газа, и т. д.

Некоторые топлива — угли и антрациты, как уже указывалось выше, обладают способностью распадаться при нагревании, что значительно ухудшает процесс газификации.

Характер нагрева кусков топлива зависит от конструкции генератора, вида топлива и режима. В генераторах с швельшахтами загруженное топливо в течение 3—4 часов прогревается до 500°; в генераторах без швельшахт очень влажные топлива, как например подмосковные угли, в течение 2—3 часов прогреваются до 500°; менее влажные, как например челябинские, попадают сразу в слой с температурой в 250—300° и в течение 1—2 часов прогреваются до 500°; топлива сухие — каменные угли, антрацит и кокс — сразу попадают в слой с температурой в 450—700° и в течение очень малого промежутка времени, измеряемого минутами, прогреваются до температуры в 500° и выше.

Выход смолы при газификации несколько меньше выхода, получаемого при лабораторном исследовании (при швельшахтах — 85—90%, в обыкновенных генераторах — 50—60%).

Для получения первичной смолы применяют генераторы со швельшахтами, в которых обеспечиваются проведение сухой перегонки при низких температурах и невозможность сдвига зон, а следовательно и перегрева смолы.

При значительной влажности топлива (особенно это относится к очень сырым бурым углям) рекомендуется уголь несколько подсушивать, так как тепла, приносимого генераторным газом из зоны газообразования в верхнюю часть генератора, недостаточно, чтобы произвести и перегонку и сушку угля, т. е. нагреть выходящие из генератора газы до такой температуры, при которой они могли бы унести из печи пары смолы.

Зона подсушки при влажном топливе сильно увеличивается, и смола выделяется при этом в частях, имеющих высокие температуры, что ухудшает ее состав. Вследствие этого правильный ход перегонки очень влажного топлива невозможен.

Качество смолы ухудшается благодаря присутствию в ней частичек топлива и сажи. Последняя появляется вследствие разложения углеводородов при перегреве газа в местах высокой температуры. Во избежание распадения смолы необходимо, чтобы топливо нагревалось постепенно и чтобы выделяющиеся смолы удалялись, не подвергшись перегреву. Следует учитывать не только необходимость низкой температуры перегонки, но и скорость выделения смолы. Период образования первичной смолы для всех топлив лежит в одних пределах температур: 350—500°. Быстрое удаление из перегонной аппаратуры паров образующейся смолы способствует уносу значительно большего количества смол до их разложения.

Хорошая смола получается и в генераторах Монда, имеющих в целях увеличения выхода аммиака холодный ход. В этих генераторах при достаточной высоте слоя топлива может получиться продукт, вполне аналогичный первичной смоле.

Отличие в химическом строении первичной смолы и смолы, получаемой при более высоких температурах из каменного угля, не наблюдается столь значительно в отношении более молодых топлив — бурого угля, торфа и дров. Это следует приписать тому, что технические процессы перегонки бурого угля и торфа протекают при температурах, не доходящих до температур, способных вызывать образование большого количества ароматических соединений в смолах.

Для процесса газификации имеют большое значение горючесть и реактивность полукокса из данного топлива.

Остаток после перегонки древесины — древесный уголь — обладает большой активностью.

Большой активностью обладает также торфяной кокс.

Остаток от перегонки бурого угля обладает меньшей активностью, чем древесный уголь и торфяной кокс, но большей, чем каменноугольный кокс. По данным Терреса [20], буроугольный кокс обладает активностью большей, чем другие виды кокса.

Пористость каменноугольного кокса способствует большей его активности сравнительно с антрацитом.

В главе I указывалось, что для того, чтобы в генераторе разложение CO_2 и H_2O раскаленным углеродом на горючие CO и H_2 произошло достаточно быстро, температура раскаленной зоны должна быть возможно высока — значительно выше, чем это требуется по условиям равновесия взаимодействующих CO_2 и C и H_2O и C.

Результаты произведенных наблюдений над соотношением CO_2 и CO при высоких температурах в зависимости от температуры раскаленного древесного угля, кокса и антрацита и продолжительности соприкосновения газов с раскаленным топливом представлены в табл. 72 и 73 и на рис. 4 и 5.

Таблица 72

Восстановление CO_2 в CO коксом по Клементу, Адамсу, Хескинсу

900°		1000°		1100°		1200°		1300°	
Продолжительность соприкосновения в сек.	% CO	Продолжительность соприкосновения в сек.	% CO	Продолжительность соприкосновения в сек.	% CO	Продолжительность соприкосновения в сек.	% CO	Продолжительность соприкосновения в сек.	% CO
142,0	27,8	123,2	86,6	90,0	97,1	—	—	—	—
80,20	16,9	80,25	79,5	29,92	95,5	—	—	—	—
43,91	9,6	33,25	52,7	13,20	81,7	18,92	98,7	—	—
24,82	5,6	18,72	35,0	6,765	59,2	12,70	98,3	—	—
16,11	3,7	6,37	13,8	3,198	34,6	8,25	95,6	8,86	99,7
9,575	2,3	4,101	9,1	1,784	21,1	2,4	62,4	4,15	99,7
3,741	0,9	3,072	6,9	1,66	19,42	1,6	46,0	2,10	95,5
—	—	1,983	4,5	1,462	17,7	1,1	35,7	1,13	81,6
—	—	—	—	0,962	12,1	—	—	—	—

Таблица 73

Восстановление CO_2 в CO древесным углем и антрацитом при 1100° по Клементу, Адамсу и Хескинсу

Древесный уголь		Антрацит	
Продолжительность соприкосновения в сек.	% CO	Продолжительность соприкосновения в сек.	% CO
36,48	97,2	34,20	91,2
10,43	97,2	9,37	65,7
4,968	97,1	5,415	47,2
3,640	96,8	3,301	32,2
1,921	95,5	2,439	25,1

Эти опыты, производившиеся путем пропускания углекислоты при температурах 800—1800° с разной скоростью через слой древесного угля, кокса и антрацита в 250 *мм*, дали возможность сделать выводы, что скорость превращения CO_2 в CO зависит как от температуры, так и от физических свойств топлива (поверхности соприкосновения топлива с газом), зависящих от пористости и размеров кусков топлива. Для кокса и антрацита переход CO_2 в CO был неполным при малой продолжительности соприкосновения газов с топливом даже при 1800°.

Таким образом эти опыты указывают, что для получения по возможности большего содержания в газе CO, температура должна быть возможно выше, топливо должно быть по возможности пористым и мелким, скорость воздуха — малой и слой топлива — высоким.

Результаты опытов Клемента и Адамса [4] в части воздействия водяным паром на раскаленный кокс и древесный уголь в интервале температур 800—1300° представлены в табл. 74 и 75 и на рис. 10.

Таблица 74

Разложение водяного пара древесным углем при 1100° по Клементу и Адамсу

Продолжительность соприкосновения в сек.	H_2O	CO	H_2	CO_2	CH_4
	В процентах				
1,8	20,8	39,6	39,0	0,4	0,2
3,4	12,3	43,3	43,4	0,3	0,7
5,6	0,9	50,1	48,1	0,1	0,8
6,9	0,9	50,5	47,3	0,0	1,3

Таблица 75

Разложение водяного пара коксом по Клементу и Адамсу

№ опытов	Температура °C	Продолжительность соприкосновения в сек.	Состав газов в %					Состав сухих газов в %				
			H_2O	CO	H_2	CO_2	CH_4	CO	H_2	CO_2	CH_4	Сумма
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 . . .	800	1,0	99,1	0,40	0,49	0,06	—	34,4	42,5	4,8	—	81,7
4 . . .	900	8,5	75,4	8,51	12,78	2,75	0,57	30,4	45,7	9,8	2,0	87,9
7 . . .	900	1,5	92,9	2,78	3,60	0,61	0,14	36,0	46,6	7,9	1,8	92,7
16 . . .	1 000	7,0	69,8	9,16	15,8	4,38	0,84	28,6	49,3	13,6	2,6	94,1
20 . . .	1 000	1,0	88,7	4,48	5,71	0,91	0,19	38,0	48,5	7,8	1,6	95,9
24 . . .	1 100	8,0	54,9	18,8	35,6	9,8	0,90	28,1	53,1	14,6	1,4	97,2
25 . . .	1 100	2,0	67,6	9,92	17,6	4,4	0,51	28,9	51,2	12,8	1,5	94,4
26 . . .	1 100	1,0	76,8	7,22	12,41	3,16	0,44	30,5	52,5	13,3	1,9	98,2
30 . . .	1 200	11,0	5,0	51,3	42,5	0,3	1,00	51,8	42,9	0,3	1,0	96,0
31 . . .		4,5	17,0	44,6	37,0	0,5	0,9	52,1	43,1	0,6	1,2	97,0
32 . . .		2,9	52,3	24,2	22,3	0,4	0,8	48,6	44,8	0,9	1,5	95,8
33 . . .		0,9	74,8	10,18	12,8	1,92	0,31	39,3	49,4	7,4	1,2	97,3
36 . . .		4,3	0,0	52,4	45,3	0,4	2,0	50,5	43,7	0,4	1,9	96,5
37 . . .	1 300	2,2	2,1	51,5	44,3	0,3	1,8	49,2	42,4	0,3	1,7	93,6
38 . . .		1,6	7,7	47,8	42,5	0,3	1,7	49,5	43,9	0,3	1,8	95,5
39 . . .		1,2	7,4	41,9	38,8	0,3	1,6	49,5	45,8	0,3	1,9	97,6

Из этих данных возможно сделать следующие заключения.

1. Скорость разложения водяного пара и образование CO зависят от природы топлива, и для древесного угля они больше, чем для кокса.

2. При газификации кокса разложение водяного пара при 1100° даже при малой скорости пара не заканчивается. Даже при продолжительности соприкосновения в 8 секунд больше 30% водяного пара остаются неразложенными.

Сравнительное исследование активности торфяного и каменноугольного кокса производилось Н. Н. Гавриловым и Н. Г. Эдельштейном в Инсторфе [99]. Слой кокса высотой в 200 *мм* помещался в кварцевой или фарфоровой вертикальной трубке и нагревался в электрической печи. Через кокс пропускался с разной скоростью и при разных температурах ток углекислоты и исследовавались получавшиеся газы.

Кокс до пропуска CO_2 прогревался для удаления перегоночных газов. При подсчете продолжительности соприкосновения газов с коксом принималось, что кусочки кокса представляют собой шары. Данные опытов приведены в табл. 76 и на рис. 7.

Таблица 76

Данные сравнительных исследований активности каменноугольного и торфяного кокса в отношении углекислоты

Каменноугольный литейный кокс			Торфяной кокс								
950°			950°			850°			750°		
$V_н$ (в *л*)	t (в сек.)	C (в *г*)	$V_н$ (в *л*)	t (в сек.)	C (в *г*)	$V_н$ (в *л*)	t (в сек.)	C (в *г*)	$V_н$ (в *л*)	t (в сек.)	C (в *г*)
1,320	5,24	0,612	1,200	7,10	0,62	1,600	5,81	0,798	1 200	11,78	0,075
3,460	2,108	1,333	3,240	2,59	1,70	3,000	3,10	1,490	3,060	4,66	0,1596
8,400	0,883	3,017	10,440	0,832	5,54	9,600	1,08	3.338	8,460	1,72	0,2372
20,250	0,388	5,620	21,000	0,42	9,445	11,400	0,967	2,938	9,400	1,557	0,2125
48,000	0,180	7,480	36,000	0,252	14,50	22,800	0,501	4,737	19,600	0,758	0,1505
			52,000	0,188	15,50	32,400	0,370	4,933	34,300	0,435	0,1505

$V_н$ — начальный объем CO_2 (0°, 760 *мм*).
t — время соприкосновения газа с коксом.
C — количество прореагировавшего углерода в час.

Торфяной кокс при 850° подвергается такому же разъеданию, как и каменноугольный при 950°.

В табл. 77 приведены данные сравнительных исследований активности торфяного и каменноугольного кокса и древесного угля в отношении водяного пара.

Так же как и по отношению к углекислоте, торфяной кокс оказывается более активным к водяному пару, чем другие топлива.

Проф. Зайденшуром было произведено сравнительное исследование реактивной способности кокса, получаемого при перегонке подмосковного угля и каменноугольного путем пропускания через слой полукокса углекислоты [14, 96].

Начальная температура реакции составляла 450° и каждые 10 минут повышалась на 50° до конечной температуры в 1000°.

Сравнение свидетельствует о большей реакционной способности кокса из подмосковного угля, который заметно реагирует на углекислоту уже при 600°, тогда как каменноугольный реагирует только при 850°. Эта разница в 250° сохраняется и при высокой температуре.

Таблица 77

Данные сравнительных исследований активности торфяного и каменноугольного кокса и древесного угля в отношении водяного пара

Диаметр трубки — 1,59 *см*; высота слоя — 20 *см*; величина зерна — 3—5; *мм* продолжительность опыта — 20 мин.

	Древесный уголь		Каменноугольный кокс			Торфяной кокс					
	800°	800°	800°	900°	900°	800°	800°	800°	900°	900°	900°
Навеска кокса или угля в *г* . . .	10	12	24,5	24,5	24,5	20	20	20	20	20	20
Пропущено пара в *г*	1,10	3,853	1,837	1,73	4,68	1,01	2.21	3,77	1,61	2,19	4,44
Неразложенного пара в *г* . . .	0,47	2,30	1,442	0,90	3,016	1,09	0,34	0,815	0,016	0,0535	0,322
» в %	42,7	59,7	78,5	52,0	64,4	8,9	15,4	21,6	1,0	2,44	7,25
Состав влажного газа (не содержащего азота) в %:											
H_2O	32,50	49,40	68,55	43,51	51,79	4,86	8,65	12,92	0,52	1,23	3,88
CO_2	13,57	12,40	7,83	9,63	10,88	3,2	5,45	7,7	1,03	0,53	3,16
CO	16,38	8,50	3,37	12,55	7,08	43,47	36,45	31,38	47,78	48,70	42,09
H_2	37,55	29,50	20,25	34,31	30,25	48,44	49,43	48,00	50,67	49,54	50,27
Количество прореагировавшего углерода в *г*											
На образование CO_2	0,130	0,403	0,110	0,1589	0,4236	0,0397	0,1430	0,3236	0,0220	0,0150	0,1750
» CO	0,156	0,276	0 047	0,2061	0,2734	0,5403	0,954	1,3164	1,0180	1,4000	2,3850
Всего в *г*	0,286	0,679	0,157	0,365	0,697	0,580	1,097	1,640	1,040	1,415	2,5600
Количество углерода в *г*/*см*³ *час*	0,0117	0,0279	0,0064	0,0150	0,0286	0,0238	1,045	0,0673	0,0427	0,058	0,105

Полученные результаты представлены на рис. 6. На оси абсцисс отложены температуры, а на оси ординат — количества окиси углерода, полученные из 100 частей CO_2.

Чем ниже температура перегонки, тем ниже температура воспламенения кокса. Это объясняется тем, что полученный при высокой температуре кокс обладает большой теплопроводностью и поэтому загорается лишь при подогреве его частиц до высокой температуры и подводе большого количества тепла, так как благодаря теплопроводности и теплоизлучению он быстро охлаждается [100].

Коксовый остаток молодых топлив (дров, торфа, бурого угля), не обладающий большой теплопроводностью, может быть легче разожжен или же содержаться в раскаленном виде при очень неинтенсивном горении, так как выделяющееся небольшое количество тепла не отводится топливом и температура очага горения высока.

В газогенераторах дрова, торф, бурый уголь, перегоняющиеся при низкой температуре, легко газифицируются, каменные угли — труднее, а плотный кокс хорошо газифицируется лишь при достаточно горячем ходе генератора.

Различные топлива дают различный по форме коксовый остаток.

Дрова, торф и брикеты бурого угля сохраняют свою форму при нагревании, уменьшаясь лишь в размере соответственно улетучиванию части топлива. Благодаря этому между отдельными кусками топлива в генераторе имеются большие промежутки для прохода воздуха и газов.

Бурый уголь часто дает порошкообразный или мелкозернистый коксовый остаток. Впрочем и кусковатый коксовый остаток бурого угля обладает слабой прочностью и крошится в генераторе, в результате чего уплотняется слой топлива в генераторе, увеличивается сопротивление слоя, ухудшаются условия равномерного прохождения газов и увеличивается унос пыли из генератора. Поэтому шуровку топлива ломами стараются производить возможно реже, чтобы не способствовать распадению бурого угля.

Свойством распадаться при нагревании обладают также и некоторые каменные угли.

Многие каменные угли обладают свойством спекаться. Это свойство весьма различно для различных сортов каменного угля.

При сильном спекании топлива в верхних слоях генератора отдельные места закупориваются и через них не проходят газы, а иногда образуются целые своды. Даже сравнительно малоспекающийся уголь, как например лисичанский, а также бежановский, при газификации в генераторах со швельшахтой размягчается и переходит в тестообразное состояние.

Некоторые из применяющихся или применявшихся спекающихся каменных углей, например бежановские, причиняют неудобства вследствие спекания даже в обычных конструкциях генераторов, и поэтому приходится работать при низком слое и с худшими показателями во избежание слишком интенсивной шуровки. Сильное спекание, необходимость интенсивной шуровки и невозможность работы с высоким слоем топлива также наблюдаются при работе на спекающихся

сортах ленинских углей (майеровском, болдыревском, серебрянниковском).

Из донецких каменноугольных топлив пригодными для газификации следует считать угли марок Д и Г (из последних желательны не сильно спекающиеся). Соответственными должны быть и каменные угли других месторождений.

Возможна следующая характеристика коксового остатка угля, применяемого в генераторах: кокс может быть порошкообразным, слипшимся, слабоспекшимся, спекшимся, но не спекшимся-плотным.

Генераторы с автоматическими шуровочными приспособлениями рекомендуется снабжать углем, дающим слабоспекающийся кокс во избежание сильного пыления генераторов.

Спекание угля обусловливает тяжелую шуровку, и для улучшения условий газификации спекающиеся угли часто смешивают с неспекающимися.

Процесс сухой перегонки обогащает газ продуктами с высокой теплотворной способностью, дающими сильно лучеиспускающее пламя. Этим объясняется то обстоятельство, что часто предпочитают применять при газификации для отопления печей, работающих с высокими температурами, топлива с высоким содержанием летучих.

При газификации топлив, содержащих серу, получаемый газ содержит сероводород. Количества получаемого при газификации различных топлив сероводорода приведены в таблице 78.

H_2S и SO_2 являются вредными для ряда производств: металлургического, стекольного, керамического и других, а также для здоровья людей. Топливом, не содержащим серу, являются дрова. В торфе [13, 83, 101] бывает обычно небольшое содержание серы: в сфагновых—до 0,5%; в осоковых торфах — до 2%. В бурых и каменных углях содержание серы меняется в зависимости не только от примеси сульфатов и сульфидов, но и от количества органических сернистых соединений, входящих в состав углей. Из бурых углей наибольшее содержание серы имеет подмосковный уголь — в среднем 4% (1—15%). Эти колебания обусловлены главным образом различным содержанием пиритов. Челябинский уголь содержит серы до 1% и богословский — 0,5%.

Угли и антрациты содержат серу в различных количествах. Содержание ее особенно значительно в некоторых донецких углях (в длиннопламенных 3—4%).

При сухой перегонке сера отчасти остается в полукоксе, а отчасти удаляется вместе с летучими и распределяется между смолой и газом. Чем моложе уголь, тем больше он образует летучих веществ при перегонке и тем относительно меньше серы остается в полукоксе. Содержание серы в полукоксе, выраженное в процентах от сухого вещества, обычно бывает очень близким к содержанию серы в исходном угле.

Каменные угли при перегонке выделяют большее количество летучей серы в виде жидких органических соединений и меньшее — в виде сероводорода, а бурые угли — наоборот.

Распределение серы угля при газификации было исследовано [97] для каменных углей и характеризуется таблицей 79.

Выход сероводорода из различных топлив

Топливо				Газ
Вид	A^p	W^p	$S^p_{об}$	Род
Подмосковный уголь	17,13 17,46	28,15 25,92	$S_л^{об}$ —4,5 » 4,24	Полукоксовальный »
Лисичанский уголь	3,48 7,10	11,56 7,15	3,85 2,93	» »
Подмосковный уголь	16	33	2,6	Смешанный генераторный газ; генератор без швельшахты
» »	20,4	29,1	2,2	Смешанный генераторный газ; генератор со швельшахтой
Челябинский уголь .	17,8	17,5	0,65	Смешанный генераторный газ; генератор без швельшахты
» »	16—26	16—20	0,6—0,75	Смешанный генераторный газ; генератор со швельшахтой
Антрацит донецкий Г	9,7	4,1	1,79	Смешанный генераторный газ. Генератор с вращающейся решеткой
Антрацит донецкий-грушевский АК . .	6,84	5,80	1,41	Смешанный генераторный газ. Генератор с вращающейся решеткой
Антрацит снежнянский АМ	11,84	6,25	0,83	Смешанный генераторный газ. Генератор с вращающейся решеткой
Антрацит боково-хрустальский	10,54	6,71	1,37	Смешанный генераторный газ. Генератор с вращающейся решеткой
Тквибульский уголь .	20	4	0,71	Полукоксовальный
Донецкий уголь . . .	—	—	—	Светильный газ

Таблица 78

Газ								
Выход в $м^3/кг$	Состав в %							
	CO_2	C_mH_n	O_2	CO	CH_4	H_2	N_2	H_2S
0,0621 0,0560	14,1 14,9	3,3 2,5	2,5 0,7	8,9 5,1	29,6 25,7	19,4 18,4	8,2 10,3	14,0 22,4
0,065 0,060	5,7 4,2	8,1 6,4	0,4 0,6	4,4 7,7	47,0 50,8	22,6 20,4	2,0 2,4	9,8 7,5
1,28 —	10,87 6,8	— —	0,37 0,5	17,39 22,0	2,32 2,2	16,43 15,0	49,98 51,5	2,64 2,0
1,17	6,0	0,4	0,2	27,6	3,9	14,9	45,8	1,2
2,4	8,3	0,3	0,2	22,2	3,4	16,9	48,5	0,2
1,2—1,5 —	11,22 7,06	0,39 0,35	0,20 0,21	21,38 25,50	4,83 4,86	22,81 19,79	39,06 41,96	0,11 0,16
4,5	5,36	—	0,26	27,92	0,53	12,33	53,46	0,14
4,23	7,40	0,21	0,22	25,66	0,78	12,76	52,77	0,20
4,17	10,92	0,18	0,26	19,86	0,50	12,28	55,88	0,12
3,95	8,37	0,14	0,20	23,51	0,90	13,11	53,57	0,20
8%	15,42	11,45	—	10,20	—	—	5,48	20—30% всей серы
В газ переходит примерно 25% всей серы топлива								12,5—20 $г/м^3$

Таблица 79

Распределение серы при газификации каменного угля (в %)

Статьи	I	II	III
Переходит в золу	6,0	14,1	20,2
» » смолу	1,0	1,0	1,1
» » H_2S	71,2	65,1	63,3
» » SO_2	14,4	14,7	9,7
» » органические соединения	6,9	5,1	5,7
Температура газа при выходе	603°	590°	628°

Содержание сероводорода в генераторном газе зависит от характера дутья. С увеличением содержания пара в дутье увеличивается количество серы, переходящей в газ. Это находится в соответствии с процессами образования сероводорода, описанными выше.

При непрерывном получении воздушного или смешанного генераторного газа часть серы переходит в газ, а часть остается в золе. При периодическом получении водяного газа с продуктами горячего дутья уходит лишь малая часть серы, так как длительность периода газования и наличие в водяном газе большого количество водорода и водяного пара способствуют переходу серы в водяной газ.

Наиболее благоприятны условия перехода серы в генераторный газ при получении двойного водяного газа. В этом случае продукты горячего дутья омывают лишь полукокс, содержащий более стойкие соединения серы. Главная масса серы выделяется из топлива при омывании его водяным газом с высоким содержанием водорода и водяного пара.

Терресом и другими [20] исследовалось воздействие при 600° водяного пара в смеси с азотом на буроугольный кокс, полученный при 600°. С увеличением содержания пара в смеси количество серы, переходящее в газ в виде H_2S и SO_2, возрастало, причем особенно сильно при увеличении содержания H_2O в смеси выше 10%.

Так как содержание серы в коксе с возрастанием температуры получения кокса уменьшается, то с увеличением температуры коксования топлива, применяющегося для получения водяного газа, содержание серы в водяном газе уменьшается.

По тем же опытам с уменьшением продолжительности соприкосновения водяного пара особенно при низкотемпературных коксах падала интенсивность перехода серы в газ. При температурах до 600° количество газифицируемой серы составляло до 0,12 *мг* на 1 *мг* С.

В генераторе при окислении сернистого железа кислородом возможно образование некоторого количества сернистого газа. В дальнейшем сернистый газ или переходит в генераторный газ или, взаимодействуя с водородом, образует сероводород.

В случае значительного содержания в генераторном газе сероводорода при соответствующих требованиях потребителя газ подвергают очистке от него.

В генераторном газе содержится некоторое количество аммиака, выделяющегося из топлива при его нагревании и улавливавшегося в прошлом в генераторных установках Монда, в которых в генератор подводилось большое количество перегретого водяного пара.

Сделано много предложений усовершенствования процесса Монда, преследующих уменьшение расхода пара. Так предложено охлаждать верхнюю часть слоя топлива путем устройства охлаждающего кожуха, примешивать к дутью богатый водородом газ, который одновременно подводит и необходимые для процесса тепло и пар, примешивать вещества, например хлориды щелочных и щелочноземельных металлов, препятствующие разложению аммиака.

Эти предложения однако не могли приостановить вытеснения способа получения аммиака по Монду другими более рентабельными способами.

3. ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ТОПЛИВА

Теплотворная способность твердого и жидкого топлива измеряется количеством тепла, выделяющегося при сжигании единицы веса или объема данного топлива.

Если при учете тепла, выделяющегося при сгорании топлива, учитывать тепло, выделяющееся при конденсации паров воды, содержащихся в продуктах горения, то мы получим так называемую высшую теплотворную способность.

В промышленных установках влага обычно удаляется с продуктами горения в виде паров воды и следовательно бесполезно уносит содержащееся в них скрытое тепло испарения и тепло нагрева воды. Это тепло вычитают из высшей теплотворной способности, получая так называемую низшую или полезную теплотворную способность.

Теплотворная способность топлива может быть установлена опытным путем с помощью специального прибора-калориметра. При этом сжигают в специальном сосуде (бомбе) с кислородом известное количество топлива. Выделяющееся при сгорании навески топлива тепло нагревает воду сосуда-калориметра, в котором помещается бомба. По повышению температуры воды судят о количестве выделившегося тепла[1].

Так как продукты горения в калориметре охлаждаются до низкой температуры, близкой к температуре окружающего воздуха, то влага из топлива и влага, получившаяся в результате горения водорода топлива, конденсируются и отдают тепло испарения и нагрева воде калориметра. Таким образом калориметром определяют высшую теплотворную способность топлива.

[1] При обычном сгорании топлива азот не принимает участия в процессе горения, а сера сгорает в сернистый газ. В условиях же сжигания в калориметрической бомбе в сжатом до 25—30 *ат* кислороде азот частично сгорает с образованием азотной кислоты, а сернистый газ сгорает в серную кислоту. Оба эти процесса сопровождаются выделением тепла и поэтому в калориметрические определения теплотворной способности должны быть внесены поправки на теплоту образования азотной и серной кислоты.

Низшую теплотворную способность можно получить, вычтя из высшей величину

$$600 \cdot (W + 9H),$$

где: W — влага топлива,

H — весовое количество водорода в топливе по его анализу (H *кг* водорода дают 9H *кг* воды),

600 — количество калорий, соответствующее теплу, выделяемому при конденсации 1 *кг* пара.

Если опытным путем теплотворная способность топлива не установлена, а имеется анализ топлива, то теплотворная способность с известным приближением может быть определена по химическому составу расчетным путем с помощью некоторых формул.

В основу формул положено допущение, что элементы, входящие в состав органической массы, при сгорании выделяют столько же тепла, сколько его выделяется при сгорании элементов в свободном состоянии. Понижение теплотворной способности топлива вследствие наличия в нем кислорода учитывается допущением, что кислород связан с соответственным количеством водорода в воду.

Оба сделанные допущения определяют неточность основанной на них формулы Дюлонга, так как она не учитывает тепла образования органических соединений угля и связи кислорода с углеродом.

Для старых, хорошо разложившихся топлив эта формула достаточно точна.

Формула Дюлонга для высшей теплотворной способности:

$$Q = 81{,}4\,C + 342\left(H - \frac{O}{8}\right) + 22S,$$

где C, H, O и S содержания элементов, выраженные в процентах.

Коэфициенты указывают тепло сгорания этих элементов.

Приведенное выражение для теплотворной способности получило ряд видоизменений, связанных с подбором коэфициентов, дающих лучшее совпадение расчетных и опытных определений.

Чем моложе топливо, чем больше в нем кислорода, тем менее сходятся опытные и экспериментальные определения.

Формула германских инженеров для низшей теплотворной способности при влажности топлива в $W\%$ имеет следующий вид:

$$81C + 290\left(H - \frac{O}{8}\right) + 25S - 6W.$$

Наиболее часто в СССР пользуются формулой Д. И. Менделеева, установленной с учетом поправок, которые внес опыт калориметрического определения теплотворной способности в теоретический подсчет на основании элементарного анализа.

Формула Д. И. Менделеева имеет следующий вид для высшей теплотворной способности:

$$Q_в = 81C + 300H - 26\,(O - S).$$

Для получения низшей теплотворной способности $Q_н$ из значения высшей следует вычесть 600 *кал* на каждый килограмм получившейся влаги, т. е.

$$600\,\frac{W + 9H}{100} = 6\,(W + 9H),$$

так как при наличии в топливе $W\%$ влаги и $H\%$ водорода в продуктах горения получается:

$$\frac{W + 9H}{100}\ кг \text{ влаги}.$$

Таким образом:

$$Q_н = Q_в - 6\,(W + 9H) = 81C + 300H - 26\,(O - S) -$$
$$- 6\,(W + 9H) = 81C + 246H - 26\,(O - S) - 6W.$$

Коноваловым предложена иная методика расчетного определения теплотворной способности топлива в зависимости от количества кислорода, пошедшего на сжигание единицы топлива [154].

Теплотворная способность по вышеуказанным формулам может быть определена лишь для твердых и жидких топлив.

4. ОБОЗНАЧЕНИЯ И ПЕРЕСЧЕТЫ

Как указано выше, встречаются обозначения: органическая масса, горючая масса, сухая масса, лабораторное топливо, рабочее топливо. В зависимости от того, к какой части топлива относят обозначения, проставляют соответствующие индексы.

Точно так же индексами обозначают верхние и нижние пределы теплотворной способности и тепловыделение по бомбе.

В табл. 80 приведены эти обозначения.

Иногда вводят индекс «*л*» для обозначения лабораторной пробы.

Часто состав топлива бывает задан не в том виде, в каком требуется. Например требуется знать состав рабочего топлива, а имеются состав горючей массы и зольность и влажность рабочего топлива; или имеется состав горючей массы, зольность сухого топлива и влажность рабочего топлива и т. д.

Для производства необходимых пересчетов состава топлива служат следующие формулы:

$$C^c\ (\text{тоже } H^c,\ O^c,\ N^c,\ S^c) = \frac{C^s\,(100 - A^s)}{100}\ (\text{соответственно } H^s, O^s,\ N^s, S^s),$$

$$C^p = \frac{C^c\,(100 - W^p - A^p)}{100} = \frac{C^c\,(100 - W^p)}{100};$$

$$A^p = \frac{A^c\,(100 - W^p)}{100} = \frac{A^л\,(100 - W^p)}{100 - W^л};$$

$$V^p = \frac{V^c\,(100 - W^p - A^p)}{100} = \frac{V^c\,(100 - W^p)}{100} = \frac{V^л\,(100 - W^p)}{100 - W^л}.$$

Таблица 80

Обозначения составных частей топлива и теплотворной способности

№ п./п.	Наименование	Рабочее топливо	Сухая масса	Горючая масса	Органич. масса
1	Влага общая в %	W^p	—	—	—
2	Зола истинная в %	A_u^p	A_u^c	—	—
3	Зола лабор. (видимая) в %	A^p	A^c	—	—
4	Изменение веса золы	R^p	R^c	—	—
5	Углерод в %	C^p	C^c	C^z	C^o
6	Водород в %	H^p	H^c	H^z	H^o
7	Кислород в %	O^p	O^c	O^z	O^o
8	Азот в %	N^p	N^c	N^z	N^o
9	Сера общая в %	$S^p_{об}$	$S^c_{об}$	—	—
10	Сера сульфатная (минер.) в %	S^p_a	S^c_a	—	—
11	Сера горючая (летучая) в %	$S^p_л$	$S^c_л$	$S_л$	—
12	Сера колчеданная в %	$S^p_к$	$S^c_к$	$S^z_к$	—
13	Сера органическая в %	$S^p_{орг}$	$S^c_{орг}$	$S_{орг}$	—
14	Тепловыделение в бомбе *кал/кг*	$Q^p_б$	$Q^c_б$	$Q^z_б$	$Q^o_б$
15	Низшее тепловыделение по бомбе *кал/кг*	$Q^p_{бн}$	$Q^c_{бн}$	$Q^z_{бн}$	$Q^o_{бн}$
16	Теплопроизводительность высшая *кал/кг*	Q^p	$Q^c_в$	$Q^z_в$	$Q^o_в$
17	Теплопроизводительность полезная (низшая) *кал/кг*	$Q^p_н$	$Q^c_н$	$Q^z_н$	$Q^o_н$
18	Летучие вещества без влаги в %	V^p	V^c	V^z	V^o

Для производства пересчетов теплотворной способности топлива служат следующие формулы:

$$Q_в^c = Q_в^z \frac{100 - A^c}{100} = Q_в^л \frac{100}{100 - W^л};$$

$$Q_в^p = Q_в^z \frac{100-(W^p+A^p)}{100} = Q_в^c \frac{100 - W^p}{100} = Q_в^л \frac{100 - W^p}{100 - W^л};$$

$$Q_в^z = Q_в^z \frac{100}{100 - (A^л + W^л)}; \quad Q_н^z = Q_в^z - 6 \cdot 9H^z;$$

$$Q_н^c = (Q_в^z - 6 \cdot 9H^z) \frac{100 - A^c}{10)} = Q_н^z \frac{100 - A^c}{100} = Q_в^z \frac{100 - A^c}{100} - 6 \cdot 9H^c;$$

$$Q_н^p = (Q_в^z - 6 \cdot 9H^z) \frac{100 - (W^p + A^p)}{100} - 6W^p =$$

$$= Q_н^z \frac{100 - (W^p + A^p)}{100} - 6W^p = Q_в^z \frac{100 - (W^p + A^p)}{100} - 6(9H^p + W)^p;$$

$$Q_н^p = (Q_в^c - 6 \cdot 9H^c) \frac{100 - W^p}{100} - 6W^p = Q_н^c \frac{100 - W^p}{100} - 6W^p =$$

$$= Q_в^c \frac{100 - W^p}{100} - 6(W^p + 9H^p) = Q_в^p - 6(9H^p + W^p).$$

Глава шестая

ОЧИСТКА И ОСУШКА ГАЗА

1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

В зависимости от условий газификации и применения к газу могут предъявляться специальные требования в отношении очистки.

Под очисткой газа понимают освобождение его от летучей пыли, сажи, смолы и масел, влаги, аммиака, сернистых соединений и пр.

В случае небольших примитивных установок газ может направляться непосредственно из газогенератора в печь. В современных газогенераторных станциях газ в большинстве случаев до поступления к местам потребления подвергается предварительной очистке.

Унос с газом пыли и сажи может достигать при некоторых сортах топлива 7—10% от веса газифицируемого топлива.

Увеличению содержания пыли в газе благоприятствуют наличие большого количества мелочи в топливе, интенсивная работа газогенератора, применение автоматических шуровочных и питательных приспособлений и газификация механических непрочных и распадающихся при нагревании сортов топлива. Вместе с пылью газом уносится из генератора сажа, которая является главным образом результатом пирогенетического разложения смол, и количество ее возрастает с повышением температуры газификации. Пыль и сажа, осаждаясь в газопроводах, быстро уменьшают их живое сечение, вследствие чего необходимо время от времени производить чистку газопроводов, что связано с перебоями в питании газом.

Если газ предназначается для питания незначительного количества печей, расположенных рядом с газогенераторной станцией, то в этом случае можно удовлетвориться сухой очисткой газа от пыли и сажи и питать печи горячим газом. В случае большого разветвления газопроводов и большого протяжения их, а также в случае специальных требований, предъявляемых потребителями газа, необходимо более тщательно предварительно очистить газ от пыли и сажи, и в этом случае применяется так называемая мокрая очистка газа.

Осушка газа, т. е. выделение и удаление содержащегося в нем водяного пара, имеет обычно целью уменьшение количества баласта

в газе. Помимо этого осушкой газа избегается выделение большого количества влаги при дальнейшем движении газа в газопроводах и уменьшается объем транспортируемого газа. Последнему обстоятельству способствует также охлаждение газа. Влага получается в газе в результате выделения влаги топлива и влаги сухого разложения, прохождения через слой топлива неразложенным некоторого количества водяного пара, примешиваемого к дутью, и пропуска пара паровыми затворами. При влажных топливах количество водяного пара в газе может быть очень велико (при воздушносухих дровах и торфе и при буром угле — до 300 $г/м^3$). Водяной пар, содержащийся в газе, снижает температуру горения, так как выделяющееся при сгорании горючих частей газа тепло частично расходуется на нагревание пара; кроме того, входя в состав отходящих газов, водяные пары уносят из печей вследствие своего нагрева значительное количество тепла, соответствующее температуре отходящих газов.

Газ из древесины, торфа, бурого и каменного углей содержит смолистые вещества в виде паров или во взвешенном состоянии (в виде тумана). Если в целях осушки или очистки подвергать охлаждению газ, содержащий и влагу и смолу, то выделение водяного пара и смолы пойдет одновременно и они смешаются с охлаждающей водой. Отделение смолы от воды является затруднительным. Кроме того значительная часть смол будет все же унесена газом и осядет в дальнейшем по пути своего следования в газовых нагнетательных вентиляторах и газопроводах, что вызовет необходимость их чистки и бесполезную потерю части смолы Поэтому в большинстве случаев необходимо до охлаждения подвергнуть газ предварительной очистке от смол посредством специальных аппаратов.

Предварительная очистка газа от смолы и улавливание смолы могут диктоваться также соображениями чисто экономического и хозяйственного порядка, так как смола сама по себе является ценным продуктом. Наконец очистка газа от смолы может быть вызвана специальными требованиями, предъявляемыми потребителями газа.

Очищенный от пыли, сажи, смолы и влаги газ возможно транспортировать по газопроводам малого диаметра под большим давлением, с хорошей и удобной регулировкой, с установкой счетчиков газа и пользоваться при его сжигании более экономичными конструкциями горелок. Кроме того он пригоден для питания газовых машин.

К очистке газа относится также удаление из него отдельных составных частей, в частности аммиака и сероводорода. Улавливание аммиака при топливах, имеющих значительное содержание азота (до 1—1,5% и больше), раньше имело целью получение сульфата аммония (способ Монда). В последнее время этот способ получения аммиака вытесняется более совершенными способами. Что касается сернистых соединений, то улавливание их вызывается преимущественно требованиями производственного и санитарного характера хотя известное значение имеет и возможность получения серы в виде ценного побочного продукта.

В целях обогащения газа и для удовлетворения специальных производственных нужд в ряде случаев подвергают генераторный

газ очистке и от других составных частей — углекислоты, метана, азота, окиси углерода. Так при синтезе аммиака газ освобождается от углекислоты и окиси углерода, а иногда и от метана; для целей дальнего газоснабжения газ может быть очищен от углекислоты и сероводорода и т. д., причем отдельные выделяемые при очистке газы могут быть утилизированы.

Выбор схемы очистки газа зависит от рода газифицируемого топлива, типа газогенератора и экономических и производственных соображений.

2. СУХАЯ ОЧИСТКА ГАЗА

Случаи применения

Сухая очистка газа применяется преимущественно для каменных углей, антрацита и кокса в случае газификации их в обыкновенных газогенераторах по следующим причинам:

а) влажность газа из этих видов топлива обычно очень незначительна — 40—80 *г* влаги в 1 $м^3$ газа, и следовательно охлаждения газа в целях осушки не требуется;

б) температура газа при выходе из генератора при работе на антраците и коксе составляет 350—650° С, а при работе на газовом спекающемся угле может достигать 700—800° С.

Так как теплосодержание газа в этом случае велико (каждые 50° температуры газа соответствуют примерно 1% теплотворной способности топлива), то очевидно, что по мере возможности должны быть приняты все меры к доведению физического тепла газа до самой печи, почему и является более целесообразным при работе на этих видах топлива применение сухой очистки газа;

в) для углей, содержащих смолу, может иметь значение сохранение в газе смол; это важно как в отношении увеличения теплотворной способности газа вследствие присутствия в нем смолистых веществ, так и с точки зрения характера пламени, обладающего в этом случае более высокой лучеиспускающей способностью; для сохранения смолистых веществ в газе также необходимо принять все меры для доведения газа к печам в горячем состоянии.

Схема установки

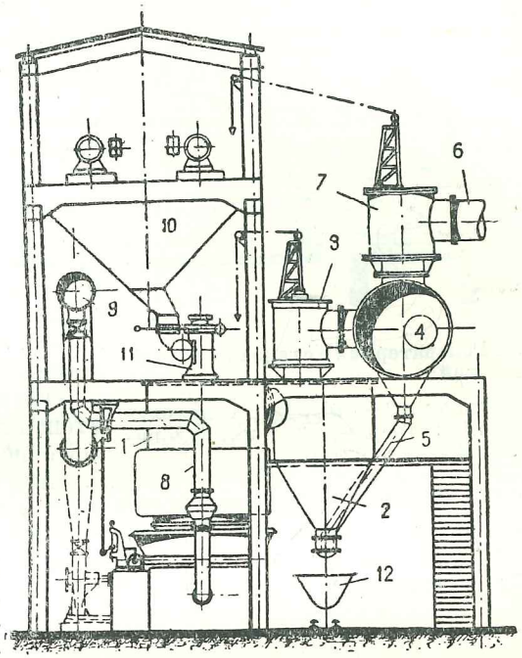
В случае сухой очистки газ из генератора проходит прежде всего пылеуловитель, затем поступает в коллектор газа и отсюда распределяется к местам потребления.

Подобные установки представлены на рис. 157 и 158, где газ из генераторов попадает в пылеуловитель и оттуда — в коллектор газа, распределяясь из последнего по отдельным потребителям. В этом случае газ подается в сеть за счет давления, создаваемого дутьевым устройством, обслуживающим генератор, и вверху генератора поддерживается значительное положительное давление, что затрудняет обслуживание генератора.

Ряд существующих небольших генераторных установок на дровах и торфе — топливах, дающих влажный газ,— не снабжен осушительными и смолоулавливающими приспособлениями в целях упрощения и удешевления установок. Роль уловителей взвешенных частиц, количество которых при древесине ничтожно и при торфе незначительно, играют в этом случае коллектор и газопроводы, которым придают большие размеры (рис. 50).

С целью сохранения физического тепла газа и недопущения конденсации смол современные газопроводы, коллектор газа и пылеуловители кроме огнеупорной футеровки снабжаются слоем изоляции.

В случае работы на горячем газе целесообразно применять запорные и пусковые устройства типа тарельчатого клапана.



157. Генераторная установка с сухой очисткой:

1 — генератор, *2* — пылеуловитель, *3* — тарельчатый затвор, *4* — коллектор, *5* — рукав для пыли, *6* — газопровод к потребителю; *7* — тарельчатый затвор, *8* — воздухопровод к генератору, *9* — общая воздушная магистраль, *10* — бункер, *11* — загрузочное приспособление, *12* — вагонетка для пыли и золы

Пылеуловители

Приспособления для выделения пыли из газа связаны с устройством газопроводов. Таковыми служат пылеуловители, изменения сечений и направлений газопроводов.

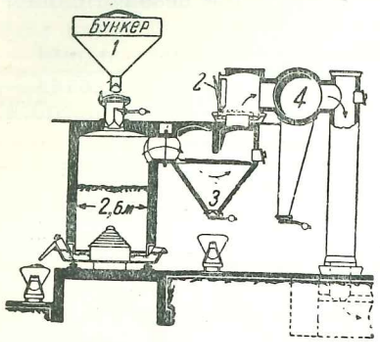
Выпадение взвешенных в газе частиц происходит в большей или меньшей мере по всему пути газопроводов. Для удобства эксплоатации улавливают пыль из газа по возможности полно по выходе из генератора или в специально намеченных местах.

Сухие пылеуловители (рис. 159) могут представлять собой большую камеру, в которой газ движется с малой скоростью, или камеру, в которой газ претерпевает изменения направления движения благодаря устройству перегородки или соответствующему расположению отверстий для входа и выхода газа. Иногда применяют пылеуловители циклонного типа.

Пылеуловители в случае горячего газа снабжают футеровкой в $^1/_2$ или $^1/_4$ огнеупорного кирпича. Они перекрываются металлическими крышками на болтах с асбестовым уплотнением [63].

Пылеуловители суживают внизу и снабжают клапанами для спуска снизу пыли на ходу и предохранительными клапанами и лазами для доступа внутрь (см. ниже).

Хорошо сконструированный пылеуловитель может выделить 60—80% взвешенной в газе пыли (грубая очистка).



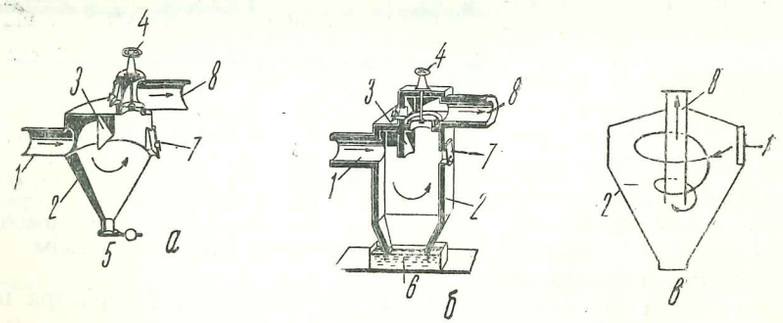
158. Генераторная установка с сухой очисткой:

1 — бункер, *2* — клапан с гидравлическим затвором, *3* — пылеуловитель, *4* — коллектор

В случае необходимости в более тонкой сухой очистке возможно применение других приспособлений, например электрофильтров и фильтрующих мешков [102, 105]. Устройство электрофильтров описано ниже. Что касается фильтрующих мешков, то их устройство основано на пропускании газа через хлопчатобумажную или шерстяную ткань. Очистка газа с помощью этих устройств может быть доведена до 0,01—0,02 *г/м*³.

Обычно эти очистные устройства в генераторных установках для сухой очистки газа от пыли не применяются ввиду требуемой низкой температуры газа, поступающего в них: не более 100° — для фильтров из ткани и не более 200° — для электрофильтров.

Имеется также предложение применить пылеуловитель с цепным фильтром Рафлера, свободно подвешенным в газопроводе и периодически встряхиваемым для сброса пыли. Этим фильтром обеспечивается достаточное отделение пыли благодаря отражению частиц пыли от фильтра при небольшой потере давления [10].



159. Пылеуловители: *а* — с перегородкой, *б* — с перегородкой и гидравлическим затвором, *в* — циклонный пылеуловитель:

1 — вход газа, *2* — корпус пылеуловителя, *3* — перегородка, *4* — тарельчатый клапан, *5* — клапан для выбрасывания пыли, *6* — гидравлический затвор, *7* — предохранительный клапан, *8* — отвод газа

Цепной фильтр не имеет недостатка, свойственного пылеуловителям с перегородками, в которых газ может вздымать осевшую уже пыль.

Выделение пыли из газа

Взвешенные в газах частицы можно разбить[1], на три группы [107]:

1. Пыль — частицы диаметром больше 10^{-3} *см*, падающие в спокойном воздухе с возрастающей скоростью.
2. Туманы — частицы диаметром от 10^{-3} до 10^{-5} *см*, опускающиеся в спокойном воздухе с постоянной скоростью и не диффундирующие.
3. Дымы — частицы диаметром от 10^{-4} до 10^{-7} *см*, движущиеся под влиянием ударов газовых молекул, легко диффундирующие и в спокойном воздухе практически не осаждающиеся.

Выделение из газа частиц пыли размером от 0,1 до 10 μ при движении газа в газоходах подчиняется закону Стокса [102], согласно которому [103, 109]

$$F_{тр} = 6\pi R\, v_m \eta,$$

где $F_{тр}$ — сила трения в динах,
R — радиус частицы в *см*,
v_m — скорость падения твердой частицы в *см/сек*,
η — вязкость газовой среды в пуазах.

Закон Стокса справедлив лишь до тех пор, пока поверхность частицы достаточно велика по сравнению с величиной газовой молекулы. Если частицы имеют очень малую величину, то они начинают двигаться также под влиянием ударов газовых молекул.

Если принять, что частицы пыли представляют собой шары, что скорость газа по сечению газопровода равномерна, что результатом действия конвекционных токов можно пренебречь и уноса осевшей пыли не происходит, то при равномерном падении частиц пыли под действием силы тяжести можно приравнять силу тяжести и силу сопротивления и найти равномерную скорость опускания частицы.

Вес частицы пыли равен:

$$P = mg = \frac{4}{3}\pi R^3 dg,$$

где m — масса частицы в *г*,
g — ускорение силы тяжести, равное 981 *см/сек*²,
d — плотность вещества пыли в *г/см*³.

Благодаря наличию газа с плотностью d' величина силы тяжести несколько уменьшится и будет равна:

$$P = \frac{4}{3}\pi R^3 (d - d')\, g.$$

Если пренебречь величиной d', то по закону Стокса при $F_{тр} = P$ получим:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 dg = 6\pi R\, v_m \eta,$$

[1] Различают также: грубую пыль с частицами размером до 200 μ, средней тонкости — от 200 до 20 μ и тонкую пыль с частицами размером от 20 μ и ниже [171].

и постоянная скорость падения частицы будет равна:

$$v_m = \frac{2dgR^2}{9\eta}.$$

Из приведенного выражения следует, что осаждение пыли ухудшается с уменьшением величины частиц и их плотности и с увеличением вязкости газовой среды.

Если камера, по которой движется газ, имеет длину l метров и ширину b метров, то производительность W $м^3/сек$ камеры будет равна:

$$W = blv_m = Fv_m,$$

т. е. при заданных постоянных v_m и $bl=F$ (площадь в плане) производительность не изменится в зависимости от глубины и скорости потока и соотношения длины и ширины камеры.

Если высота камеры —H $м$, скорость газа—$v_г$ $м/сек$ и время пребывания газа в камере t сек., то из вышеприведенного равенства, учитывая, что

$$v_m = \frac{H}{t}; \quad t = \frac{l}{v_г} \quad \text{и} \quad v_m = \frac{Hv_г}{t},$$

получаем:

$$\frac{4}{3}R^2 dg = \frac{6\eta H v_г}{l};$$

т. е. квадрат радиуса частицы, осаждающейся в пылеуловителе, тем меньше, чем больше горизонтальная проекция пылеуловителя и плотность материала частицы.

В технических единицах имеем:

$$v_{oc} = \frac{2}{9}r^2\frac{\gamma_п - \gamma_г}{\eta},$$

где v_{oc} — скорость осаждения пыли в $м/сек$,
$\gamma_п$ — объемный вес вещества пыли в $кг/м^3$,
$\gamma_г$ — » » газа в $кг/м^3$,
η — вязкость газа в $кг\,сек/м^2$,
r — радиус частицы в $м$.

Пример. Требуется определить минимальный размер осаждающихся сажи и пыли в камере длиной в 3 $м$, высотой в 2 $м$ и шириной в 3 $м$, через которую проходит 3000 $м^3/час$. газа с температурой 500°, имеющего вязкость в $5 \cdot 10^{-6}$ $кгсек/м^2$. Объемный вес пыли— 1600 $кг/м^3$.

Скорость движения газа:

$$\frac{3\,000 \cdot (500 + 273)}{3\,600 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 273} = 0{,}4\ м/сек.$$

Продолжительность пребывания газов в камере:

$$3 : 0{,}4 = 7{,}5 \text{ сек.}$$

Скорость падения частиц должна быть не меньше:

$$2 : 7{,}5 = 0{,}267\ м/сек.$$

Пренебрегая малой величиной $\gamma_г$, минимальный выпадающий размер частиц определяем из выражения:

$$r = \sqrt{\frac{9 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}267}{2 \cdot 1\,600}} = 61 \cdot 10^{-6}\ м = 61\ \mu.$$

Пыль состоит обычно из частиц различной величины. Для определения степени осаждения из газа частиц различной величины учитывают зависимость весового состава пыли от диаметра частиц [103].

Снабженные перегородками пылеуловители представлены на рис. 159. В них газ несколько раз меняет направление движения и кроме того резко уменьшается его скорость.

Под влиянием силы тяжести и удара, имеющего место при резком уменьшении скорости, пыль выпадает из газового потока. Под перегородкой должно быть достаточное сечение для прохода газа во избежание завихрения уже выделившихся частичек пыли.

Для проверки надежности пылеуловителя нужно определить, с какой скоростью газ переходит из горизонтальных прослоек в вертикальные, в которых пыль движется под влиянием сил тяжести и трения и живой силы потока [109].

В случае отсутствия в пылеуловителе перегородки ввод и вывод газа должны находиться в различных плоскостях.

Для хорошей работы пылеуловителя скорость газа в нем не должна превышать 0,5 $м/сек$ [63].

Циклонные пылеуловители

Применение циклонных пылеуловителей основано на действии центробежной силы. Это — круглые, переходящие в нижней части на конус (рис. 159-в) приспособления, в которые газ входит тангенциально. Газ, вращаясь, проходит в пылеуловителе, причем взвешенные частицы под действием центробежной силы прижимаются к его стенкам и под влиянием трения и силы тяжести выпадают из потока и падают вниз. Очищенный газ выходит через отводной канал в середине циклона.

Действующей силой в циклоне является центробежная сила, направленная горизонтально.

Несмотря на распространение циклонов — аппаратов для очистки газа с помощью центробежной силы — современное состояние знаний принципов работы циклонов не находится на достаточной высоте [104].

Движение газа и пыли в циклоне гораздо сложнее, чем обычно предполагают. Газ движется в циклоне в виде смерча, опускающегося в виде цилиндра вниз, и поэтому основание циклона должно быть такой формы, чтобы пыль не могла срываться и увлекаться снова вверх.

Если принять, что частицы пыли имеют шаровидную форму, что они равномерно распределены по всему входному сечению по густоте и величине частиц, что они не действуют друг на друга и что распределение скоростей по ширине и высоте входного сечения равномерно,

то при равновесии сил центробежная сила, действующая на частицу, и сопротивление ее движению со стороны газа равны, т. е.

$$6\pi r\,\eta\,v_{oc} = \frac{mv^2}{R}.$$

При допущении, что скорость газа во всем сечении вращающегося потока постоянна и равна скорости входа, получается, что частица движется перпендикулярно к потоку со скоростью осаждения [104, 105].

$$v_{oc} = \frac{2r^2\gamma\,v^2}{9\eta\,gR},$$

где v_{oc} — скорость осаждения частицы в *м/сек*,
r — радиус частицы в *м*,
γ — объемный вес вещества пыли в *кг/м*^{3},
v — входная скорость газа в *м/сек*,
η — вязкость газа в *кгсек/м*^{2},
g — ускорение силы тяжести в *м/сек*^{2},
R — расстояние частицы от оси циклона в *м*.

При соответствующей обработке выражения и обозначении через D — диаметра циклона в *м*, через s — расстояния частицы от стенки циклона в *м* и через n — числа оборотов пыли в циклоне, получается, что наименьший размер осаждаемых частей x_{min} равен:

$$x_{min} = 3\sqrt{\frac{\eta\,g}{\pi\gamma\,v}}\cdot\sqrt{s\left(1-\frac{s}{D}\right)\frac{1}{n}}.$$

Из приведенных формул следует, что с уменьшением размеров частиц, которые должны быть выделены, с уменьшением плотности частиц пыли и увеличением вязкости газа очистка газа ухудшается, с увеличением скорости газа в аппарате очистка газа улучшается и что с уменьшением размеров частиц пыли, которые должны быть выделены, диаметр циклона уменьшается.

Если скорость газа при входе в пылеуловитель равна 10 *м/сек*, вязкость газа $\eta = 5\cdot10^{-6}$ *кгсек/м*^{2}, диаметр циклона $D = 2{,}5$ *м*, диаметр отводного отверстия $D_1 = 0{,}6$ *м*, объемный вес пыли — 1600 *кг/м*^{3}, то размер минимальной выделяемой частицы можно определить, исходя из предположения, что газовый поток делает в циклоне 1 оборот ($n = 1$) и что в наихудших в смысле возможности осаждения условиях находится частица пыли у края потока, выходящего через газоотводную трубу ($s = 0{,}5D - 0{,}5D_1$):

$$x_{min} = 3\sqrt{\frac{5\cdot10^{-6}\cdot9{,}81}{3{,}14\cdot1\,600\cdot10}\cdot0{,}95\left(1-\frac{0{,}95}{2{,}5}\right)} = 72\cdot10^{-6}\ м = 72\ \mu.$$

Указанное соотношение пригодно для отдельных частиц заданной величины. В действительности в осаждаемой пыли содержатся частицы различной крупности.

Определение степени осаждения в циклоне частиц различных размеров производится с помощью соответствующего графического построения характеристики пыли и кривой зависимости величины наименьших осаждаемых частиц (x_{min}) от расстояния до стенки циклона [104].

Исследование частных случаев приводит к выводу, что степень очистки возрастает со скоростью лишь до известного предела (примерно до 25 *м*). С увеличением скорости растет опасность уноса уже осажденных частиц.

Влияние вязкости с изменением температуры газа маскируется бо́льшим влиянием изменения скорости газа.

С увеличением тонкости пыли очистка газа ухудшается. Повышая входную скорость, теоретически можно выравнять влияние растущей тонкости пыли, практически же вследствие опасности уноса уже осажденной пыли быстро наступает предел допустимого увеличения скорости.

Чем у́же входное отверстие циклона при том же диаметре циклона, тем короче путь осаждения и тем выше степень очистки. Если при диаметре циклона в 3 *м* и скорости в 25 *м/сек* теоретическая степень осаждения составляет 88% для ширины отверстия в 0,1 *м*, то для ширины отверстия в 1 *м* степень очистки падает до 69,5%. Уменьшению ширины отверстия на практике препятствует необходимость увеличения скорости входа для сохранения пропускной способности циклона.

С увеличением диаметра циклона при той же ширине входного отверстия степень осаждения изменяется лишь немного. При сохранении отношения ширины отверстия к диаметру циклона степень осаждения быстро падает с увеличением диаметра циклона.

При подсчетах обычно принимают, что газовый поток в циклоне делает 1 оборот. Если газ делает несколько оборотов без завихрений, то в пределах до 3—4 оборотов осаждение пыли значительно улучшается.

Побочные влияния ухудшают очистку газа. Таковыми влияниями являются: завихрения, уже имеющиеся в газе и усиливаемые трением о стенки, столкновения входящего и выходящего потоков и т. д.

Исследования показывают, что в циклонах образуются дополнительные потоки в виде кольцевых вихрей, исходящих от оси и поворачивающихся у стен обратно.

В циклоне осаждаются без остатка все частицы крупнее той наименьшей величины, которая может быть осаждена, попадая в циклон даже у внутреннего края входного отверстия. Частицы меньшей величины осаждаются частично.

Качество очистки может быть повышено параллельной или последовательной установкой нескольких циклонов.

При параллельном включении циклонов степень очистки ниже, чем при последовательном, но зато меньше расход энергии, установочная стоимость и потребная площадь.

Инж. В. Д. Милль[106] предложены следующие формулы для расчета циклонов, пригодные для любых размеров частиц пыли.

Ход расчета по указанному методу следующий:

$$v_{oc} = v_{ex}\sqrt{\frac{2d\,\gamma_м}{3c\gamma_в R}},$$

где v_{oc} — скорость осаждения в *м/сек*,
$v_{вх}$ — скорость входа газа в циклон в *м/сек*,
d — диаметр частицы в *м*,
R — радиус циклона в *м*,
$\gamma_м$ — объемный вес вещества пыли в *кг/м³*,
$\gamma_г$ — » » газа в *кг/м³*,
c — коэфициент, определяемый из выражения:

$$c = 2{,}5\frac{24g\eta}{v_{oc}d}\left(1+\frac{3v_{oc}d}{16g\eta}\right),$$

в котором g — ускорение силы тяжести в *м/сек²*, η — вязкость газа в *кгсек/м²*.

Ширина входного отверстия циклона—a метров—определяется из уравнения, связывающего ее с радиусом отводной трубы—$r_в$ метров:

$$(r_в+a)^{3/2}-10n\sqrt{\frac{2d\gamma_м}{3c\gamma_г}}\left(r_в+\frac{a}{2}\right)=r_в^{3/2},$$

где n — число оборотов газа в циклоне, обычно равное 1—3, чаще всего 1.

Ход расчета по указанному методу следующий.

Радиусом отводной трубы $r_в$ задаются в зависимости от производительности с таким расчетом, чтобы скорость газов в отводной трубе была несколько меньше входной скорости во избежание захватывания осевшей на стенках циклона пыли. Задаются также величинами R и c и проверяют c и потом R.

Для подсчета величины c задаются:
$R=2r_в$ для частиц больше 0,0001 *м*,
$R=1{,}5r_в$ для частиц меньше 0,0001 *м*.
Величину a определяют методом подбора.

Найдя величину a, легко найти высоту входного отверстия, исходя из часовой производительности и входной скорости газов, составляющей до 15—20 *м/сек*.

В зависимости от диаметра и плотности частицы можно задаваться для ускорения расчета значениями c и по следующим данным:

$d=$	0,0001	0,000075	0,00005	0,000025	0,00001
$c=$	10—7	45—22	100—55	500—250	10000—50000

Первые значения соответствуют объемному весу в 1 *кг/дм³* и вторые—4 *кг/дм³*.

При исследовании[105] осаждения пыли в циклоне конструкции Даннеберга и Квандта диаметром в 800 *мм* были произведены измерения скорости газа по величине и направлению в 16 различных местах. Область наибольших скоростей находилась на расстоянии 200—250 *мм* от стенок, что является характерным для смерчей. Часть загрязненного газа покидала аппарат непосредственно за входом в циклон.

Повышение скорости сверх определенной величины (до 14 против 11 *м/сек*) имело следствием ухудшение очистки.

При прочих равных условиях увеличение густоты пыли дает увеличение степени осаждения вследствие увлечения малых частиц большими.

Степень очистки составляла для угольной пыли с наибольшей величиной частиц в 200 μ около 85% и для более крупных—около 90%.

Опыты с циклонными пылеуловителями дают возможность заключить, что практически полное осаждение возможно лишь для грубой пыли — размером более 100 μ.

Гидравлические сопротивления циклона составляются из сопротивлений центробежной силы, трения газовых прослоек, трения о стенки и ударов струй.

Сопротивление центробежного потока [103], имеющее наибольшее значение, можно вычислить по формуле:

$$h=\frac{\gamma}{g}\left(\frac{v^2}{r_1}-\frac{v^2}{r_2}\right),$$

где v — скорость газового потока в *м/сек*,
γ — вес 1 *м³* газа в *кг*,
r_1 — диаметр внутренней трубы в *м*,
r_2 — диаметр кожуха в *м*,
h — сопротивление циклона в *мм* вод. ст.

Вязкость газа

На выделение пыли из газового потока в значительной мере влияет вязкость газа, увеличивающаяся с температурой и равная [107]:

$$\eta_t=\eta_0\frac{1+\frac{c}{273}}{1+\frac{c}{T}}\sqrt{\frac{T}{273}},$$

где η_t — вязкость газа при $t°$ С и 760 *мм* в пуазах,
η_0 — вязкость газа при 0° С и 760 *мм* в пуазах,
c — постоянная, определенная для каждого газа,
T — абсолютная температура газа.

Значения [107] вязкости η_0, отдельных газов в абсолютных единицах и постоянных c приведены в табл. 81.

Таблица 81

Значение вязкости η_0 и постоянных c для различных газов в абсолютных единицах

	CO	CO_2	N_2	H_2	H_2O	O_2	CH_4	SO_2	Воздух
$\eta_0\cdot10^4$ . . .	1,66	1,50	1,63	0,85	0,89	1,84	1,10	1,20	1,68
c	102	264	110	74	673	114	—	270	1,28

Умножением на 10^{-2} величин вязкости, приведенных в таблице, получаем значения вязкости в *кгсек/м²*.

В вязкости смеси отдельные газы участвуют соответственно своему объему, т. е., если вязкость отдельных газов η_1, η_2, η_3, . . , η_n и содержание этих газов в единице объема V_1, V_2, V_3, . . . , v_n, то вязкость смеси будет равна:

$$\eta = V_1 \cdot \eta_1 + V_2 \cdot \eta_2 + V_3 \cdot \eta_3 + \ldots + V_n \cdot \eta_n.$$

3. ОСУШКА И ОХЛАЖДЕНИЕ ГАЗА

Способы осушки

Осушка газа достигается обычно охлаждением его. Табл. 82 показывает, что в газе при определенной температуре может содержаться лишь определенное количество насыщенного водяного пара, быстро растущее с температурой. Если мы будем охлаждать газ, то при какой-то температуре пары воды, содержащиеся в нем, станут насыщенными и при дальнейшем понижении температуры газа пары воды будут конденсироваться. В газе будет оставаться лишь определенное количество водяного пара, соответствующее его температуре. Чем сильнее охлаждение газа, тем меньше водяного пара будет оставаться в газе. Табл. 82 указывает это остающееся количество водяного пара. Некоторое количество влаги может увлекаться при осушке в виде механической примеси к газу. При осушке газа с помощью охлаждения водой в газе остается некоторое количество влаги, которая может вызвать неполадки, например обмерзание газопровода. Имеется несколько способов полной осушки газа [1].

При компрессии газа пары воды конденсируются, и вода может быть удалена. Способ этот дорог и пригоден в случае необходимости компрессии газа по технологическим условиям или для целей его транспорта. При этом способе осушки из газа также удаляются легкие масла.

Влага газа может быть удалена и химическим путем — обработкой газа различными реагентами, например хлористым кальцием. Этот способ наиболее дешев.

Глубокое охлаждение газа, освобождающее почти полностью газ от влаги, является дорогой операцией и пригодно при использовании этого способа для выделения из газовой смеси отдельных газов.

Охлаждение газа

Газ обычно охлаждается до 35—45°, его влагосодержание при этой температуре соответствует, согласно табл. 82, при 45° — 84 *г/м³* (0°,760 *мм*) и при 35° — 48 *г/м³* (0°,760 *мм*).

Для охлаждения газа применяют или поверхностные холодильники или холодильники с непосредственным соприкосновением газа и воды.

Для частичного охлаждения газа могут снабжаться охлаждающими устройствами и отдельные участки газопроводов. Так например вертикальный или наклонный отрезок газопровода за генераторами снаб-

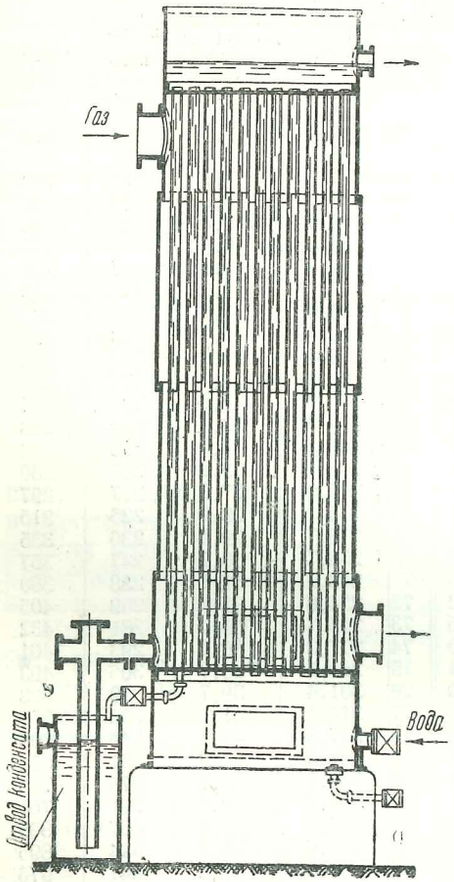
Таблица 82

Зависимость содержания насыщенного водяного пара в газе от температуры

Температура (в °С)	Парциальное давление водяного пара p (в *мм* рт. ст.)	Об'емное содержание водяного пара при 760 *мм* рт. ст. (в %) $\frac{100 \cdot p}{760}$	Количество пара (в *г* на 1 *м³* газа) (0°С, 760 *мм* рт. ст.) влажного	Количество пара (в *г* на 1 *м³* газа) (0°С, 760 *мм* рт. ст.) сухого	Температура (в °С)	Парциальное давление водяного пара p (в *мм* рт. ст.)	Об'емное содержание водяного пара при 760 *мм* рт. ст. (в%) $\frac{100 \cdot p}{760}$	Количество пара в *г* на 1 *м³* газа (0°С, 760 *мм* рт. ст.) влажного	Количество пара в *г* на 1 *м³* газа (0°С, 760 *мм* рт. ст.) сухого
0	4,6	0,61	4,8	4,9	51	97,2	12,8	103	118
1	4,9	0,64	5,2	5,2	52	102,1	13,4	108	125
2	5,3	0,70	5,6	5,6	53	107,2	14,1	113	132
3	5,7	0,75	6,0	6,1	54	112,5	14,8	119	140
4	6,1	0,80	6,4	6,5	55	118,0	15,5	125	148
5	6,5	0,86	6,9	7,0	56	123,8	16,3	131	156
6	7,0	0,92	7,4	7,5	57	129,8	17,1	137	166
7	7,5	0,99	7,9	8,0	58	136,1	17,9	144	175
8	8,0	1,05	8,5	8,6	59	142,6	18,8	151	186
9	8,6	1,13	9,1	9,2	60	149,4	19,7	158	197
10	9,2	1,21	9,7	9,9	61	156,4	20,6	165	208
11	9,8	1,29	10,4	10,5	62	163,8	21,5	173	221
12	10,5	1,38	11,1	11,3	63	171,4	22,5	181	234
13	11,2	1,47	11,9	12,1	64	179,3	23,6	190	248
14	12,0	1,58	12,7	12,9	65	187,5	24,8	198	263
15	12,8	1,68	13,5	13,8	66	196,1	25,8	207	280
16	13,6	1,79	14,4	14,7	67	205,0	27,0	217	297
17	14,5	1,91	15,4	15,7	68	214,2	28,2	226	315
18	15,5	2,04	16,4	16,7	69	223,7	29,4	236	335
19	16,5	2,17	17,4	17,8	70	233,7	30,7	247	357
20	17,5	2,30	18,5	19,0	71	243,9	32,1	258	380
21	18,7	2,46	19,7	20,2	72	254,6	33,5	269	405
22	19,8	2,60	21,0	21,5	73	265,7	35,0	281	432
23	21,1	2,77	22,3	22,9	74	277,2	36,5	293	461
24	22,4	2,94	23,7	24,4	75	289,1	38,0	306	493
25	23,8	3,13	25,1	26,0	76	301,4	39,7	319	528
26	25,2	3,31	26,7	27,6	77	314,1	41,3	332	566
27	26,7	3,51	28,3	29,3	78	327,3	43,1	346	608
28	28,3	3,72	30,0	31,1	79	341,0	44,9	361	654
29	30,0	3,95	31,8	33,1	80	355,1	46,7	375	705
30	31,8	4,18	33,6	35,1	81	369,7	48,6	391	761
31	33,7	4,43	35,6	37,3	82	384,9	50,6	407	825
32	35,7	4,70	37,7	39,6	83	400,6	52,7	424	896
33	37,7	4,96	39,9	42,0	84	416,8	54,8	441	976
34	39,9	5,25	42,2	44,5	85	433,6	57,0	458	1 070
35	42,2	5,55	44,6	47,3	86	450,9	59,3	477	1 170
36	44,6	5,87	47,1	50,1	87	468,7	61,6	496	1 290
37	47,1	6,20	49,8	53,1	88	487,1	64,1	515	1 440
38	49,7	6,54	52,5	56,2	89	506,1	66,6	535	1 600
39	52,4	6,89	55,4	59,6	90	525,8	69,2	556	1 800
40	55,3	7,28	58,5	63,1	91	546,1	71,9	577	2 050
41	58,3	7,67	61,7	66,8	92	567,0	74,6	600	2 360
42	61,5	8,09	65,0	70,8	93	588,6	77,4	622	2 760
43	64,8	8,53	68,5	74,9	94	610,9	80,4	646	3 290
44	68,3	8,99	72,2	79,3	95	633,9	83,4	670	4 040
45	71,9	9,46	76,0	84,0	96	657,6	86,5	696	5 160
46	75,7	9,96	80,0	88,8	97	682,1	89,8	721	7 040
47	79,6	10,5	84,2	94,0	98	707,3	93,1	748	10 800
48	83,7	11,0	88,5	99,5	99	733,2	96,5	775	22 000
49	88,0	11,6	93,1	105	100	760,0	100,0	804	∞
50	92,5	12,2	97,8	111					

жают распылителями воды или заключают в рубашку, в которой проходит паровоздушная смесь, нагревающаяся и охлаждающая газ.

При охлаждении газа помимо влаги конденсируются также смолистые вещества и промывка газа вызывает выделение из него смолистых веществ и пыли.



160. Трубчатый холодильник

Охлаждение газа происходит также в газопроводах, особенно не футерованных. При этом следует предусматривать наклон газопровода и специальные места для стока конденсата (горшки, ямы), откуда он может быть удален (рис. 103).

Поверхностные холодильники

В поверхностных холодильниках охлаждение газа происходит за счет отдачи тепла газа через стенки трубок омывающим их воде или воздуху. На рис. 160 представлен подобный холодильник. В нем вода протекает по трубкам, а газ — снаружи. Обычно газ и вода текут в противоположных направлениях, и таким образом наиболее холодный газ встречает наиболее холодную воду, и наоборот, чем достигается лучшая теплоотдача (противоток). Так как теплопередача в поверхностных холодильниках происходит не непосредственным соприкосновением газа и воды, то эти охладители изготовляются больших размеров, требуется большая поверхность трубок и большой расход воды и кроме того чистка засаривающихся смолой трубок затруднительна. Достоинством этих холодильников является то, что смола, выделяющаяся в них, смешана только с небольшим количеством сконденсировавшейся из газа влаги и легко может быть удалена, а большое количество охлаждающей воды остается чистым.

Поверхностные холодильники выполняют с вертикальным и горизонтальным расположением труб.

Холодильники с вертикальными трубами дешевле и удобнее для чистки. Часто они разделяются в верхней части долевой перегородкой на два отделения. Вода поступает в одно из отделений, стекает

по трубам в двойное дно и поднимается по трубам во второе отделение.

В холодильниках с горизонтальными трубами обыкновенно имеются для отдельных групп труб соединительные камеры, через которые вода переходит из одного пучка труб в другой. Потребная поверхность охлаждения в этих холодильниках на 20—25% меньше, чем в холодильниках с вертикальными трубками вследствие лучших условий теплопередачи [73, 108, 113].

Диаметр труб в поверхностных вертикальных холодильниках [172] берут 50 *мм* в малых и 75 *мм* в больших; длину — равной 80-кратному диаметру. При высоте такого холодильника в 3 *м* и диаметре 750, 900, 1000, 1240, 1400, 1500 *мм* поверхность охлаждения составляет соответственно: 18,5; 30,5; 36,5; 54,0; 72 и 100 $м^2$ и добавочная поверхность на каждый метр высоты: 6,0; 9,9; 11,8; 17,6; 23,5 и 34,8 $м^2$. Отношение высоты к диаметру холодильника колеблется в пределах от 2 до 5.

Вследствие громоздкости поверхностные холодильники редко применяются в газогенераторных установках — преимущественно для очистки только части газа (швельгаза).

Холодильники, в которых тепло передается воздуху через трубки, в генераторных установках не применяются ввиду их громоздкости, связанной с малой величиной коэфициента теплопередачи от стенок к воздуху.

При заданных температурах входа и выхода газа и воды поверхность холодильника $F м^2$ может быть определена из выражения:

$$Q = kF\,\Delta t_m,$$

где Q — количество передаваемого тепла в *кал/час*,
k — коэфициент теплопередачи от газов к воде в *кал/м² час* °С,
Δt_m — средняя разность температур газа и охлаждающей воды в °С.

Для трубчатых холодильников количество передаваемого тепла часто выражается через длину труб L метров, а именно [73].

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i D_i} + \frac{2{,}303 \lg \frac{D_a}{D_i}}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_a D_a}} \cdot \pi L \Delta t_m,$$

где α_i — коэфициент теплоотдачи от газов к стенке в *кал/м² час* °С,
α_a — коэфициент теплоотдачи от воды к стенке в *кал/м² час* °С,
D_a — внешний диаметр труб в *м*,
D_i — внутренний диаметр труб в *м*,
λ — коэфиц. теплопроводности материала стенки в *кал/м час*° С.

В случаях прямотока и противотока, если в отдельных стадиях охлаждения температуры газа и воды в начале холодильника t_1 и t'_1 и температуры в конце холодильника t_2 и t'_2, то средняя разность температур равна:

$$\Delta t_m = \frac{(t_1 - t'_1) - (t_2 - t'_2)}{2{,}303 \lg \frac{t_1 - t'_1}{t_2 - t'_2}}.$$

В случае перекрестного потока средняя разность температур приближенно равна:

$$\Delta t_m = \frac{t_1 - t_0 + t_{2m} - t_{on}}{2},$$

где t_1 и t_0 — температуры входящих газа и воды,

t_{2m} и t_{on} — средние температуры выходящих газа и воды.

Если в подобных теплообменниках один поток движется зигзагообразно по отношению к другому, то пользуются формулами для противоточного теплообменника.

В общем случае процесс охлаждения газа в поверхностном холодильнике может протекать следующим образом:

1. Входящий газ, имеющий температуру выше точки росы, соприкасается со стенками, имеющими температуру также выше точки росы газа; теплоотдача происходит от газов к стенке конвекцией и лучеиспусканием и от труб к воде конвекцией.

2. Температура стенки понижается ниже точки росы газа, температура газа остается выше точки росы; преимущественное значение в теплоотдаче от газов к стенке начинает играть теплоотдача от конденсирующегося перегретого пара.

3. Температура газа понижается ниже точки росы; преимущественное значение в теплоотдаче от газов к стенке начинает играть теплоотдача конденсирующегося насыщенного водяного пара.

Ниже рассматриваются отдельные случаи теплопередачи.

В отношении оценки теплопередачи от воды к стенке трубы возможно пользоваться данными исследований В. Штендера [73]. Согласно этим исследованиям над железными и латунными трубками диаметром в 18 и 28 *мм*, решающее влияние на теплопередачу от воды к стенке трубки имеет температура воды, и теплопередача не зависит от диаметра трубки, материала, направления потока жидкости и теплового потока (от воды к стенке, и наоборот). В упрощенном виде выражение для коэфициента теплопередачи от воды к стенке α_1 по А. Шаку имеет следующий вид [73]:

$$\alpha_1 = 2900\, v^{0,85}(1 + 0{,}014\, t_в),$$

где v — скорость воды в *м/сек*,

$t_в$ — средняя температура воды в °С.

При скорости воды в 1,2 *м/сек* и средней температуре ее в 50°

$$\alpha_1 = 2900 \cdot 1{,}2^{0,85}(1 + 0{,}014 \cdot 50) = 5700 \text{ кал/м}^2 \text{ час °С}.$$

Коэфициент теплопередачи для конденсирующегося пара, не содержащего газа, α_2 может быть принят равным в пределах до 10 000 *кал/м² час* °С в зависимости от приспособления конструкции к отводу конденсата.

Согласно работам Нуссельта [73], коэфициент теплопередачи от насыщенного пара к вертикальной стенке или трубкам $\alpha_в$ *кал/м² час* °С, с высотой h метров при температуре пара t_d и стенки t_w, составляет:

$$\alpha_в = \frac{5\,800 + 23\,(t_d + t_w)}{\sqrt[4]{(t_d - t_w)}}.$$

Так средний коэфициент теплопередачи в вертикальной трубке высотой в 2 *м* при температуре пара 180° и стенки 120° составит:

$$\alpha_{в'} = \frac{5\,800 + 23 \cdot 300}{\sqrt[4]{2 \cdot 60}} = 3\,830 \text{ кал/м}^2 \text{ час °С}.$$

В случае горизонтальных труб условия стекания конденсата значительно лучше. Нуссельт [73] дает следующее соотношение коэфициентов $\alpha_в$ и $\alpha_г$ при вертикальных и горизонтальных трубках:

$$\frac{\alpha_г}{\alpha_в} = 0{,}770 \sqrt[4]{\frac{h}{d}},$$

где d — диаметр трубок в *м*,

h — их длина в *м*.

Из этого соотношения получаем, что

$$\alpha_г = \frac{4\,460 + 17{,}7\,(t_d + t_w)}{\sqrt[4]{d\,(t_d - t_w)}}.$$

Из соотношения коэфициентов при горизонтальных и вертикальных трубках видно, что коэфициент теплопередачи при горизонтальном положении меньше, чем при вертикальном, только для трубок, диаметр которых близок к длине или меньше таковой. Так как в обычных условиях длина труб значительно больше их диаметра, то и коэфициент теплопередачи для горизонтальных труб значительно больше, чем для вертикальных.

Для приведенного выше примера при диаметре труб в 36 *мм* получим:

$$\alpha_г = \frac{4\,460 + 17{,}7 \cdot 300}{\sqrt[4]{0{,}036 \cdot 60}} = 8\,000 \text{ кал/м}^2 \text{ час °С}.$$

Из приведенного следует, что более благоприятным положением труб при конденсации пара является горизонтальное, причем конденсация очевидно должна происходить снаружи, чтобы конденсат мог стекать.

Указанные выше коэфициенты относятся к случаю отсутствия неконденсирующихся газов в смеси с паром. Наличие такой примеси понижает коэфициент теплопередачи: при 10% неконденсирующихся газов коэфициент теплопередачи понизится на 10%, при 20% — на 20%, при 50% — на 75% и при 70% — на 85% [109].

Что касается работы той части теплообменников, в которых газ имеет температуру выше точки росы, то теплопередача в этой части в значительной мере зависит от того — выше или ниже точки росы температура стенки. В случае конденсации водяного пара у стенки происходит значительное повышение теплоотдачи. По опытам Якоба и Ерка [73] теплопередача при конденсации перегретого водяного пара больше теплоотдачи конденсирующегося насыщенного пара при том же давлении. Следовательно приведенными выше значениями коэфициентов теплоотдачи можно пользоваться с запасом.

В случае, если температура газов и охлаждающей воды высока и влагосодержание газов мало, может потребоваться большая площадь холодильника для понижения температуры газов настолько, чтобы началась конденсация водяного пара.

Для определения размера этой части холодильника можно руководствоваться следующими соображениями.

Коэфициент теплоотдачи от газов к стенке α в этом случае слагается из двух величин: коэфициента теплоотдачи конвекцией $\alpha_к$ и коэфициента теплоотдачи лучеиспусканием $\alpha_л$.

Коэфициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_к$ определится из выражений [73, 139]:

при ламинарном движении газов:

$$\alpha_к = \frac{1{,}9}{d^{0{,}58}} \text{ кал/м}^2 \text{ час °C};$$

при турбулентном движении:

$$\alpha_к = \frac{3w_0^{0{,}8}}{\sqrt[4]{d}},$$

где d — диаметр канала, по которому движутся газы, в $м$, при прямоугольном сечении,

$$d = \frac{4f}{U},$$

где f — площадь каналов для газов в $м^2$,
U — периметр каналов для газов в $м$,
w_0 — скорость газов, отнесенная к нормальным.

Коэфициент теплоотдачи лучеиспусканием имеет значительную величину при высоких температурах газов и при наличии в них углекислоты и водяного пара.

Излучение углекислоты и водяного пара зависит от величины

$$c = ps,$$

где p — парциальное давление CO_2 или H_2O в долях атмосферы,
s — толщина излучающего газового слоя в $м$.

Величины излучения могут быть определены по формулам, данным Шаком [73], [74] и представленным для удобства пользования в виде соответствующих диаграмм для абсолютно черного тела.

Практически величины, полученные по диаграммам, несколько больше действительных ввиду поглощения части тепла более холодными слоями газа, находящимися у труб, и взаимного поглощения излучения углекислоты и водяного пара.

Для определения величины $\alpha_л$ находят по диаграммам величину излучения для углекислоты при средней температуре газов — $q^г_{CO_2}$ $кал/м^2 час$ и при средней температуре стенки труб — $q^c_{CO_2}$ $кал/м^2 час$. Если коэфициент теплоотдачи углекислоты — $\alpha_л^{CO_2}$,

и изучения материала труб — c_1 и абсолютно черного тела — c, средние температуры газов — $t^г$ и стенки — t^c, то

$$\alpha_л^{CO_2} = \frac{c_1 (q^г_{CO_2} - q^c_{CO_2})}{c (t^г - t^c)}.$$

Аналогично для водяных паров получаем:

$$\alpha_л^{H_2O} = \frac{c_1 (q^г_{H_2O} - q^c_{H_2O})}{c (t^г - t^c)}.$$

$$\alpha_л = \alpha_л^{CO_2} + \alpha_л^{H_2O} \text{ и } \alpha = \alpha_к + \alpha_л.$$

Пример. Средняя температура газов—675°, стенки—300° (при воздушном охлождении); содержание углекислоты в газах — 10%, влаги — 9,4%; толщина газового потока между рядами труб — 65 *мм*; коэфициент излучения материала труб — 4 $кал/м^2 час$ $(°C)^4$ и абсолютно черного тела — 4,95 $кал/м^2 час$ $(°C)^4$; приведенный гидравлический диаметр газового канала — 0,121 *м*; скорость газов при 0°—1,42 *м/сек*.

Имеем:

Для CO_2: $ps = 0{,}1 \cdot 0{,}065 = 0{,}0065$.

Для H_2O: $ps = 0{,}094 \cdot 0{,}065 = 0{,}0061$.

По диаграмме Шака: для CO_2 $\begin{cases} q^{675}_{CO_2} — 2\,250 \text{ кал/м}^2 \text{ час} \\ q^{300}_{CO_2} — 250 \text{ » »} \end{cases}$

» » » » H_2O $\begin{cases} q^{675}_{H_2O} — 1\,000 \text{ » »} \\ q^{300}_{H_2O} — 200 \text{ » »} \end{cases}$

$$\alpha_л^{CO_2} = \frac{4(2\,250 - 250)}{4{,}95(675 - 300)} = 4{,}3 \text{ кал/м}^2 \text{ час}.$$

$$\alpha_л^{H_2O} = \frac{4(1\,000 - 250)}{4{,}95(675 - 300)} = 1{,}72 \text{ кал/м}^2 \text{ час}.$$

Учитывая частичное поглощение лучей H_2O слоем CO_2, берем $\alpha_л^{H_2O} = 1{,}45$ $кал/м^2 час$.

$$\alpha_л = \alpha_л^{CO_2} + \alpha_л^{H_2O} = 4{,}3 + 1{,}45 = 5{,}75 \text{ кал/м}^2 \text{ час °C}.$$

$$\alpha_к = \frac{3w^{0{,}8}}{\sqrt[4]{d}} = \frac{3 \cdot 1{,}42^{0{,}8}}{\sqrt[4]{0{,}121}} = 6{,}7 \text{ кал/м}^2 \text{ час °C}.$$

$$\alpha = \alpha_к + \alpha_л = 5{,}75 + 6{,}7 = 12{,}45 \text{ кал/м}^2 \text{ час °C}.$$

Скрубберы

Охладители с непосредственным соприкосновением газа и воды представляют собой прямоугольные или круглые (обычно круглые) башни, называемые скрубберами.

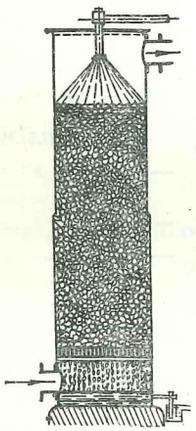
Скрубберы могут быть заполнены насадкой, они могут иметь разбрызгивающие поверхности или же в них вода может мелко распыливаться с помощью специальных распылителей.

Скрубберы представлены на рис. 113, 161, 162, 171, 172.

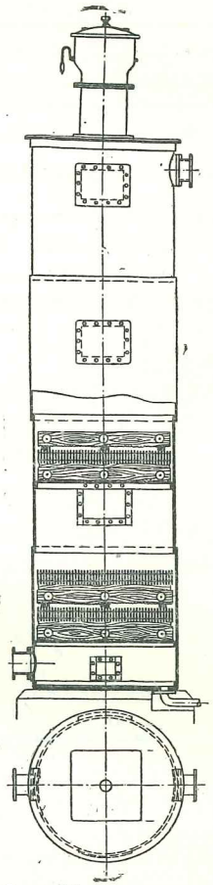
Газ входит в скруббер в нижней части, поднимается и выходит вверху. Промывающая вода течет сверху и специальным приспособлением распределяется по всему сечению. Собирающаяся в нижней части вода стекает снизу через гидравлический затвор.

Заполнение скрубберов

Скрубберы часто заполняют специальными, имеющими большую поверхность телами [102, 109]; причем образуется большая поверхность



161. Скруббер с насадкой



162. Скруббер с хордовой насадкой

соприкосновения между промывающей жидкостью и газами (рис. 161, 162). Этими телами являются кокс, кольца Рашига и т. п. Они быстро засоряются. Применяют в качестве насадок и деревянные решетки (хордовая насадка). Последние (рис. 162) набирают из деревянных прямоугольного сечения реек, обычно—толщиной в 12—25 *мм* и высотой в 100—120 *мм*, прокладывают между рейками пластинки и стягивают их болтами. Решетки кладут таким образом, чтобы одна решетка (один ряд) лежала перпендикулярно к другой и следовательно чтобы путь газа и поверхность орошения увеличивались. Иногда для увеличения поверхности орошения применяют рейки в виде треуголь-

Таблица 83

Размеры скрубберов с хордовой насадкой

Диаметр кожуха в *мм*	1 600	1 800	2 000	2 300	2 600	3 000
Толщина стен кожуха в *мм*	6	6	6—7	6—7	7—8	7—8
Толщина железа днищ в *мм*	10	10	10	12	12	12
Диаметр газовых штуцеров в *мм*	250 350	250 350	300 400	400 500	550 600	800—700—600
Диаметр штуцера для выпуска жидкости в *мм*	70	100	100	100	100	100
Промывная поверхность 1 ряда насадки в $м^2$	19,2	21,5	26,5	35	45	60
Вес 1 ряда насадки в *кг*	65,5	83,0	103,0	136,0	175,0	230,0

Высота скруббера в *мм*	Количество рядов насадки	Промывная поверхность в $м^2$					
6 300	30	576	645	—	—	—	—
6 800	33	633	709	—	—	—	—
7 300	36	691	774	—	—	—	—
7 300	37	—	—	—	—	—	—
7 800	39	749	838	—	—	—	—
7 800	40	—	—	—	—	—	—
8 700	41	—	881	—	—	—	—
10 100	49	—	—	1 298	—	—	—
10 100	50	—	1 075	—	—	—	—
11 600	53	—	—	—	1 855	—	—
11 600	58	—	—	1 537	—	—	—
11 600	59	—	1 268	—	—	—	—
13 100	62	—	—	—	2 170	—	—
—	64	—	—	1 696	—	—	—
—	65	—	1 397	—	—	—	—
14 400	68	—	—	—	—	3 060	—
—	71	—	—	—	2 485	—	—
—	72	—	—	1 908	—	—	—
—	73	—	1 569	—	—	—	—
17 400	86	—	—	—	—	—	5 160
—	87	—	—	—	—	3 195	—
—	90	—	—	—	—	—	—
—	91	—	—	—	3 150	—	—
20 200	98	—	—	2 411	—	—	5 880
—	99	—	—	—	—	4 455	—
—	102	—	—	—	3 570	—	—
—	117	—	—	—	—	—	7 020
23 200	118	—	—	—	—	5 310	—

Таблица 84

Данные о кольцах Рашига

Кольца	Высота кольца (в *мм*)	Внешний диаметр в *мм*)	Толщина стенок (в *мм*)	Вес 1 $м^3$ колец (в *кг*)	Поверхность, образуем. 1 $м^3$ заполнения кольцами (в $м^2$)
Из жести	15	15	0,5	650	345
» »	25	25	0,8	630	220
» чугуна	25	25	2,0	1 400	200
» »	50	50	3,0	1 100	110
» фарфора	15	15	2,0	660	336
» »	25	25	2,0	570	220
» »	35	35	3,0	500	162

ников со сторонами в 25 *мм*. Деревянные рейки снабжают зубчатыми вырезами в нижней части, чем достигается равномерное стекание воды по длине рейки.

Кольца Рашига, служащие для заполнения скрубберов, представляют собой керамические или из иного материала кольца — цилиндрики с высотой, приблизительно равной диаметру (30—60 *мм*). При этом соотношении высоты и диаметра кольца ложатся в полном беспорядке, и свободных проходов для газа не образуется. Каждое кольцо изменяет направление течения газа и жидкости, что в значительной мере увеличивает путь прохождения газа и воды, поверхность их соприкосновения и равномерность распределения по сечению.

С помощью кокса создается промывная поверхность площадью в 30 $м^2$ и более на 1 $м^3$ скруббера; особенно большая поверхность создается с помощью колец Рашига.

В табл. 83—84 приведены данные о поверхностях, создаваемых хордовой насадкой и кольцами Рашига [113].

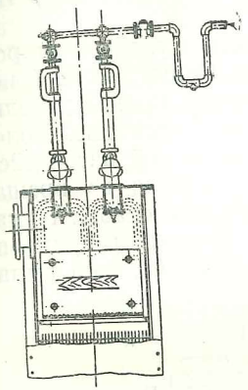
Распределительные приборы для воды

Конструкции распределителей воды вверху скруббера разнообразны. Они иногда представляют собой разбрызгивающие сопла, иногда стаканы или трубки, снабженные отверстиями (рис. 113), иногда приспособления с поверхностями, направляющими воду, иногда же вращающиеся, распределяющие воду приспособления. Возможно применение капельных приборов (рис. 163), в которых струя воды, падая с определенной высоты (не менее 1 *м*), ударяется о специальную поверхность и разбивается на мелкие брызги, орошающие насадку. Имеются конструкции (рис. 164), в которых распределительный прибор состоит из железных или деревянных корыт. Большое корыто снабжено на определенных равных расстояниях прорезями. Через последние вода выливается в меньшие корытца, расположенные под

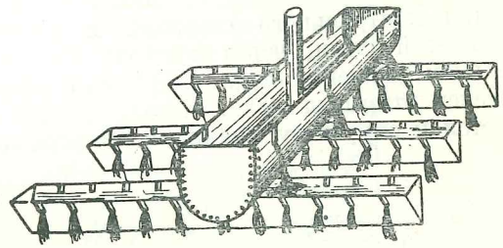
углом в 90° к главному корыту и приходящиеся под его отверстиями. Малые корытца имеют многочисленные отверстия, через которые вода выливается и орошает насадку [113].

Вода может впрыскиваться в скруббер и в мелкораспыленном виде. Для этой цели ее выпускают под давлением из специальных распылителей — пульверизаторов (см. ниже).

В холодильниках с распылителями мелко распыленная специальными пульверизаторами-увлажнителями вода омывает газ, а в холодильниках с насадкой вода стекает по насадке и разбивается на множество мелких струек, движущихся навстречу газу. Во всех этих холодильниках охлаждающая вода смешивается с конденсатом, смолой и пылью, и количество загрязненной воды сильно возрастает.



163. Капельный прибор



164. Распределительные корыта для воды

Отведение этой воды в реки допустимо лишь после очистки, весьма затруднительной. Обычно она циркулирует в системе, и только часть ее после соответствующей очистки удаляется из пределов станции. Улавливание в целях использования смолы в этом случае труднее, так как часть смолы теряется с водой, а уловленная является сильно обводненной.

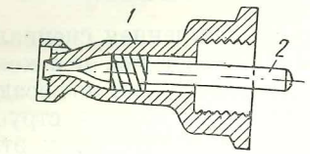
Распылители-пульверизаторы

Принцип действия распыливающего увлажнителя-пульверизатора заключается в том, что жидкость, подводимая в него под значительным давлением (около 3 *ат*), приобретает в нем вращательное движение, в результате которого она входит в распыливающее сопло в виде вращающихся и скручивающихся спиралей [110].

При выходе из сопла, вращающиеся струйки жидкости под действием центробежной силы разбиваются на мельчайшие частицы, величина которых зависит от количества пропускаемой жидкости и скорости ее выхода. На рис. 165 и 166 представлены подобные увлажнители.

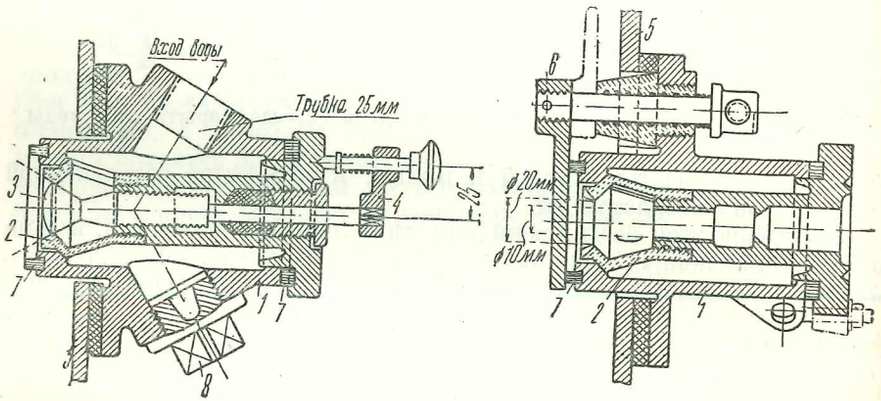
Распылитель Кертинга [110] (рис. 165) состоит из наконечника *1* и стержня *2*. На стержне сделана винтовая прямоугольная резьба,

которая, прилегая плотно к внутренней поверхности наконечника, образует винтовые ходы. Стержень на конце заострен , и его наружная поверхность соответствует внутреннему очертанию наконечника. Вода, проходя под давлением через винтовую нарезку, приобретает вращательное движение, распыляется благодаря центробежной силе в мельчайшие частицы и в завихренном состоянии в виде тумана выбрасывается из сопла. Наконечник имеет выходное отверстие в 1, 1,5 и 2 *мм*.



165. Форсунка Кертинга

К числу мощных пульверизаторов относится форсунка Спиридонова (рис. 166). В ней изменение производительности достигается регулированием положения центрального стержня, а следовательно и образующейся кольцевой щели, через которую вытекает находящаяся во вращательном движении вода. Стержень с внешней стороны снабжен указателем открытия щели. Металлический корпус форсунки прикрепляется к скрубберу фланцами. Внутренность форсунки легко вынимается из корпуса. Очистка форсунки возможна на ходу (закрывание выходного отверстия со стороны скруббера заглушкой) [1].

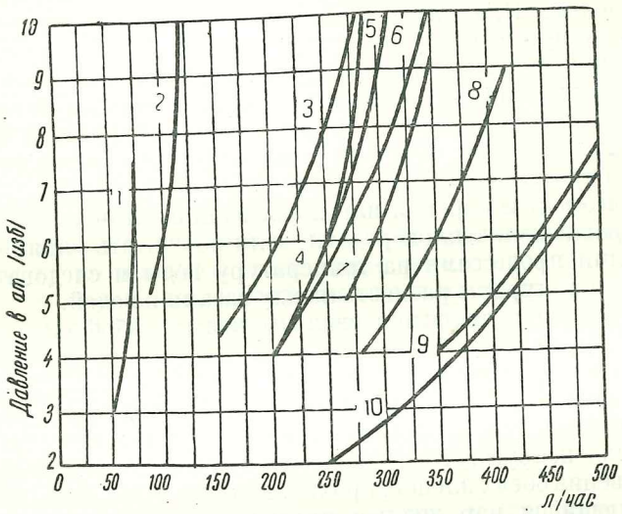


166. Форсунка Спиридонова:

1 — кожух, *2* — корпус, снабженный отверстием для входа воды, *3* — регулирующий стержень, *4* — указатель положения стержня, *5* — крышка скруббера, *6* — заглушка, *7* — резиновая прокладка, *8* — пробка

Форсунка Спиридонова испытывалась Ленинградским отделением Газогенераторстроя. При испытании определялись: зависимость расхода воды от величины напора и открытия щели, пределы регулировки расхода, дальнобойность струи, угол рассеяния струи, а также качество распыления. Исследование показало, что увеличение открытия щели свыше чем на 2 оборота стержня не увеличивает производительности. Дальнобойность струи зависит от напора, изменяясь при колебаниях напора от 5 до 36 *м* в пределах от 1 до 4,5 *м*. Наименьший напор, при котором форсунка в горизонтальном положении дает правильную и равномерную коническую струю, составляет примерно 15—20 *м*. При меньших напорах вытекающая струя имеет неправильную форму, длину в 2—2,5 *м* и состоит из крупных капель. При давлениях больше 15—20 *м* длина струи колеблется в пределах 2,5—4,5 *м*, причем с увеличением напора степень распыления увеличивается. При давлении в 30 *м* на расстоянии 1 *м* от выходного отверстия диаметр капель не превосходил 0,25 *мм*. При давлении выше 20 *м* форсунка имела производительность до 4 $м^3$ воды в час, лимитировавшуюся размером канала для воды в теле форсунки. Производительность может быть значительно увеличена путем увеличения размеров тела этого канала или количества каналов.

[1] Сконструирована М. Спиридоновым для работы на известковом растворе, при котором обычные форсунки неудобны ввиду быстрого засорения и трудности очистки.



167. Диаграмма зависимости производительности пульверизатора на воде от давления воды и типа форсунок:

1 —«Соеп» малой производительности и Трейера, *d* сопла — 0,8 *мм*; *2* — Григорьева, *d* сопла — 1,5 *мм*; *3* — Верморели, *d* сопла — 1,8 *мм*; *4* — Григорьева, *d* сопла—2,5 *мм*; *5*—«Соеп» высшей производительности; *6* — винтовой Варганова (сталь), *d* сопла—3,5 *мм*; *7* — винтовой Варганова (бронза), *d* сопла—3,5 *мм*; *8* — Бабкок-Вилькокс, *d* сопла—3,5 *мм*; *9* — Бабкок-Вилькокс, *d* сопла — $3^5/_8$ *мм*; *10* — Григорьева, *d* сопла — $3^5/_8$ *мм*

Зависимость производительности (110) пульверизаторов по воде от их типа и давления воды приведена на диаграмме рис. 167. При

необходимости распыления большого количества воды применяют несколько распылителей.

Размер капель воды зависит от давления воды, а также от конструкции разбрызгивающего приспособления. Диаметр капель d составляет примерно 0,1—1 *мм*.

Протекание процесса охлаждения газа и расход воды в скруббере

В скруббере происходит отдача тепла от газов к воде теплопередачей на поверхности соприкосновения газов и воды [102, 109, 111]. Если температура газа выше точки росы, отдача тепла идет преимущественно за счет испарения воды в газ — до достижения газом состояния насыщения. При дальнейшем охлаждении происходит осушка газа, идущая путем диффузии водяных паров к воде и охлаждения газа благодаря отдаче тепла теплопроводностью.

Размеры аппарата для осушки газа можно определить, или пользуясь учетом перехода тепла от газа к воде теплопередачей на поверхности соприкосновения, или учитывая диффузию водяного пара из газа и поверхности воды.

Тепловой эффект испарения или конденсации водяного пара не учитывается уравнением теплопередачи, если не считать влияния, оказываемого этими процессами на температуру воды и следовательно на среднюю температурную разность между газами и водой.

Теплопередача и диффузия связаны между собой определенными соотношениями, и скрубберы могут быть рассчитаны на основе учета любого из этих процессов.

При осушке газа тепло проникает в глубь жидкости. Физическое тепло, отдаваемое газом, проходит пленки газа и жидкости, скрытое же тепло конденсирующегося пара, освобождающееся на поверхности соприкосновения обеих пленок, проходит только через жидкую пленку. Конденсирующийся пар должен продиффундировать через газовую пленку, и в пленке должна установиться разность парциальных давлений, достаточная, чтобы вызвать эту диффузию.

Расход охлаждающей воды G_{ox} *кг/час* определяется из теплового баланса охладителя. Если обозначить: Q_1 и Q_2 — теплосодержание часового количества соответственно входящего и выходящего газа, t_1 и t_2 — соответственно температуру входящей и выходящей охлаждающей воды, $G_к$ — вес конденсата, то расход охлаждающей воды G_{ox} *кг/час* можно определить, пренебрегая потерей в окружающую среду[1], из выражения:

$$Q_1 - Q_2 = G_{ox}(t_2 - t_1) + G_к t_2.$$

Пренебрегая обычно незначительной величиной $G_к t_2$, получаем расход охлаждающей воды:

$$G_{ox} = \frac{Q_1 - Q_2}{t_2 - t_1}$$

[1] Потеря в окружающую среду скрубберами может быть определена или при помощи обычных формул теплопередачи или по данным Гаусбранда [112].

Q_1 и Q_2 учитывают полное теплосодержание газа, т. е. слагаются из теплосодержания сухого газа и теплосодержания влаги газа, включая тепло конденсации.

Если в охладителе температура газа не снижается ниже точки росы для температуры входа, то происходит не конденсация из него влаги, а испарение части охлаждающей воды. Частью a испаренной охлаждающей воды при расчетах обычно задаются. Количество охлаждающей воды определяют из балансового выражения:

$$Q_1 + G_{ox} \cdot t_1 = Q_2'' + G_{ox}(1 - a)\, t_2,$$

откуда

$$G_{ox} = \frac{Q_1 - Q_2}{(1 - a)\, t_2 - t_1}.$$

Величина Q_2 учитывает также теплосодержание испаренной воды.

Охлаждение газа при соприкосновении его с водой идет в двух стадиях: в первой стадии, когда газ не насыщен парами воды, происходит отдача газом тепла преимущественно за счет испарения влаги, во второй стадии, когда газ насыщен парами воды, отдача тепла идет от насыщенного парами воды газа к воде.

Если принять, что, пока газ не насыщен водяными парами, температура воды не поднимается и все тепло расходуется на испарение, то температура газа t_x, до которой протекает процесс в первой стадии от начальной температуры газа t_1, определится из равенства:

$$(Vc + g_1 c_1)(t_1 - t_x) = g_2[r + c_2(t_x - t_w)],$$

где V — объем сухого газа в $м^3$ (0°, 760 *мм*),
c — средняя теплоемкость 1 $м^3$ газа,
g_1 — влагосодержание газа в *кг*,
c_1 — средняя теплоемкость водяного пара в интервале температур $t_1 - t_x$ в *кал/кг*,
c_2 — средняя теплоемкость водяного пара в интервале температур $t_x - t_w$ в *кал/кг*,
g_2 — количество испарившейся воды в *кг*,
r — теплота испарения водяного пара при температуре t_w нагретой воды в *кал/кг*.

Задаваясь различными значениями температуры t_x, можно определить влагосодержание, соответствующее этой температуре.

Нагретая в холодильниках вода, пройдя очистку, или удаляется за пределы завода или охлаждается за счет испарения части воды на градирне или в брызгальном приспособлении и вновь возвращается в холодильник. Во избежание замерзания воды в бассейнах или на градирнях предусматривается возможность ступенчатого ввода градирен или брызгал и полного их обхода.

Бассейны с брызгалами применяются редко, ввиду загрязнения нижних слоев атмосферы выделяющимися газами и парами. Следует отметить имеющее место загрязнение атмосферы и при градирнях, во

избежание какового иногда предусматривают охлаждение промывных вод в поверхностных трубчатых холодильниках.

Нагретую воду в некоторых случаях используют для увлажнения первичного воздуха (см. гл. IV).

Для уменьшения механического уноса капелек воды из скрубберов в них выше смачиваемых водой секций насадки иногда предусматривают дополнительную секцию, удерживающую капельки воды. Для этой же цели устанавливают у газоотводных штуцеров листы, отклоняющие газ, или же располагают разбрызгивающие воду приспособления значительно ниже указанных штуцеров.

Скрубберы с насадкой

Скрубберы с насадкой служат как для охлаждения, так и для очистки газа от пыли. Они имеют преимущественное распространение в генераторных установках, хорошо справляются в обычных случаях со своей задачей и не требуют подачи охлаждающей воды под значительным давлением.

Недостатком этих скрубберов является их значительное сопротивление, возрастающее по мере загрязнения скруббера и вызывающее необходимость в их выключении для чистки.

В случае скруббера с хордовой насадкой поверхность последней определяется из выражения:

$$F = \frac{Q}{\Delta t k},$$

где F — поверхность насадки в $м^2$,

Q — количество тепла, отнимаемого от газа, в *кал/час*,

Δt — средняя разность температур в °С,

k — коэфициент теплопередачи *кал/м²час* °С.

При наличии в скрубберс насадки коэфициент теплопередачи от газов к насадке в первой стадии — ненасыщенного влагой газа — колеблется в пределах 9—15 *кал/м²час* °С [0]).

Для башни, насаженной коксом или другим кусковым материалом с размером зерен до 7 *см*, по данным Уитман-Кейтса [102, 109], имеем эмпирическую формулу, выражающую количество тепла, передаваемого на 1 $м^3$ рабочего пространства башни.

$$K = 1\,150 + 2V \ кал/м^3час \ °С,$$

где V — количество сухого газа в $м^3/час$, проходящее через 1 $м^2$ поперечного сечения скруббера.

Для башен с досчатой и реечной насадкой количество тепла, передаваемое на 1 $м^3$ рабочего пространства камеры, составляет по Робинзону [109, 11]:

$$K_1 = 0{,}08V \ кал/м^3 \ час \ °С,$$

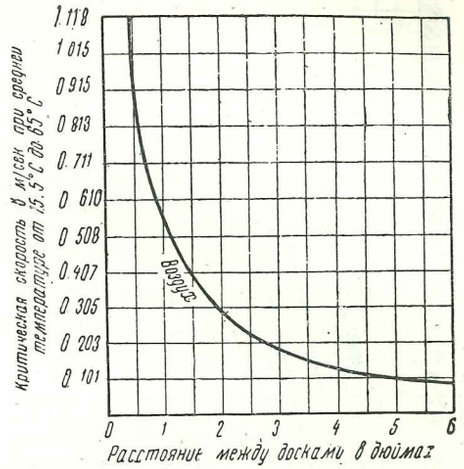
где V—объем газа при действительной температуре в $м^3/час\ м^2$.

K_1—колеблется в пределах 300—1000.

Для газов, насыщенных водяным паром, коэфициент теплопередачи больше и меняется в значительных пределах в зависимости от начальной температуры и скорости газа в аппарате. При усиленном орошении теплопередача возрастает, при низких скоростях и низких начальных температурах падает.

Увеличение количества орошающей воды имеет свой максимум, выше которого наступает переполнение (движение струями), вызывающее уменьшение конденсирующей и охлаждающей поверхности.

Максимум соответствует 7,5 *л/мин* на 1 *пог. м* ребра насадки при ширине промежутков между досками в 1,25 *см* и 10 *л/мин* при расстоянии в 2,5 *см* [102].



168. Зависимость критических скоростей от расстояния между досками насадки скруббера для газа при средней температуре 15,5—65°

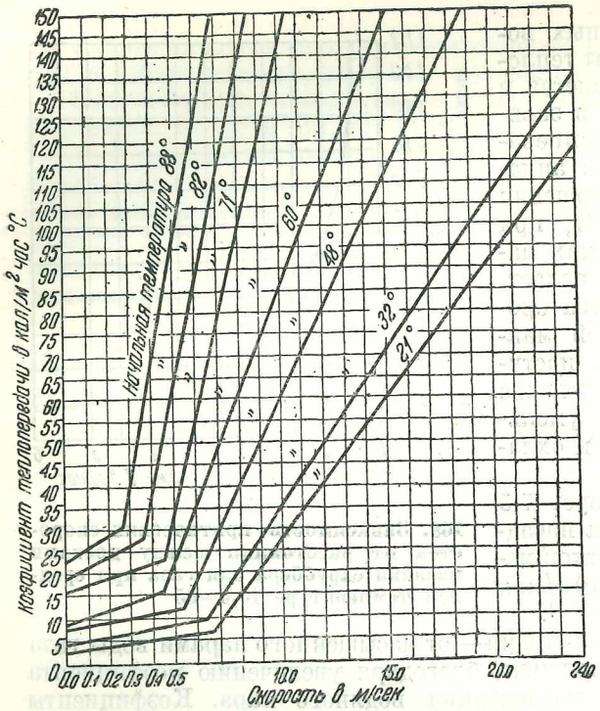
Отдача тепла во второй стадии — от насыщенного парами воды газа к воде — происходит интенсивно благодаря увеличению коэфициента теплопередачи за счет конденсации водяного пара. Коэфициенты теплопередачи для этого случая были определены Розенбаугом и приведены на диаграммах рис. 168, 169 и 170 [111].

Из опытов следует, что коэфициент теплопередачи в значительной степени зависит от скорости газа, температуры входящего газа и в некоторых пределах — от количества орошения.

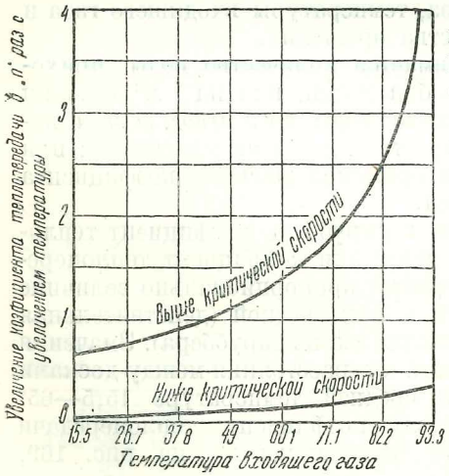
Под количеством орошения понимается количество воды, приходящейся на 1 *пог. м* орошаемого ребра доски, или на 1 $м^2$ сечения скруббера. При увеличении количества воды до 2 *л/пог. м мин* коэфициент теплопередачи быстро возрастает, достигая максимума; при дальнейшем увеличении количества орошения значение коэфициента теплопередачи медленно понижается.

При ламинарном движении газа в скруббере коэфициент теплопередачи низок. При турбулентном движении коэфициент теплопередачи значительно выше, причем он растет пропорционально величине отношения действительной скорости к критической (действительная скорость отнесена к температуре выхода газа из скруббера). Значения критических скоростей в зависимости от расстояния между досками насадки скруббера для газа при средней температуре 15,5—65° приведены на рис. 168; влияние на коэфициент теплопередачи изменения температуры входящего газа показано на рис. 169, 170 [109, 111].

Диаграммы приведены для случая температуры выхода газа, равной 15°, 5 С, тогда как обычная температура выходящего газа 25—30°. Так как с увеличением температуры выходящего газа значения ко-



169. Зависимость коэфициента теплопередачи от температуры и скорости входящего насыщенного водяными парами газа



170. Увеличение коэфициента теплопередачи относительно критических скоростей в зависимости от температуры входящего газа

эфициента теплопередачи возрастают, диаграммы дают таковые с запасом.

Произведенные Пейсаховым и Сосновским [111] расчеты скрубберов с хордовой насадкой для количеств газа от 140 000 до 80 000 *м³/сутки* при влагосодержании от 80 до 400 *г/м³*, температуре входящего газа от 600 до 85°, перепаде температур воды от 20 до 40°, средней скорости газа от 0,7 до 2 *м/сек* и постоянной температуре выходящего газа в 25° — указывают на следующее: при уменьшении количества орошения возрастают объем и высота насадки; с увеличением количества газа при неизменных температуре и скорости и различных влагосодержаниях возрастают объем и высота насадки; с уменьшением скорости газа до достижения критической скорости объем насадки увеличивается медленно, высота насадки остается почти постоянной; по достижении критической скорости объем и высота насадки увеличиваются резко; при большом влагосодержании и низких температурах газа объем и высота насадки быстро возрастают; при малом влагосодержании и высоких температурах газа с повышением температуры, также как и при средних температуре и влагосодержании, объем и высота насадки мало изменяются.

Ниже приведен пример расчета

скруббера с хордовой насадкой из досок на ребро размером 2,5×10 *см* и с промежутками в 2,5 *см*.

Пример. Часовое количество сухого газа — 2170 *м³/час*. Влаги на 1 *м³* сухого газа — 0,37 *кг*. Температура газа — 140°; он охлаждается до 35°. Начальная температура охлаждающей воды — 15°, конечная — 40°. Диаметр скруббера — 1,7 *м*.

Часовое количество влаги в сыром газе:

$$2\,170 \cdot 0{,}37 = 803 \ кг.$$

Теплосодержание сырого газа при теплоемкости сухой части, равной 0,32:

$$0{,}32 \cdot 2\,170 \cdot 140 + 803\,(594{,}7 + 0{,}477 \cdot 140) = 97\,200 + 530\,000 = 627\,200 \ кал.$$

Часовое количество влаги в осушенном газе (см. табл. 82):

$$2\,170 \cdot 0{,}0473 = 103 \ кг.$$

Теплосодержание осушенного газа при теплоемкости сухой части газа, равной 0,31:

$$0{,}31 \cdot 2\,170 \cdot 35 + 612 \cdot 103 = 23\,500 + 63\,000 = 86\,500 \ кал.$$

Тепло, отданное в скруббере:

$$627\,200 - 86\,500 = 540\,700 \ кал.$$

Теплом, потерянным скруббером в окружающую среду и уносимым конденсатом, пренебрегаем.

Количество охлаждающей воды:

$$\frac{540\,700}{40 - 15} = 21\,600 \ кг/час.$$

Принимая, что в нижней части скруббера происходит испарение воды без повышения ее температуры, определим температуру газа к концу первой стадии из равенства:

$$(vc + g_1c_1)(t_1 - t_x) = g_2[r + c_2(t_x - t_w)],$$

откуда

$$t_x = 71^\circ \text{ и } g_2 = 9{,}4 \ кг.$$

Поверхность 1 *м³* насадки приближенно равна:

$$\frac{(0{,}5 \cdot 0{,}025 + 0{,}1) \cdot 2 \cdot 1}{2 \cdot 0{,}025 \cdot 0{,}1 \cdot 1} = 45 \ м^2.$$

Количество тепла, отдаваемого газом в первой стадии:

$$(0{,}32 \cdot 2\,170 + 0{,}465 \cdot 803)\ (140 - 71) = 75\,000 \ кал.$$

Средняя температура газа в первой стадии:

$$\frac{140 - 71}{2{,}3 \lg \frac{140}{71}} = 101^\circ.$$

Средний объем газа в первой стадии:

$$\frac{\left(2\,170+\frac{803+812{,}4}{2\cdot 0{,}804}\right)(273+101)}{273}=4\,350\ м^3.$$

На 1 $м^2$ свободного сечения скруббера приходится:

$$\frac{4\,350\cdot 4\cdot 2}{3{,}14\cdot 1{,}7\cdot 1{,}7}=3\,830\ м^3.$$

Имеем для процесса в первой стадии охлаждения (см. выше):

$$K_1=0{,}08\cdot 3\,830=307\ кал/м^3\,час.$$

Средняя разность температур между газом и водой при противотоке:

$$\frac{(140-40)-(71-40)}{2{,}3\lg\frac{140-40}{71-40}}=58°.$$

Объем скруббера, потребный для первой стадии охлаждения:

$$\frac{75\,000}{58\cdot 307}=4{,}2\ м^3.$$

Количество тепла, отдаваемого газом во второй стадии, соответствует всему количеству тепла — 540 700 *кал*.

Часовой объем газа при температуре выхода газа:

$$\frac{\left(2\,170+\frac{103}{0{,}804}\right)(273+35)}{273}=2\,590\ м^3.$$

Действительная скорость газа при выходе из скруббера:

$$\frac{2\,590\cdot 4\cdot 2}{3\,600\cdot 1{,}7\cdot 1{,}7\cdot 3{,}14}=0{,}64\ м/сек.$$

Согласно диаграмме (рис. 168), для рассматриваемого случая критическая скорость газа при расстоянии между досками в 1″ равна 0,54 *м/сек*. При скорости в 0,54 *м/сек*, согласно диаграмме рис. 169, коэфициент теплопередачи от насыщенного водяными парами газа к воде равен 38 *кал/м² час* °С.

Превышение скорости газа сравнительно с критической отразится на теплопередаче коэфициентом:

$$0{,}64:0{,}54=1{,}19,$$

а с поправкой, согласно диаграмме рис. 169, в виде коэфициента 1,8, учитывающего температуру входа газа, коэфициент теплопередачи составит:

$$K=1{,}19\cdot 38\cdot 1{,}8=81\ кал/м^2\,час\ °С.$$

Количество орошения при длине орошаемых ребер в сечении скруббера, равном:

$$\frac{3{,}14\cdot 1{,}7^2\cdot 2}{4\cdot 2\cdot 0{,}025}=91\ м,$$

составляет:

$$\frac{21\,600}{91\cdot 60}=4{,}0\ л/пог.\ м\ мин.$$

Влияние количества орошения на коэфициент теплопередачи незначительно, так как оно несколько превышает оптимальное (2 *л/м мин*; см. выше).

Ввиду того что в основном передаваемое тепло состоит из тепла конденсации влаги, не пропорционального изменению температур, среднюю температуру газа определяем по его среднему теплосодержанию. Теплосодержание 1 $м^3$ сухого газа и насыщающей его влаги при 71° составляет 265 *кал* и при 35°— 40 *кал*. Среднее теплосодержание составляет 119 *кал/м³*, что соответствует газу, насыщенному водяным паром при температуре 55°. Средняя температура воды — 26°. Разность средних температур газа и воды:

$$55-26=29°.$$

Объем скруббера, необходимый для охлаждения газа во второй стадии:

$$\frac{540\,700}{45\cdot 29\cdot 81}=5{,}1\ м^3.$$

Полезный объем скруббера:

$$4{,}2+5{,}1=9{,}3\ м^3,$$

что при выбранном диаметре в 1,7 *м* дает следующую рабочую высоту насадки:

$$\frac{9{,}3\cdot 4}{3{,}14\cdot 1{,}7^2}=4{,}2\ м.$$

Скрубберы с пульверизаторами-форсунками

Скрубберы без заполнения все более и более внедряются в газогенераторных установках, что связано с простотой их оборудования и чрезвычайно малым сопротивлением прохождению газов. При достаточно тонком распылении поверхность соприкосновения газов и воды очень велика, составляя до 100 $м^2$ и больше на 1 $м^3$ полезной емкости скруббера. Преимущественное применение эти скрубберы могут иметь в тех случаях, когда не предъявляется особых требований к очистке газа от пыли, так как отсутствие шероховатых поверхностей насадки должно препятствовать удалению мелкой пыли. С задачей охлаждения газа скрубберы без заполнения справляются хорошо, и они устанавливаются как для частичного предварительного охлаждения газа до смолоотделительных приспособлений, так и для окончательного охлаждения газа.

Помимо худшей очистки газа от пыли скрубберы без заполнения имеют недостаток, заключающийся в необходимости подачи воды к форсункам под значительным давлением.

Степень распыления воды ограничивается, с одной стороны, расходом энергии на процесс распыления, а с другой — уносом мелких капель воды с газом. Скорость газа ограничивается уносом капель, сопротивлением скруббера и требуемой степенью очистки газа.

В скрубберах необходимо бороться с укрупнением капель влаги, что достигается путем снабжения скруббера распылителями в нескольких местах по высоте скруббера, причем расположенными в нижней части скруббера увлажнителями направляют струю снизу вверх. Иногда струи направляют горизонтально.

Падающая сверху капля воды набирает скорость до тех пор, пока сопротивление, оказываемое газовой средой, не будет равно ее весу, после чего капля продолжает падать с постоянной относительной скоростью, определяемой по формуле [112]:

$$v = \sqrt{\frac{2gG}{\varphi \cdot \gamma \cdot F}},$$

где v — относительная скорость капли в *м/сек*,

G — вес капли в *кг*,

g — 9,81 *м/сек*^{2},

γ — вес 1 *м*^{3} газа в *кг*,

F — поперечное сечение капли в *м*^{2},

φ — опытный коэфициент, равный 0,5 для шара.

Подставляя вместо g — 9,81, вместо G — $\frac{\pi d^3}{6} \cdot 1000$, вместо φ — 0,5 и вместо F — $\frac{\pi d^2}{4}$, получим:

$$v = 162\sqrt{\frac{d}{\gamma}} \text{ м/сек}.$$

Когда силы, действующие на каплю, распределены равномерно, она принимает шарообразную форму, в случае же одностороннего действия потока газа, как это имеет место в скрубберах, капля сплющивается и диаметр ее возрастает, что увеличивает давление на каплю. По этой причине взамен принимаемой Гаусбрандом для диаметра капли в пределах 0,25 — 10 *мм* величины $\varphi = 0{,}3$ нами принято $\varphi = 0{,}5$.

Точных данных для значений коэфициентов теплопередачи от газа к каплям воды нет. По Юргесу [73] коэфициент теплопередачи конвекцией от плоской гладкой поверхности к воздуху, движущемуся со скоростью v, составляет при скорости меньшей 5 *м/сек* — $4{,}8+3{,}4\ v$ и при скорости большей 5 *м/сек* — $6{,}12\ v^{0{,}78}$.

Коэфициент теплопередачи от газа к воде в первой стадии может быть определен приближенно и по формуле:

$$\sqrt{v},$$

где v — относительная скорость падения капли в газе в *м/сек*.

Объем скруббера V_1, необходимый для охлаждения газа до температуры насыщения, определится формулой

$$V_1 = \frac{Q}{k\,\Delta t f},$$

где все обозначения те же, что и раньше, а f представляет собой поверхность в *м*^{2} капель, содержащихся в 1 *м*^{3} скруббера.

Процесс, происходящий во второй стадии, можно рассматривать как процесс диффузии водяного пара через пленку насыщенного газа к поверхности капель. Объем скруббера в этой стадии — V_2 может быть определен по формуле:

$$V_2 = \frac{G}{k_\partial\,\Delta p f},$$

где G — количество водяного пара, сконденсированного во второй фазе в *кг*,

Δp — средняя разность давлений водяного пара при соответствующих температурах над водой и в газе в *мм* рт. ст.,

k_∂ — коэфициент диффузии водяного пара в *кг/м*^{2} *час* при разности давлений в 1 *мм* рт. ст.,

f — поверхность, образованная каплями в 1 *м*^{3} скруббера, в *м*^{2}.

Коэфициент диффузии может быть определен по Глинчлею и Каррриеру, дающим для движущегося воздуха следующее выражение:

$$k_\partial = 0{,}055\left(1 + v\,\frac{60}{69}\right) \text{ кг/м}^2\text{час мм рт. ст.} \ [109, 111].$$

Ниже приведен пример расчета высоты скруббера, снабженного пульверизаторами-увлажнителями для тех же данных, что и в предыдущем примере.

Пример. Средняя температура газа в первой стадии — 101°; конечное влагосодержание — 812,4 *кг/час*; средний объем влажного газа — 1,2 *м*^{3}/*сек* (101°, 760 *мм*); средняя скорость газа — 0,53 *м/сек*; объемный вес газа при 101° — 0,8 *кг/м*^{3}; количество орошающей воды — 6 *л/сек*; плотность орошения — 2,64 *л/м*^{2} *сек*; диаметр капли — 1 *мм*.

Относительная скорость падения капли:

$$v = 162\sqrt{\frac{0{,}001}{0{,}8}} = 5{,}7 \text{ м/сек}.$$

Действительная скорость падения капли:

$$5{,}7 - 0{,}53 = 5{,}17 \text{ м/сек}.$$

Время падения капли с высоты 1 *м*:

$$1 : 5{,}17 = 0{,}194 \text{ сек}.$$

Число капель в 1 *л* воды:

$$\frac{10^{-3} \cdot 6}{3{,}14 \cdot 1^{-9}} = 1{,}91 \cdot 10^6.$$

Поверхность капель, полученных из 1 *л* воды:

$$3{,}14 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}91 \cdot 10^{6} = 6 \ м^2.$$

Поверхность капель в 1 $м^3$ объема скруббера:

$$6 \cdot 2{,}64 \cdot 0{,}194 = 3{,}1 \ м^2.$$

Коэфициент теплопередачи в первой стадии:

$$2 + 10\sqrt{5{,}7} = 26 \ кал/м^2 \ час \ °C.$$

Средняя разность температур газа и воды — 58°.

Количество тепла, отдаваемого сырым газом в первой стадии:

$$(0{,}32 \cdot 2170 + 0{,}465 \cdot 803)(140 - 71) = 75\,000 \ кал.$$

Объем части скруббера, необходимый для первой стадии процесса:

$$V_1 = \frac{75\,000}{26 \cdot 58 \cdot 3{,}1} = 16 \ м^3.$$

Температурам насыщенного водяного пара соответствуют, согласно табл. 82, давления:

71° — 243,9 *мм*
35° — 42,2 »
15° — 12,8 »
40° — 55,3 »

Средняя разность упругостей водяного пара во второй стадии:

$$\Delta p = \frac{(243{,}9 - 55{,}3) - (42{,}2 - 12{,}8)}{2{,}3 \lg \frac{243{,}9 - 55{,}3}{42{,}2 - 12{,}8}} = 85 \ мм \text{ рт. ст.}$$

Среднее теплосодержание газа во второй стадии соответствует температуре газа, равной 55°, и весу его, равному 0,9 $кг/м^3$.

Относительная скорость падения капли:

$$w = 162\sqrt{\frac{0{,}001}{0{,}9}} = 5{,}4 \ м/сек.$$

Действительная скорость падения капли:

$$5{,}4 - 0{,}53 = 4{,}87 \ м/сек.$$

Время падения капли с высоты 1 *м*:

$$1 : 4{,}87 = 0{,}205 \ сек.$$

Поверхность капель в 1 $м^3$ скруббера во второй стадии:

$$6 \cdot 2{,}64 \cdot 0{,}205 = 3{,}25 \ м^2$$

Коэфициент диффузии равен:

$$0{,}055\left(1 + 5{,}4\frac{60}{69}\right) = 0{,}314.$$

Необходимый объем скруббера во второй стадии:

$$V_2 = \frac{812{,}4 - 103}{0{,}314 \cdot 85 \cdot 3{,}25} = 8{,}2 \ м^3.$$

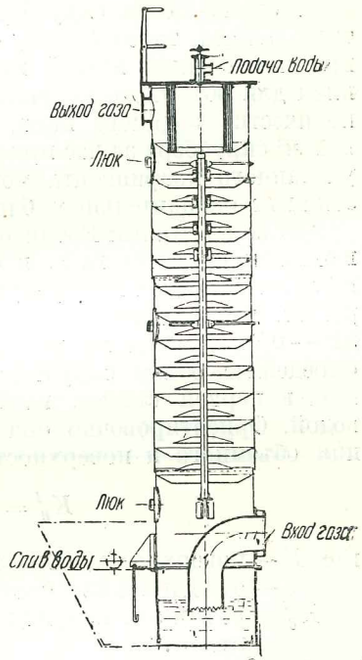
Полный потребный объем скруббера:

$$8{,}2 + 16{,}8 = 25 \ м^2.$$

При диаметре в 1,7 $м^2$ скруббер должен иметь рабочую высоту:

$$\frac{25 \cdot 4}{3{,}14 \cdot 1{,}7 \cdot 1{,}7} = 11 \ м.$$

Расчеты скрубберов с распылителями, произведенные Пейсаховым и Сосновским [111] для количества газа в сутки 80 000—140 000 $м^3$ при начальных влагосодержаниях от 80 до 400 $г/м^3$, температуре от 600 до 80°, перепаде температур воды от 20 до 40°, средней скорости газа от 0,5 до 1,5 *м/сек*, диаметре капли от 0,25 до 1 *мм* и постоянной температуре выходящего газа, равной 25°, указали на следующее. С увеличением количества газа объем, высота и диаметр скруббера увеличиваются; при увеличении температуры входящего газа при малом его влагосодержании объем и высота скруббера почти не изменяются; при большом влагосодержании, близком к насыщению, объем скруббера с увеличением температуры быстро увеличивается до некоторой температуры, оставаясь в дальнейшем почти неизменным; с уменьшением скорости газа объем, высота и сечение скруббера резко увеличиваются, что объясняется уменьшением плотности орошения, а следовательно уменьшением и поверхности капель в 1 $м^3$ скруббера; с увеличением орошения резко уменьшаются объем и высота скруббера, что объясняется увеличением поверхности капель в 1 $м^3$ скруббера; с уменьшением размера капель размер скруббера сильно уменьшается.



171. Холодильник Лимна

Каскадные холодильники

К числу холодильников со смешением газа и воды относятся также каскадные холодильники с перегородками (рис. 113, 171). В них газ проходит последовательно несколько отделений, меняя свое на-

правление и промываясь водой, стекающей с одной перегородки на другую [111,117].

На рис. 171 представлен холодильник Лимна. Он состоит из цилиндрического железного кожуха. Внутри холодильника к расположенному по оси стержню прикреплены конуса и к кожуху — конические кольца. Стекая с конуса и колец, вода образует ряд водяных завес, через которые проходит газ, многократно меняя свое направление.

В случае, если скруббер предназначен для установки водяного газа (рис. 171), он снабжается в нижней части изогнутой трубой, погруженной в воду и образующей водяной затвор (барботер), пропускающий газ только в период парового дутья.

Представленный на рис. 113 холодильник работает аналогично и также комбинируется с гидравлическим затвором (см. гл. III).

В случае, если скруббер выполнен в виде аппарата каскадного типа (Лимн, тарельчатый скруббер), для определения объема его при насыщенном влагой газе можно воспользоваться [111] выражением для объемного коэфициента диффузии, под которым понимается количество водяного пара, диффундирующего к поверхности воды в 1 $м^3$ скруббера за час при разности давлений в 1 *мм* рт. ст. Значения указанного коэфициента могут быть определены по данным Робинзона для охладительных башен типа Уиллера, Бальке, Бэджера и др.

Согласно данным Робинзона, коэфициент диффузии прямо пропорционален скорости газа, и среднее значение его при скорости газа в 1 *м/сек* и средней температуре газа 27° равно 0,7 *кг* воды на 1 $м^3$/*час мм* рт. ст. для башенного охладителя типа Бальке и при температуре 32° — 0,91 *кг*/$м^3$ *час мм* рт. ст. для охладителя типа Бэджера. Чтобы определить объем скруббера, требуемый для процесса охлаждения газа в первой стадии, необходимо знать поверхность, образуемую водой. Ориентировочно она может быть определена из сопоставления объемного и поверхностного коэфициентов диффузии, а именно:

$$K_\partial^t = 0{,}055\left(1 + \frac{60\,v}{69}\right)F,$$

где F — поверхность, образованная каплями в 1 $м^3$ скруббера, в $м^2$,
v — относительная скорость газа и воды в *м/сек*,
K_∂^t — объемный коэфициент диффузии в *кг* воды на 1 $м^3$/*час мм* рт. ст.

Для тех же условий, что и в предыдущем примере со скруббером с распылителями, принимаем поправку, что скорость газа, так же как и воды, претерпевающего постоянные повороты, будет равна 1 *м/сек*.

При указанных скоростях и средней температуре газа в 32° Робинзоном было получено значение для K_∂, равное 0,91 *кг*/$м^3$ *час мм* рт. ст. [111].

Для других температур (не 32°) значение коэфициента диффузии может быть определено из выражения:

$$K_\partial^t = K_\partial\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$ *кг* воды на 1 $м^3$ *час мм* рт. ст.,

где T_1 и T_2 — абсолютные температуры газа, соответствующие значениям K_∂ и K_∂^t.

Пример (см. условия предыдущих задач).

Учитывая, что в нашем случае во второй стадии средняя температура газа равна 55°, получим:

$$K_\partial = 0{,}91\,\frac{(273+55)}{(273+32)} = 1.$$

$$F = \frac{1}{0{,}055\left(1 + \frac{60\cdot 2}{69}\right)} = 6{,}6\ м^2.$$

Объем скруббера Лимна, необходимый для первой стадии охлаждения, равен:

$$V_1 = \frac{75\,000}{(2 + 10\sqrt{2})\cdot 58\cdot 6{,}6} = 12{,}2\ м^3.$$

Объем скруббера для второй стадии охлаждения определится из выражения:

$$V_2 = \frac{G}{K_\partial^t\,\Delta p},$$

где G — количество влаги, которая должна быть сконденсированной, в *кг*,
K_∂^t — коэфициент диффузии в *кг*/$м^3$ *час мм* рт. ст.
Δp — средняя разность давлений водяного пара над водой и в газе в *мм* рт. ст.

Объем скруббера Лимна, необходимый для второй стадии охлаждения:

$$V_2 = \frac{812{,}4 - 103}{1\cdot 85} = 8{,}3\ м^3.$$

Общий активный объем:

$$8{,}3 + 7{,}1 = 16\ м^3.$$

С увеличением скорости газа объем скруббера Лимна сильно уменьшается, что объясняется тем, что коэфициент диффузии растет со скоростью.

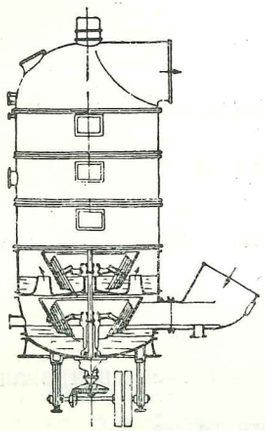
Другие конструкции скрубберов

Для увеличения интенсивности работы холодильников предложен ряд специальных конструкций. На рис. 172 представлен промыватель Фельда [114], состоящий из нескольких промывательных камер, расположенных по вертикали и разделенных горизонтальными перегородками с отверстиями, через которые проходит газ. Вертикальный вращающийся вал, проходящий через весь холодильник, снабжен

в каждой камере корзинками, разбрызгивающими благодаря центробежной силе воду, орошающую идущий навстречу газ [1].

Скруббер Дюквезена и Штейнбарта снабжен перегородками в виде двойных сеток, находящихся на расстоянии 2,5 *м* друг от друга. Распылители расположены под нижней и верхней сетками и направлены вверх. Впуск воды каждые две секунды включается и выключается. Вода хорошо распределяется по сечению скруббера, и газ хорошо промывается.

Имеются также охладители газа в виде горизонтальных камер, в которых установлены распыливающие воду сопла и перегородки, меняющие направления движения газа.



172. Промыватель Фельда

Охлаждение и очистка газа могут быть также достигнуты с помощью инжектора, хорошо смешивающего воду с газом и в то же время являющегося побудителем для движения газа.

Сухие скрубберы

После промывки водой газ механически увлекает некоторое количество влаги, которая может или осесть в газопроводе, или быть унесенной с газом в место его использования. Для удаления этой влаги ставят сухие очистители-камеры, наполненные каким-либо материалом, вызывающим большое число изменений направления и скорости газа; взвешенная влага при этом выпадает. Эти сухие очистители заполняются кольцами Рашига, стружками, коксом. Помимо влаги в сухих очистителях задерживаются и уносимые газом частицы пыли, смолы и масел.

Сопротивление скрубберов

Для подсчета сопротивления скрубберов с насадкой может быть использована формула [109].

$$\Delta p = \frac{4kL\gamma \cdot v^2}{2gd}$$

где Δp — сопротивление канала в *кг/м²*,
k — коэфициент трения,
L — высота скруббера в *м*,
γ — вес 1 *м³* газа в *кг*,
v — скорость газа в *м/сек*,
g — ускорение силы тяжести в *м/сек²*,
d — диаметр свободного сечения канала в *м*.

[1] Чем быстрее вращается вал в скруббере Фельда, тем лучше очищается газ от пыли. При 120 об/мин. в доменном газе с содержанием пыли от 7 до 4,5 *г/м³* остается пыли 0,1—0,18 *г/м³*.

По приведенной формуле расчет может вестись на фиктивную скорость газа и на 1 *пог. м* высоты насадки. Фиктивная скорость равна количеству газа, приходящемуся на 1 *м²* полного сечения скруббера.

Если обозначить $\frac{4k}{d}$ через f, то f явится в каждом отдельном случае коэфициентом, характерным для данных газа и насадки.

Таким образом приведенная выше формула приобретает следующий вид:

$$\Delta p = \frac{f \cdot L\gamma v^2}{2g}.$$

Фокин и Павлов [109] приводят следующие данные для расчета сопротивлений различных насадок (табл. 85).

Таблица 85

Сопротивление различных насадок

Тип насадки	Процент свободного пространства	Поверхность (в $м^2/м^3$)	Вес (в $кг/м^3$)	Коэфициент гидравлического сопротивления 1,2 f
Кокс—7—8 *см*	58	42	470	170
» 2,5 *см*	—	—	—	800
Кольца Рашига—2,5 *см*	73	190	650	800
» » —1,1 »	85	300	—	1 000
Кварц—5 *см*	45	63	1 420	800
» 7,5 *см*	45	43	1 380	25
» 15 »	44	21	1 440	11
» 2,5 »	47	167	1 420	200
Фасонные части	48	50	1 100	—
Спирали — 7,5 × 7,5 *см*	70	75	650	100
Призмы	50	45	1 250	—

Сопротивление скрубберов без заполнения ничтожно — 2—5 *мм* вод. ст.

Практические данные о размерах скрубберов и расходе воды

Объем скруббера для охлаждения и очистки бессмольного газа принимается равным примерно 0,7—1% от часового объема газа (0°, 760 *мм*), что соответствует 25—35-секундному времени пребывания газа в скруббере, считая на полный объем скруббера и нормальный объем газа. Если скруббер предназначается для охлаждения и очистки смолистого газа без предварительного смолоулавливания или очень пыльного газа, время пребывания газа в нем доводится до 45 сек. В случае предназначения скруббера лишь для частичного охлаждения газа, как например в случае предварительного охлаждения его перед смолоулавливающими аппаратами, время пребывания газа в скруббере может быть принято равным от 2 до 5 сек.

Скорость газов в скруббере обычно составляет примерно 0,5—0,75 *м/сек*.

Размеры скрубберов некоторых существующих в СССР газогенераторных установок приведены в табл. 85, а в табл. 83, 84 приведены данные о скрубберах коксовой промышленности. По работе скрубберов типа Лимна имеются следующие данные [117]: диаметр скруббера — 1,68 *м*, высота — 9,2 *м*, объем — 20 $м^3$; скруббер снабжен 12 коническими кольцами и 11 конусами; часовой объем водяного газа — 3 200 $м^3$; температура газа перед скруббером — 212°, за скруббером — 21°, поступающей воды — 20° и выходящей воды — 50°.

При работе скруббера Лимна диаметром в 1 *м* и высотой в 7,8 *м* с 6 кольцами и 5 конусами на смешанном газе из подмосковного угля показатели были следующие: количество сухого газа — 2 050 $м^3/час$ (0°, 760 *мм*), влажность входящего газа — 215 $г/м^3$, температура газа

Таблица 86

Размеры скрубберов различных установок

Род установки	Размеры и объем скрубберов
Торфяная генераторная станция. Скруббер обслуживает 8 генераторов производительностью в 40 *т* торфа в сутки каждый. Установлен за смолоотделителем Тейсена.	С частью для насыщения воздуха: высота — 19,7 *м*; диаметр — 4,5 *м*. Объем ступеней для осушки газа — 200 $м^3$ (на 1 генератор — 25 $м^3$).
Генератор на челябинском угле с проектной производительностью в 39 *т*. Скруббер установлен за смолоотделителем Тейсена.	С частью, насыщающей воздух: высота — 19,5 *м*, диаметр — 2,5 *м*. Объем ступеней для охлаждения газа — 43 $м^3$.
Генераторы на древесной щепе. Производительность — 300 *т/сутки*. Скрубберы установлены за смолоотделителями Котрелля. В работе—четыре: 2 — солевых и 2 — промывных и 2 — в резерве. Аппараты Котрелля фактически не работают.	4 рабочих: диаметр — 2,8 *м*, высота — 10 *м*. Общий объем 245 $м^3$.
Антрацитовый генератор производительностью в 12 *т/сутки*. Газ из генератора проходит водяной затвор, тарельчатый охладитель, вентилятор, очиститель и скруббер.	Тарельчатый охладитель: высота — 4 *м*, диаметр — 1,3 *м*, объем — 5,3 $м^3$. Скруббер: высота — 5 *м*, диаметр — 1,71 *м*. Объем — 11,5 $м^3$.
Антрацитовый генератор производительностью в 17 *т/сутки*. Газ из генератора проходит мокрый пылеотделитель и скруббер.	Диаметр скруббера — 2, 8 *м*, высота — 7 *м*. Объем — 43 $м^3$.
Коксовый генератор производительностью в 15 *т/сутки*. Газ из генератора проходит испаритель и скруббер.	Диаметр скруббера — 2,9 *м* и высота — 8,7 *м*. Объем — 57 $м^3$.

при входе — 400° и при выходе — 50°, температура поступающей воды — 2°,5 и выходящей — 49°.

По другим данным при охлаждении в скруббере Лимна 9 900 $м^3/час$ водяного газа с 295 до 13° расход воды, подогревавшейся от 10 до 35°,5, составлял 4,5 $л/м^3$ и при охлаждении в том же скруббере 5 100 $м^3/час$ с 307 до 17° расход воды, подогревавшейся с 12 до 48°, составлял 2,4 $л/м^3$. Содержание пыли при проходе газа через скруббер уменьшилось с 0,5 до 0,013 $г/м^3$.

Расход воды на охлаждение и очистку газа составляет для летних условий примерно следующие величины:

1) в случае очистки газа из кокса или антрацита — 4—5 *л* на 1 $м^3$ газа, что соответствует 16—25 *л* на 1 *кг* топлива;

2) в случае очистки газа из каменного угля — 8—10 *л* на 1 $м^3$ газа — 25—30 *л* на 1 *кг* топлива;

3) в случае очистки газа из древесины, торфа и бурого угля — 8—10 *л* на 1 $м^3$ газа — 15—25 *л* на 1 *кг* топлива.

4. МОКРАЯ ОЧИСТКА БЕССМОЛЬНОГО ГАЗА

Бессмольный газ, получаемый из антрацита и кокса, подвергают мокрой очистке в тех случаях, когда неизбежна потеря физического тепла газа вследствие охлаждения газа в газопроводах и нежелательно засорение газопроводов, а также в специальных случаях, например при работе газомоторов, когда предъявляются требования тонкой очистки газа (0,02 $г/м^3$).

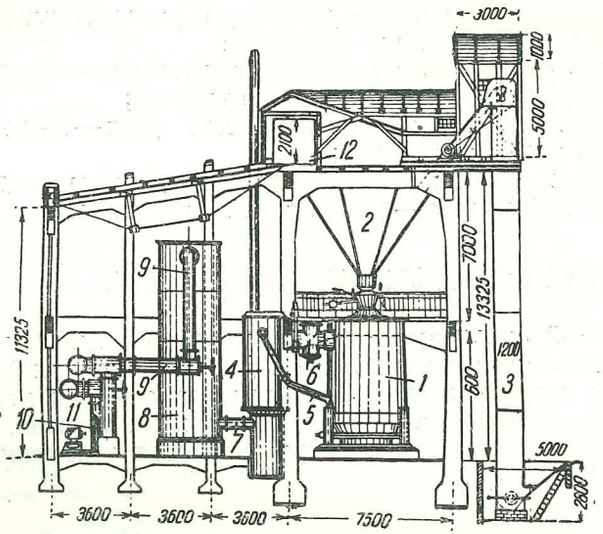
Схемы установок

В обычной схеме мокрой очистки газа из антрацита и кокса, без использования физического тепла газа, за генератором устанавливается скруббер. Газ из генератора в скруббер подается вертикальным или наклонным газопроводом, обычно снабженным гидравлическим затвором и выполняемым в виде предварительного охладителя. В случае газификации коксика или антрацита, содержащего лишь следы смол, физическое тепло газа может быть использовано для получения пара или горячей воды в трубчатых котлах. Последние устанавливаются по следующей схеме: газ из генератора проходит сухой пылеуловитель, затем трубчатый котел и из последнего направляется в скруббер. Очищенный и охлажденный газ поступает в общий сборник и отсюда засасывается газовыми вентиляторами, нагнетающими газ к местам потребления. Общих коллекторов до скрубберов (в целях уменьшения количества скрубберов) обычно не применяют во избежание их засорения.

По рис. 173 газ из генератора, работающего на топливе, не содержащем смолы (антрацит, кокс), проходит пылеуловитель и из него попадает в трубчатый котел, в котором подогревается вода, служащая для насыщения первичного воздуха паром, или получается пар, используемый для разных нужд в установке (рис. 174). Несколько охла-

жденный газ поступает в скруббер, где промывается водой, после чего попадает в газовый вентилятор.

По рис. 175 газ из генератора, работающего на топливе, не дающем смолы, охлаждается и частично очищается от пыли в тарельчатом промывателе, после чего поступает в газовый вентилятор, орошаемый холодной водой. Из вентилятора газ поступает в скруббер, где из него промывкой удаляется оставшаяся пыль.



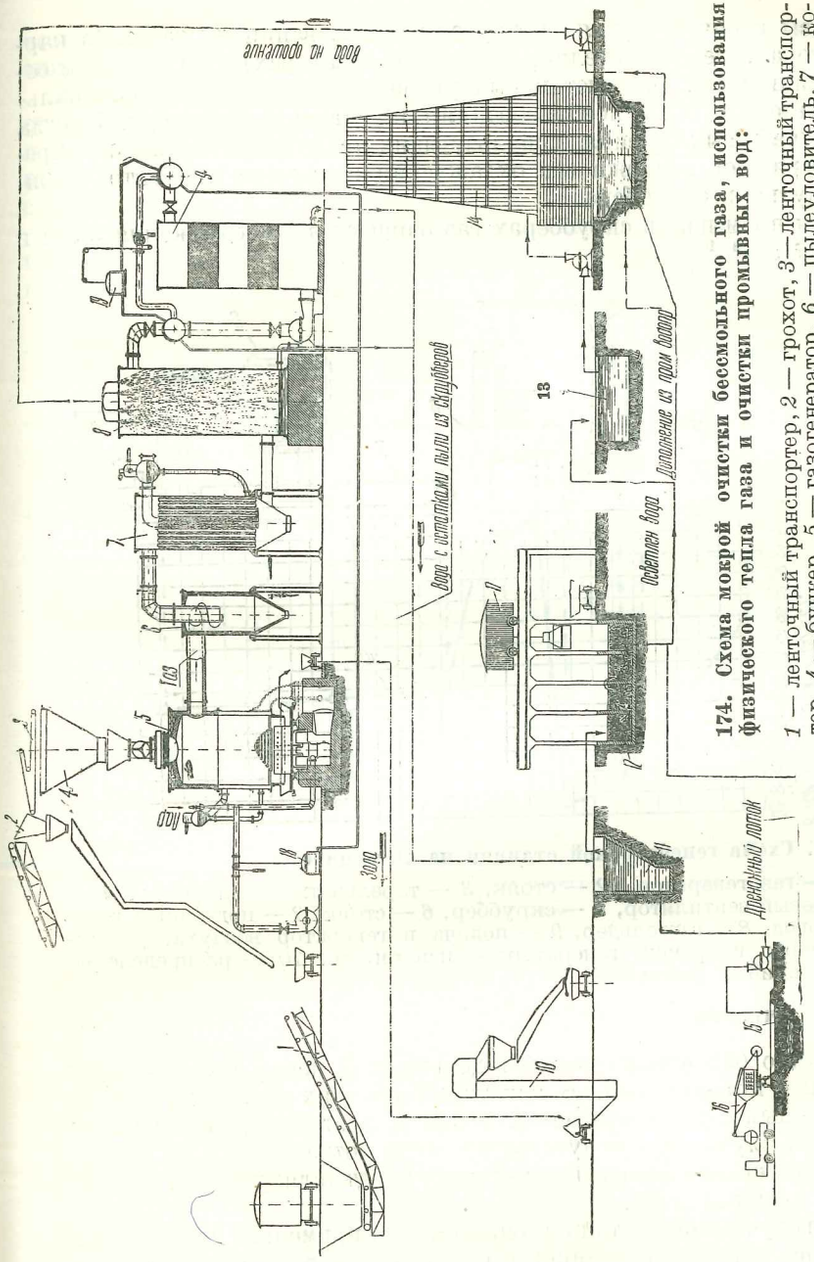
173. Схема генераторной станции на коксе или антраците с использованием физического тепла газа:

1 — генератор, *2*—бункер, *3*—элеватор, *4* — трубчатый котел-утилизатор, *5* — подача паровоздушной смеси в генератор, *6* — пылеуловитель, *7* — патрубок, соединяющий котел со скруббером, *8* — скруббер, *9* — газопровод к вентилятору, *10* — газовый вентилятор, *11* — газопровод очищенного газа, *12* — бак для воды

По другим схемам (рис. 176) газ из антрацита или кокса очищается от пыли в стояке, охлаждаемом снаружи или орошаемом водой, и скруббере и после этого поступает в газовый вентилятор. После газового вентилятора газ обычно дополнительно проходит сухой очиститель — каплеуловитель для очистки от увлеченных капель воды, укрупняющихся при проходе газа через вентилятор.

Схема установок водяного газа и его очистка от пыли и охлаждение приведены в главе II.

Обычно водяной газ из генератора поступает или непосредственно в скруббер или через гидравлический затвор — барботер (гидравлика), предупреждающий возможность обратного прохождения газа. Иногда физическое тепло водяного газа используется для подогрева воды или получения пара.

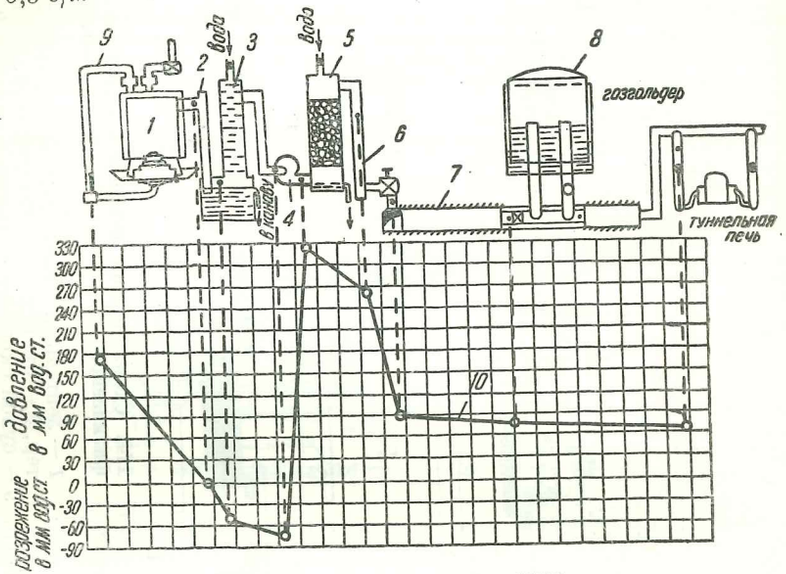


174. Схема мокрой очистки бессмольного газа, использования физического тепла газа и очистки промывных вод:

1 — ленточный транспортер, *2* — грохот, *3*—ленточный транспортер, *4* — бункер, *5* — газогенератор, *6* — пылеуловитель, *7* — котел-утилизатор, *8* — промывной скруббер, *9* — сухой скруббер — каплеуловитель, *10* — ковшевой элеватор, *11* — отстойная яма, *12* — фильтр, *13* — сборный резервуар, *14* — градирня, *15* — шламовая яма, *16*, *17* — кран с грейфером, *18* — регулятор количества воздуха, *19* — регулятор давления газа.

Газы горячего дутья в случае использования их тепла (в карбюраторах, перегревателях, котлах-утилизаторах) при большом содержании пыли очищают в пылеуловителях, дожигают в специальной камере и после использования выпускают в атмосферу. Иногда на случай выключения использующих тепло приспособлений предусматривают возможность охлаждения и очистки продуктов горячего дутья в скруббере.

При промывке в скрубберах газ очищается до содержания пыли в 0,1—0,5 *г/м*³ [102].



175. Схема генераторной станции на антраците:

1 — газогенератор, *2* — стояк, *3* — тарельчатый охладитель, *4* — газовый вентилятор, *5* — скруббер, *6* — стояк, *7* — подземный газопровод, *8* — газгольдер, *9* — подача в генератор воздуха, увлажненного в крышке генератора — испарителе, *10* — распределение давлений в установке

Тонкая очистка

Обычно описанная очистка в достаточной мере удовлетворяет требованиям потребителей. В некоторых случаях уноса с газом очень мелкой пыли, не смачиваемой водой и поэтому трудно удаляемой, а также в случае особой чувствительности потребителя к загрязнениям газа (применение газа в газомоторах) предъявляют требования более тонкой очистки газа.

Для случаев очень тонкой очистки газа применяют помимо описанной выше очистки, связанной с охлаждением газа и называемой первой ступенью очистки, также вторую ступень очистки, проводимую при помощи специальных аппаратов.

Для тонкой очистки газа от взвешенных частиц [107, 114] (пыли и смолы) наибольшее распространение нашли два типа аппаратов — механические и электростатические (электрофильтры). Эти аппараты описаны ниже, в разделе «Улавливание смолы».

Преимущественное применение из этих аппаратов для очистки газа от пыли имеют дезинтеграторы Тейсена. В последние годы начинают весьма широко применяться в качестве аппаратов для тонкой очистки газа от пыли также электрофильтры, имеющие некоторые преимущества по сравнению с дезинтеграторами Тейсена.

Газ для тонкой очистки от пыли поступает в очиститель Тейсена, предварительно охлажденный до 25—35°. В самом очистителе газ промывается водой.

Оборудование газоочистительной установки Тейсена просто, надежно, компактно и легко обслуживается.

Расход воды при промывке составляет 1—1,5 *л* на 1 *м*³ газа. Производительность одного агрегата доходит до 80 000 *м*³/*час*. Эти аппараты также являются вентиляторами, повышающими давление газа, проходящего через них.

В табл. 87 приведены данные [114] о работе газоочистителя Тейсена на доменном газе.

Для очистки доменного газа от пыли применяются также фильтрующие мешки (сухие фильтры). Иногда вбрызгивают воду и в обычного типа вентиляторы, что преследует цель некоторой очистки газа от пыли. Подобная очистка проста, но расход воды и энергии при ней больше, чем в дезинтеграторах Тейсена, а самая очистка хуже. Конструкция вентиляторов при этом должна быть прочнее обычной.

Некоторые данные [116] об очистке газа от пыли с помощью электрофильтров приведены в табл. 88.

Сравнение способов тонкой очистки содержащего пыль газа с помощью дезинтеграторов, сухих фильтров и электрических дает следующие данные на 1000 *м*³ газа (цены в германских марках) [172].

	Дезинтегратор	Сухой фильтр	Электрофильтр
Стоимость установки	5200—6150	5000	6000
Потребная общая площадь в *м*²	1,3	3,0	1,4—2,8
Расход энергии с учетом создания давления газа в 300 *мм* и подачи воды в холодильник *квт-ч*	5,6—6,1	1,72	2,18—2,4
Стоимость очистки	0,18—0,29	0,18	0,17—0,21

Таким образом дезинтеграторы занимают наименьшее место и имеют наибольший расход энергии. Начальная стоимость дезинтеграторов обычно ниже, чем электрофильтров. Эксплоатационные расходы при дезинтеграторах выше, чем при электрофильтрах.

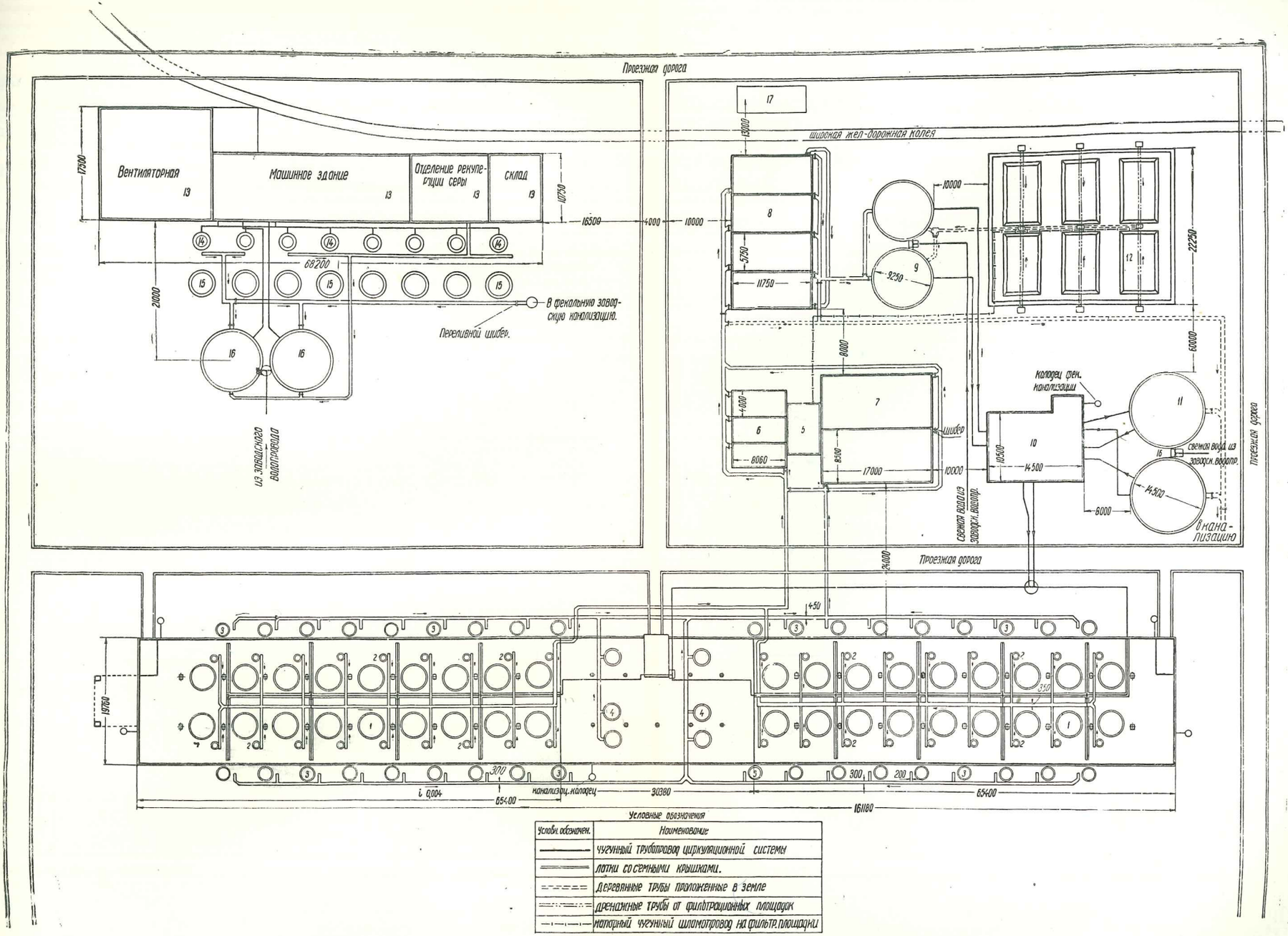
Газ поступает в электрофильтры после промывки водой в скрубберах. Для очистки электродов от осевшего на них шлама они периодически промываются водой.

Таблица 87

Опыты над дезинтеграторным газоочистителем Тейсена (размер: 2 300—*R*)

Показатели \ Время производ. опыта и продолжительность опыта	20/XI 1922 г.	2/XII 1922 г. 9 ч. 30 м. 11 ч. 30 м.	5/XII 1922 г. 12 ч. 15 м. 2 ч. 15 м.	5/XII 1922 г. 2 ч. 30 м. 4 ч. 30 м.	5/XII 1922 г. 4 ч. 35 м. 6 ч.	7/XII 1922 г. 11 ч. 12 ч.	7/XII 1922 г. 1 ч. 07 м. 1 ч. 55 м.	16/XII 1923 г.
Количество газа, приведенное к 45°C (в *м³/час*)	52 800	44 850	59 800	55 000	55 800	61 500	53 550	52 900
Температура газа при входе в дезинтегратор (в °C)	45	45	43	43	45	43,5	42,5	—
Создаваемое в дезинтеграторе давление (в *мм* вод. ст.)	305	300	283	302	304	281	310	271
Давление в трубопроводе чистого газа (за очистителем)	295	275	248	232	226	256	259	70,9
Расход воды (в *м³/час*)	72,4	72,2	75,3	60,8	45,4	44,2	43,9	1,34
Расход воды (в *л/м³*)	1,37	1,6	1,26	1,104	0,86	0,72	0,82	—
Температура воды при входе в дезинтегратор (в °C)	—	31	33	33	33	32	33	—
Температура воды при выходе из дезинтегратора (в °C)	—	—	44	44	44	43	43	—
Расход энергии: вольт	5 174	5 175	5 200	5 194	5 174	5 199	5 227	—
ампер	45,4	48	50	42	34,6	37,25	35,8	—
Cos φ	0,825	0,89	0,89	0,882	0,862	0,87	0,866	—
л. с.	456	521	545	453	362	396	372	—
К. п. д. мотора	0,922	0,9	0,94	0,937	0,932	0,935	0,934	—
Расход в э. л. с.	420	470	512	425	338	371	359	504
Неочищенный газ — пыль (в *г/м³*) при входе в дезинтегратор	1,41	—	1,18	1,17	1,15	0,01	0,94	1,12
Чистый газ: температура на месте измерения (в °C)	—	22	22	22	22	22	22	—
влажность (в *г/м³*)	—	17,8	22,6	—	—	—	—	16,3
пыль (в *г/м³*)	0,008	0,007	0,0061	0,017	0,0176	0,0215	0,0168	0,007

Расход в э. л. с.	420	410	512	425	538	511			
Неочищенный газ — пыль (в г/м³) при входе в дезинтегратор	1,41	—	1,18	1,17	1,15	0,01	0,94	1,12	
Чистый газ: температура на месте измерения (в °С)	—	22	22	22	22	22	22	—	
влажность (в г/м³)	—	17,8	22,6	—	—	—	—	16,3	
пыль (в г/м³)	0,008	0,007	0,0061	0,017	0,0176	0,0215	0,0168	0,007	



176. Схема очистки воды большой антрацитовой станции смешанного газа:

1 — газогенераторы, *2*—стояки, *3* — скруббера, *4* — каплеуловители *5* — шламовая насосная станция, *6* — отстойники-пылеуловители для воды от стояков, *7* — отстойные резервуары для воды от скрубберов, *8* — коксовые фильтры, *9* — резервуары для фильтрата, *10* — насосная станция, *11* — градирни, *12* — фильтрационные площадки, *13* — здание мокрой сероочистки, *14* — регенераторы сероочистки, *15* — скруббера сероочистки, *16* — сборные резервуары сероочистки, *17*—склад кокса для фильтров

Выделение пыли из промывной воды

Пыль, вымываемая из газа водой, уносится последней. Воду, обычно циркулирующую в системе, подвергают очистке в отстойниках и фильтрах, представляющих собой громоздкие сооружения. Особенно много места занимают эти пылеуловительные сооружения в больших антрацитовых станциях, так как вследствие растрескивания антрацита при нагревании газ уносит из генератора много пыли (до 5 и более процентов от веса топлива).

Отстойные ямы для воды устраивают таким образом, чтобы скорость воды в них была не велика и чтобы оседающие частицы не могли образовывать мертвых уплотняющихся мешков. Дно отстойных ям выполняют с уклоном, по которому шлам стекает к всасывающей трубе насоса, откачивающего его.

В подобных отстойниках может быть достигнута лишь грубая очистка воды. Для более тонкой очистки вода пропускается через фильтры из кокса или другого материала (рис. 176), очищенная вода охлаждается на градирне и вновь поступает в скрубберы или в аппараты Тейсена.

В случае, если пыль обладает свойством сильно уплотняться и затвердевать, применяют отстойники, дно которых состоит из канав, имеющих клинообразную форму, в которых оседает шлам [107]. Периодически отдельные канавы перекрывают подъемными бетонными балками и из замкнутого пространства вымывают водой шлам. Этим устройством также избегается неудобство, создаваемое отсасыванием шлама из одной части отстойника. Из отстойников шлам насосом подается на площадки, где он подвергается естественной сушке, после чего может быть использован например путем сжигания в пылеугольных топках.

На рис. 176 представлена схема очистки воды большой антрацитовой станции смешанного газа.

Вода из стояков и скрубберов поступает в отстойники. Из отстойников вода перетекает к камерам фильтра. Последние иногда конструируются таким образом, чтобы вода могла протекать через них как параллельно (на случай очистки отдельных камер), так и последовательно (на случай плохой очистки отдельными камерами). Из фильтров очищенная вода попадает в сборный резервуар и из последнего через насосную к градирням. Шлам из отстойников подается насосами на фильтрационные площадки для подсушивания. Большие фильтры оборудуются механическими приспособлениями, например тельферами, для разгрузки и загрузки кокса.

5. УЛАВЛИВАНИЕ СМОЛЫ

Смола представляет собой смесь углеводородов и кислородных, азотистых и сернистых соединений с различными температурами кипения — в пределах 70—350°. Легкие масла даже при температуре в 30—40° в значительной доле остаются в газе.

Смола может быть уловлена в газогенераторных установках или в целях использования ее, как таковой, в случае потребности в ней,

или же при мокрой очистке газа, когда улавливание смолы является побочной операцией, имеющей целью улучшение и упрощение процесса мокрой очистки. Обычно эти оба случая совпадают. Иногда очистка газа от смолы является результатом соответствующих требований потребителей.

Как указывалось выше, смола, получаемая при низких температурах (генераторы со швельшахтой), является более ценной по своим качествам.

Очищенный от смолы газ дает пламя, не являющееся столь лучеиспускающим и ярким, как пламя газа, содержащего смолу, так как именно частицы углерода, выделяющиеся при сгорании и разложении смол, делают пламя ярким и сильно лучеиспускающим. Кроме того удаление смолы уменьшает количество тепла, которое находится в газе и могло бы поступить к потребителю. При влажном газе это отчасти компенсируется увеличением теплотворной способности и повышением температуры горения газа благодаря его осушке.

Для конденсации смоляных паров газ подвергают охлаждению (10, 115). Выделить смолу из газа одним охлаждением затруднительно, так как она выделяется в виде чрезвычайно мелких частиц, уносимых газом. Эти мельчайшие частицы — туманы смол — представляют собой наполненные газом пузырьки, тем менее способные лопаться и образовывать капли, чем более вязкая смола образует оболочку этих пузырьков. По этой причине нет достаточного соответствия между точками росы отдельных компонентов смолы и выделяемыми и уносимыми при данной температуре газа количествами таковых.

При продолжающемся охлаждении давление газа в пузырьке падает, а вязкость смолы, образующей оболочку пузырька, повышается и следовательно устойчивость тумана увеличивается. Таким образом выделить вязкую смолу одним лишь охлаждением затруднительно. Скорее это возможно путем вторичного подогрева газа, что однако связано с переходом части смолы в парообразное состояние.

По указанным причинам в поверхностных холодильниках выделяется сравнительно мало смол, и за холодильниками устанавливают дополнительные смолоотделители.

Составные части смолы сжижаются в соответствии с их температурами кипения и парциальными давлениями. Практически невозможно разделить смолу при охлаждении на отдельные фракции и следовательно обойтись без последующей разгонки ее, так как ни в одном из холодильников невозможно создать соответствующие равномерные температурные условия по всей поверхности.

Поверхностные холодильники трубчатого типа для выделения смолы изредка применяют в газогенераторных установках, преимущественно для буроугольного швельгаза. Вязкость буроугольной смолы по сравнению с первичной каменноугольной очень незначительна, и образующийся туман осаждается в холодильнике.

Для выделения смолы из генераторного газа преимущественно применяют аппараты двух типов — механические и электростатические. (электрофильтры — аппараты Котрелля).

Наиболее оправдавшими себя из аппаратов первой группы в генераторных установках являются дезинтеграторы Тейсена. Эти аппараты являются не только очистительными, но и нагнетающими газ приспособлениями. За аппаратами Тейсена устанавливаются каплеуловители для улавливания остающихся в газе капелек смолы. Аппараты Тейсена дешевы, просты и надежны в работе. Недостатком их является значительное потребление энергии.

В последнее время все бо́льшее распространение получает электростатический способ очистки газа от смолы. Стоимость оборудования при этом способе бо́льшая, нежели при механическом. Однако расход электроэнергии даже с учетом установки отдельного нагнетательного газового вентилятора в 2—3 раза ниже, чем при механическом смоловыделении.

Газ поступает в указанные аппараты при температуре на 10—15° выше точки росы, чтобы предотвратить конденсацию влаги, обеспечить максимальную конденсацию смолы и минимальный объем газа.

Улавливание в смолоочистительных аппаратах первичной смолы (из генераторов со швельшахтой) является более легким, чем улавливание смолы, подвергшейся пирогенетическому разложению из обыкновенных генераторов. Это объясняется большей текучестью и отсутствием или меньшим содержанием взвешенных частичек углерода — продукта разложения смолы—в первичной смоле.

Смола, выделяемая в смолоуловительных приспособлениях, даже при температурах выше точки росы не является безводной, так как содержит в растворенном виде некоторое количество влаги.

Помимо описываемых ниже механических и электростатических смолоуловителей для улавливания смолы применяется также промывка газа смолой. Промывка может осуществляться в различного вида скрубберах, преимущественно с распылением подогретой смолы с помощью пульверизаторов-форсунок или с разбрызгиванием ее специальными приспособлениями. В качества скрубберов с разбрызгиванием может служить промыватель Фельда (рис. 172), на вертикальном вращающемся валу которого расположены корзинки с мелкими отверстиями. Смола поступает в самую верхнюю корзинку, которой она при вращении вала мелко распыляется и отбрасывается в горизонтальном направлении к стенке кожуха. Собирающаяся на дне каждого отделения смола переливается в корзину следующего отделения. Из нижнего отделения смола стекает в приемник. Газ поступает через штуцер в нижней части скруббера, проходит через отверстия в горизонтальных перегородках и выходит через штуцер в крышке скруббера. По пути газ многократно подвергается промывке смолой, выделяющей из него смолистые вещества благодаря трению, ударам, образованию центров конденсации и поглощению.

Промывная смола подвергается очистке и подогреву.

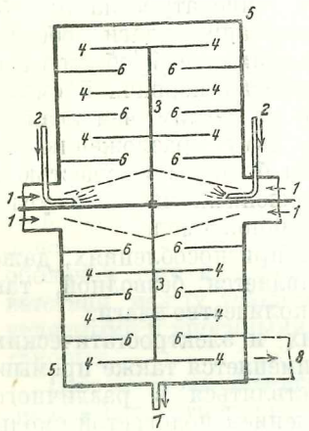
В случае мокрой очистки газа путем промывки водой без предварительного применения специальных смолоуловителей смола выделяется вместе с конденсирующейся влагой и смешивается с промывной водой. Подобная очистка несовершенна, некоторая часть смол все же уносится газом, а выделившаяся из газа смола только частично

может быть отделена от воды и притом в сильно обводненном состоянии. Кроме того это увеличивает загрязнение воды, которая обычно перед спуском должна быть подвергнута специальной очистке. По указанным причинам подобная очистка может быть применена лишь для малых установок.

Ниже описаны механические и электростатические аппараты для отделения смолы.

Аппараты для отделения смолы механическим путем

1. Принцип работы механических смолоотделителей. Механическое улавливание смолы основывается на использовании сил трения и удара. Использование силы трения возможно например путем пропускания газа через слой жидкости, что однако неэффективно и связано с большим гидравлическим сопротивлением жидкости. Использование поверхностей стен, омываемых газом, дает эффект лишь в первое время работы ввиду заполнения неровностей стенок высококипящими составными частями смолы, сглаживающими стены и уменьшающими трение. При сильном уменьшении сечения для прохода газа такой способ улавливания смолы связан с большой потерей давления, опасностью засорения и уменьшением улавливания взвешенных частиц вследствие возрастания скорости газа. Улавливание смолы путем установки ряда проволочных сеток с мелкими ячейками связано с быстрым засорением их.



177. Схема прямоточного промывателя — дезинтегратора

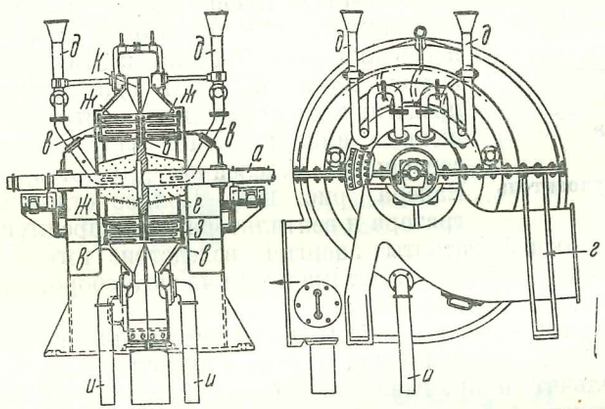
Применение пара для очистки поверхностей, засоренных смолой, оказывает удовлетворительное действие лишь в первое время, так как при прогреве удаляется не вся смола, а только наиболее низко кипящие погоны. На поверхностях очистителя постепенно накапливается слой пека, который невозможно удалить с помощью пара.

Ударный способ выделения смолы является более совершенным, так как удар заставляет лопаться пузырьки вязких высококипящих компонентов смолы, и поэтому большинство применяющихся в генераторных установках механических смолоуловителей основано на ударном действии.

2. Дезинтегратор Тейсена. К числу механических пыле- и смолоочистителей относятся дезинтеграторы. В эти аппараты вводится промывающая газ жидкость, которая распыляется благодаря центробежной силе и в мелкораспыленном состоянии хорошо смешивается с газовым потоком. На рис. 177 представлена схема прямоточного промывателя — дезинтегратора. Газ по трубе *1* и жидкость по трубкам *2* проходят в середину промывателя. Благодаря вращению диска *3*,

газ и жидкость отбрасываются к периферии и попеременно ударяются о движущиеся лопатки *4* и неподвижно прикрепленные к кожуху *5* лопатки *6*. Происходит принудительное смачивание содержащихся в газе частиц, в результате чего взвешенные частицы из газа и частицы промывной жидкости укрупняются и выделяются, вытекая в нижней части *7*. Газ через трубу *8* проходит дальше.

На рис. 178 представлен аппарат Тейсена. Валом аппарата *а* приводится в быстрое вращение диск *б* с лопатками *в*. Внутрь аппарата подается газ *г* и промывная жидкость (обычно смола) *д*, разбрызгиваемая благодаря вращению аппарата дырчатым конусом *е* по всему аппарату. В аппарате имеются кроме вращающихся лопаток *в* также и неподвижные лопатки *ж*, прикрепленные к кожуху *з*. Вращающиеся лопатки *в* разбивают частицы промывной жидкости на мельчайшие



178. Схема аппарата Тейсена

капли, смешивающиеся с газом и увлекающие частицы смолы из газа. Частицы промывной смолы и смолы газа ударяются о неподвижные лопатки *ж*, укрупняются и стекают в смолосборник через трубки *и*. Лопатки *к* также нагнетают газ, и аппарат является не только смолоочистителем, но и вентилятором.

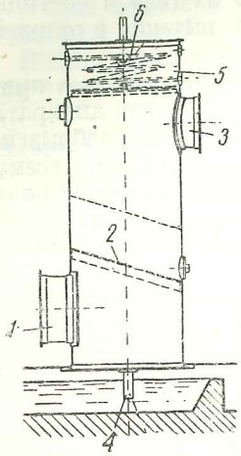
Подшипники аппарата снабжены водяным охлаждением; привод — обычно от мотора.

Подобные аппараты потребляют большое количество энергии: при производительности в 2 500—3 000 *м*³/*час* затрата энергии составляет 4,5—5 и при большей производительности 3,5—4,5 *квт-ч* на 1 000 *м*³ газа. Стоимость аппаратов небольшая. Экономичность их работы может быть повышена путем приведения в действие от паровой турбины с подачей мятого пара для увлажнения дутья [10, 107, 114].

За очистительными аппаратами часто ставится каплеуловитель, в котором осаждаются увлекаемые газом капли смолы.

Каплеуловитель (рис. 179) представляет собой железный цилиндр с дном и крышкой. Газ входит в отверстие *1* и проходит через сито *2*,

на котором лежит насадка высотой в 500 *мм* из телец, имеющих большую поверхность, например колец Рашига, и образующих многочисленные повороты. Пройдя насадку и выделив увлеченные капельки смолы, газ выходит через патрубок *3*. Отделяющаяся смола стекает через трубку *4*. Верхняя часть каплеуловителя *5* является хранилищем для смолы и для поддержания достаточной ее текучести подогревается змеевиком *6*. В это хранилище смола подкачивается насосом, а из него подается в дезинтегратор для промывки газа. Таким образом некоторое количество смолы, служащей для промывки газа, находится в круговороте. Насадка может быть прогрета паром.



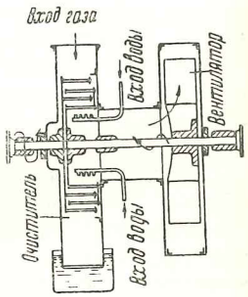
179. Каплеуловитель

Из других конструкций дезинтеграторов следует отметить газопромыватели Цшоке, Шварца и Динглера [1, 114], в которых в противоположность аппарату Тейсена вентилятор и дезинтегратор соединены не в одну конструкцию, а представляют собой две конструкции, расположенные или на одном валу (Цшоке) или же совершенно отделенные друг от друга (Шварц-Байера, рис. 180). Полное отделение дезинтегратора и вентилятора имеет преимущество в отношении меньшей затраты энергии вследствие того, что каждый аппарат может работать с оптимальным числом оборотов, но требует двух приводо и больше места.

В отношении качества работы преимущества на стороне дезинтеграторов Тейсена, вытеснивших другие конструкции.

3. Тарельчатый промыватель Тейсена. Тарельчатый промыватель Тейсена представлен на рис. 181. Он состоит из спрессованных, имеющих изогнутую форму тарелок, прикрепленных к насаженному на вал диску болтами.

Трубкой, расположенной на оси, подается и мелко распыливается промывная жидкость-смола. Газ также входит в середине аппарата, смешивается со смолой, и эта смесь захватывается отдельными тарелками, благодаря чему разделяется на отдельные потоки. При быстром вращении аппарата между тарелками образуется ряд вызванных центробежной силой смоляных завес, через которые проходит газ.

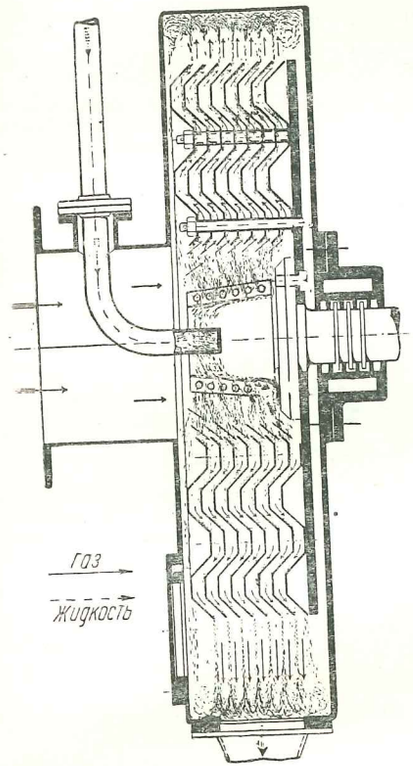


180. Газопромыватель Шварц-Байера

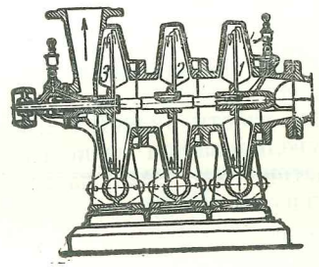
На пути от одной смоляной завесы к другой отдельные струи газа приходят в соприкосновение со смолой, скользящей вдоль тарелок, и со смолой, распыленной между ними. Тесное смешение газа с мелко распыленной смолой имеет место также вне тарелок — в кожухе вентилятора — и притом с большой силой, сообщаемой выбрасываемой смеси смолы и газа быстро вращающимися тарелками. Уносимые механически газом частицы смолы и воды

стекают из тарельчатого газопромывателя и стоящего за ним каплеуловителя в сборный резервуар. Потеря давления в промывателе не имеет места; газ выходит с давлением на 50 *мм* большим, чем при поступлении в промыватель. Тарельчатые промыватели при производительности в 2 500—3 000 *м³/час* потребляют примерно 7 л. с [10]. Особого распространения эти смолоуловители не получили; поэтому следует полагать, что достигаемая при их применении очистка ниже получаемой при дезинтеграторах Тейсена.

4. Смолоотделитель Дейца. Несколько отличен способ очистки в аппарате Дейца (рис. 182). В нем для удаления смолы пользуются мелко распыленной горячей и холодной водой. Генераторный газ входит справа по направлению стрелки последовательно в ступени *1* и *2* и орошается горячей водой. Затем газ попадает для окончательного охлаждения в ступень *3*, где орошается холодной водой. Имеющиеся между отдельными ступенями разделительные стенки с насаженными с обеих сторон лопастями



181. Тарельчатый промыватель Тейсена



182. Промыватель Дейца

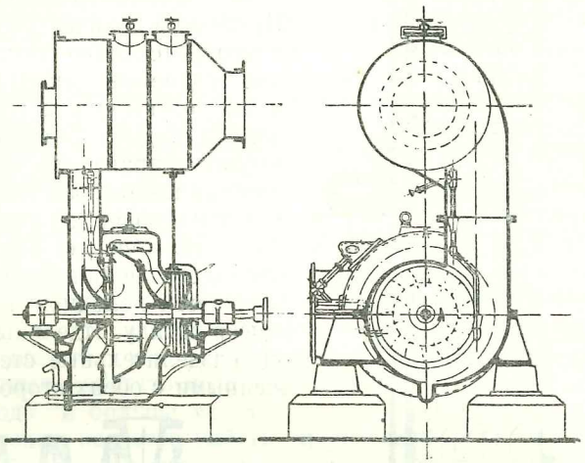
направляют газ сначала к периферии отдельных ступеней, потом к середине и отсюда в соседнюю ступень: при этом газ хорошо орошается мелко распыленной водой.

Смола получается сильно обводненная.

5. Смолоочиститель Теервольф. Центробежный смолоотделитель другой конструкции — аппарат Теервольф, соединенный с мотором или паровой турбиной, представлен на рис. 183. На его валу сидят две вентиляторные крыльчатки. Одна из них, соединенная с барабанным ситом, засасывает газ в направлении стрелки; при этом капли смолы, содержащиеся в газе и имеющие большой удельный вес, отбрасываются наружу к кожуху и через щель и трубку попадают внутрь

вращающегося барабанного сита, мелко распыливающего смолу. При прохождении через сетчатый барабан газ насыщается смоляным туманом до такой степени, что образуются крупные смоляные капли, которые выпадают из потока.

Второй крыльчаткой вентилятора газ направляется тангенциально в лежащий выше каплеуловитель, из которого смола по трубе стекает в сетчатый барабан. Количество промывной смолы регулируется по уровню в нижней части аппарата; для удаления избытка смолы имеется слив. Смолоуловитель Теервольф может создать лишь малое давление газа — порядка 50 *мм* вод. ст. Наиболее благоприятной температурой



183. Центробежный смолоотделитель — аппарат Теервольфа

для его работы является интервал в 50—90°. При низких температурах увеличивается вязкость смолы и ухудшается ее распыливание, вследствие чего уменьшается эффективность промывки.

8-часовое испытание подобного аппарата дало следующие результаты [10]:

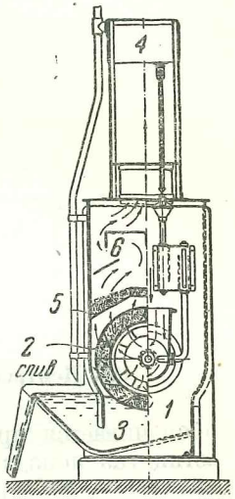
Давление перед смолоотделителем	5 *мм* вод. ст.
» позади смолоотделителя	50 » » »
Температура при входе газа	73 °С
» » выходе газа	67 °С
Число оборотов мотора и смолоотделителя в мин.	1 450
К. п. д.	80%
Расход энергии на валу мотора	22,1 *квт-ч.*
Мощность на валу мотора	2,7 *кв*
Количество полученной за 8 час. неочищенной смолы	164,75 *кг*
То же в процентах от веса газифицированного топлива	4,51
Содержание воды в смоле	2,1%
» пыли в смоле	1,1%
Количество полученной за 8 час. чистой смолы	159 *кг*
То же в процентах от веса газифицированных брикетов	4,35
Количество газа в час	1 140 *м*³

Содержание смолы в газифицировавшихся буроугольных брикетах составляло по лабораторным исследованиям 6% от веса брикетов.

6. Вращающиеся фильтры. Принцип работы вращающихся фильтров Петри и Хекинга (фирма Freitag-Metzler в Дортмунде) основан на постоянном обновлении фильтра путем медленного вращения его и погружения нижней части в промывную жидкость.

Подобный фильтр представлен на рис. 184.

Очистка газа достигается пропусканием его с помощью вентилятора *1* через фильтрующее, медленно вращающееся и погруженное в смолу кольцо *2*. Это кольцо делается из железа и делится на отдельные ячейки промежуточными стенками. Характер заполняющего ячейки фильтрующего материала зависит от рода выделяемых частиц; он может состоять из органических или неорганических материалов (стальные стружки, кольца Рашига и т. п.). Фильтровальное колесо *2* погружено в корыто *3* со смолой, смачивающей его. Действие фильтра может быть улучшено установкой на валу вентилятора кольца, разбрызгивающего смолу, подаваемую из бака *4*. Смола, улавливаемая фильтром, медленно стекает с него в резервуар *3*, снабженный сливом. Частицы смолы, унесенные из фильтра газами, улавливаются фильтром *5*, а также благодаря изменению направления газа посредством железных листов *6*.



184. Вращающийся фильтр Петри и Хекинга

Результаты [10], полученные при испытании очистки генераторного газа из смеси бурого угля, буроугольных брикетов, торфа и коксовой мелочи с помощью вращающегося фильтра, были следующие:

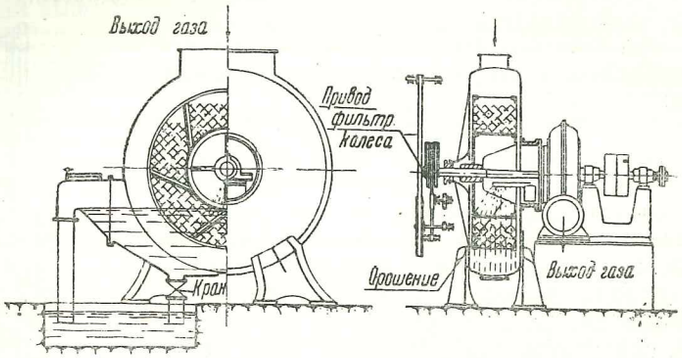
Количество газа	3 500—4 000 *м*³/*час.*
Температура газа	62 ° С
Количество смолы в неочищенном газе	25 *г*/*м*³
Расход энергии на 1 000 *м*³	0,75—0,9 *л. с.*
Повышение давления в аппарате	30 *мм* вод. ст.
Количество смолы и пыли в очищенном газе	1,08 *г*/*м*³
Степень очистки газа	96%
Число оборотов вентилятора	1 140 об/мин.

Сравнительно с другими механическими конструкциями газоочистителей, потребляющими от 4 до 8 *л. с.* на 1 000 *м*³ газа, вращающиеся фильтры имеют значительно меньший расход энергии, правда, при несколько худшей очистке, а сравнительно со статически действующими системами очистки — промывателями, холодильниками и т. п., требуют меньших капитальных и эксплоатационных затрат и занимают меньше места. Эти фильтры имеют также то преимущество, что производительность их не зависит от числа оборотов фильтра.

Изображенный на рис. 185 центробежный очиститель Хилькера служит для очистки газа от пыли и смолы также с помощью вращаю-

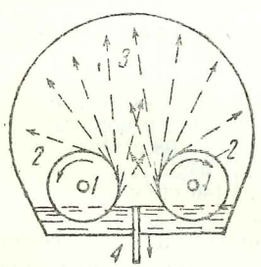
щегося фильтра. Эта конструкция отличается от других формой фильтрационного материала, его расположением в фильтре и специальным движением фильтра — попеременно в обе стороны.

Входящий газ первоначально омывается соответствующей жидкостью и снаружи проникает в фильтровальное колесо. Фильтр постоянно смачивается промывной жидкостью. Очищенный от взвешенных частиц газ попадает внутрь фильтра и отсасывается вентилятором. Вентилятор не загрязняется, так как через него проходит чистый газ. Осевшие в фильтре загрязнения и смола или вымываются промывной жидкостью при вращении и погружении в нее фильтра или удаляются с помощью действующего с большой силой разбрызгивающего промывного приспособления.



185. Центробежный очиститель Хилькера

В качестве фильтрующих материалов применяются полые химически устойчивые предметы с гладкой поверхностью, имеющие удельный вес меньше единицы и всплывающие в жидкости. В связи с переменным движением колеса фильтра достигается постоянное перемещение и хорошая очистка заполнения фильтра. В этих аппаратах потребление энергии составляет примерно 0,5 л. с. на 1 000 $м^3$ газа в час [10]. Эксплоатационные расходы очень малы, так как фильтрующий материал может служить неограниченно долгое время.



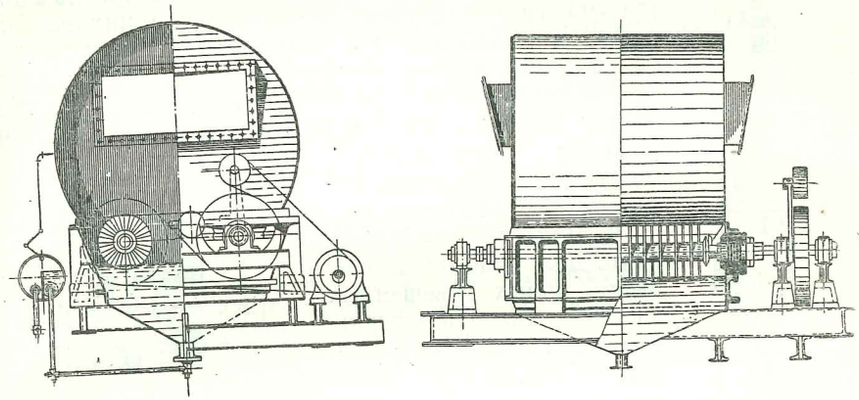
186. Центробежный дисковый промыватель Штредера

7. Дисковые промыватели. Для очистки газа применяют также центробежные дисковые промыватели системы Штредера по схеме рис. 186.

Диски *2*, насаженные на двух параллельных валах *1* и погруженные нижней частью в промывную жидкость, вращаются в противоположных направлениях, разбрызгивая при этом жидкость в мелкую пыль по всему пространству *3*. Газ проходит под углом к направлению движения жидкости. Последняя удаляется из промывателя трубой *4*.

Иногда на горизонтальные оси насаживают многочисленные, наполняющие весь барабан, широкие и узкие винтообразные бросающие лопасти или пальцы, чередующиеся с черпающими лопастями. Газ захватывается лопастями и погружается в промывающую жидкость. При этом имеет место ударное действие частей, бесполезное для действия аппаратов и сильно повышающее расход энергии. Эти приспособления имеют еще тот недостаток, что загрязняющие газ частицы, оседающие на внутренней поверхности аппарата, вновь подхватываются и бросаются лопастями.

Внешний вид аппарата представлен на рис. 187.



187. Дисковый промыватель

Дисковые промыватели применяются преимущественно для частичной очистки газа от смолистых или других веществ.

8. Аппараты «Пелуз». Иногда для отделения мельчайших капель легкой смолы применяется аппарат системы «Пелуз», представленный на рис. 188 и основанный на выпадении частиц под действием удара. Охлажденный газ, уже несколько очищенный от смолы, входит под колокол *1*, находящийся в железном кожухе *2*. Колокол *1* состоит из нескольких (до 4) входящих друг в друга сетчатых цилиндров с отверстиями. Эти отверстия расположены на отдельных цилиндрах в шахматном порядке. Открытые снизу цилиндры погружены в смоляной затвор *3*. Колокол подвешен к штанге *4*; с помощью груза *5* можно поддерживать желаемое давление под колоколом.

Выделение смолы достигается благодаря удару вытекающего с значительной скоростью (15—20 *м/сек*) газа из отверстий на поверхность наружного цилиндра. Чем больше скорость вытекания газа, тем больше степень очищения.

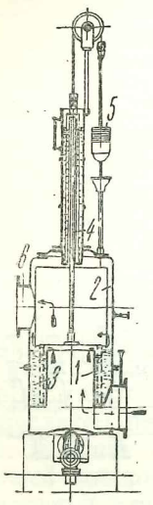
Выпадающая в аппарате смола сифоном сливается в яму. Очищенный газ выходит через патрубок *6*.

При увеличении производительности и давления в аппарате колокол поднимается, и большее число отверстий пропускает газ из-под колокола, сохраняя неизменной скорость движения газа.

Если же, наоборот, давление падает, то и колокол погружается в смолу так, чтобы площадь газовых отверстий соответствовала меньшему количеству протекающего газа.

Для хорошей работы аппарата температура газа не должна опускаться ниже 18—30°. При более низкой температуре смола сгущается и закупоривает отверстия колокола.

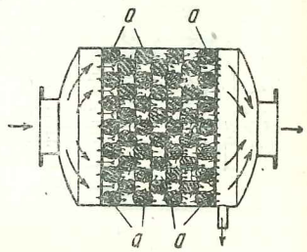
Для повышения эфективности аппарат орошается смолой и цилиндры выполняются вращающимися, что способствует удалению загрязнений с цилиндров, и путем подогрева смолы создается возможность регулировать температуру выделения смол.



188. Аппарат системы Пелуз

Аппараты «Пелуз» имеют большое сопротивление (70—90 *мм*) [113]. Степень достигаемой в них очистки ниже, и поддерживание определенной температуры труднее, чем в дезинтеграторах; кроме того они более громоздки. При наличии в смоле твердого парафина или других компонентов, имеющих высокую температуру затвердевания, происходит засорение отверстий цилиндров.

9. Очистка газа фильтрами. Для очистки газа от очень малых взвешенных частичек хорошие результаты дает метод, основанный на прилипании частичек к стенкам. Требуемая при этом большая поверхность прилипания образуется или с помощью тонких телец-пластинок, трубок и др. или посредством металлических спиральных нитей большей или меньшей толщины. Слишком тонкие металлические спирали или витки, имеющие целью увеличить очистительную способность аппарата, быстро изнашиваются вследствие того, что они подвергаются ударам.



189. Фильтр, основанный на прилипании частиц

О. Зорге (Берлин) устроил подобные фильтры из спиральных или витых металлических телец, спрессовывая их в кубики или шары (рис. 189) и помещая их таким образом, чтобы промежутки между тельцами были меньше самих телец. При этом значительно удлиняется путь газов или паров, движущихся зигзагообразно, как показано на рисунке стрелками, по пути наименьшего сопротивления, то сквозь плотные тела *a*, то через свободные промежутки между ними. Видоизменение описанного метода заключается в том, что промежутки между телами из прочного вещества заполнены веществом менее прочным, но очищающим значительно лучше. Более прочное вещество в этом случае предохраняет менее прочное от разрушения [10].

В США с успехом полностью очищают генераторный газ от смолы, пропуская газ через насадку из стеклянной ваты. Как указывает Тау [115], выделение смолы достигается вследствие образования при трении газа о стеклянную вату электрических токов, вызывающих выделение смолы. Засорения ваты смолой не наблюдается.

Электрическая очистка газа

1. Принцип работы электрофильтров. Работа электрофильтров основана на истечении свободного электричества из проводника, заряженного током высокого напряжения. Наименьшие электрические заряды — электроны,—стекают в газообразную среду, отделяющую два заряженных полюса. Этот электрический поток очень мал. Чтобы его усилить, поверхность проводника должна быть сильно искривлена [107, 116].

Один из электродов — излучающий — выполняется таким образом, что благодаря его сильно искривленной поверхности он отдает электроны; второй электрод — с большими поверхностями—является осадительным. Стекающие электроны вызывают ионизацию газового пространства между электродами.

Видимым явлением при наступлении ионного разряда является появление вокруг поверхности излучающего электрода слабого свечения — короны. У отрицательного полюса это свечение постоянно, у положительного же оно непостоянно. Пространство внутри короны сильно ионизировано и поэтому хорошо проводит ток.

В случае очень большой разности потенциалов на электродах получается искровый разряд.

Ионизация начинается тогда, когда градиент напряжения около электрода превысит пробивное сопротивление газа (для воздуха около 21 000 *в/см*). Пробивание должно происходить лишь на некотором расстоянии, представляющем собой часть всего расстояния между электродами. Часть газового слоя должна служить изоляцией и оставаться непробитой; в противном случае произойдет короткое замыкание между электродами через дугу или искру.

Пробивное напряжение растет с повышением давления. Для воздуха оно составляет при давлении в 1 *ат* —21 *кв/см* и при давлении в 10 *ат* — 210 *кв/см*, что объясняется уменьшением подвижности ионов с увеличением давления.

Несмотря на удобство и дешевизну пользования переменным током и возможность трансформировать ток низкого напряжения до необходимого для электрофильтров напряжения или пользоваться током с высоковольтных линий, для электрофильтров пользуются исключительно постоянным током, требующим повышения напряжения переменного тока и последующего его выпрямления. Излучающие электроды являются отрицательным полюсом, осадительные, заземленные — положительным.

Опыт показывает, что при постоянном токе отрицательного знака степень очистки составляет 95—98%, при положительном постоянном токе — 70—80% и при переменном токе — только 50%.

Ухудшение очистки при применении переменного тока объясняется переменным действием притягивающих и отталкивающих сил. Преиму-

щества отрицательного тока объясняются возможностью поддерживать при нем без пробивания более высокое напряжение, чем при положительном токе, что увеличивает напряжение поля, диаметр короны и улучшает осаждение. Кроме того скорость отрицательных ионов при одном и том же напряжении поля бóльшая, что также способствует лучшей очистке газа.

Под действием коронного разряда в ионном поле электрофильтров происходит заряжение находящихся в газе частичек пыли или капелек тумана.

Взвешенные частицы размером менее 10^{-7} *см* (молекулярно-дисперсное состояние) не подвергаются воздействию электрического заряда (в смысле осаждения); при бóльших размерах они могут быть выделены.

Частицы размером менее 10^{-5} *см* не подчинены действию силы тяжести и центробежной силы; поэтому очистка их механическим путем в сухих пылеуловителях невозможна. Эти частицы также не смачиваются водой, почему невозможна и их мокрая очистка. Электрические заряды действуют на подобные частицы, увеличивая их до тех пор, пока они не достигнут предела воздействия на них силы тяжести. Следует также отметить, что мелкие частицы, получившие заряд, при охлаждении газа ниже точки росы становятся благодаря заряду центрами конденсации и, обволакиваясь водой, оседают (или в электрофильтре или в скруббере).

В результате заряжения взвешенных частиц имеют место два процесса:

1) заряженные и незаряженные частицы притягиваются и соединяются в крупные капли или частицы, которые вследствие своей тяжести выпадают;

2) заряженные определенным электрическим зарядом частицы отталкиваются от одноименного (активного) полюса, притягиваются к полюсу с противоположным зарядом, нейтрализуются здесь, скапливаются все в большем количестве и выпадают сами или с помощью встряхивания.

Ионы и частицы, движущиеся от излучающего провода, беспрепятственно достигают поверхности второго полюса, движущиеся же к проводу сталкиваются с тем большим количеством свободных электронов, чем ближе подходят к проводу; в результате происходят их нейтрализация и перезаряжение. Достигают провода только немногие ионы и частицы.

Преимущественное значение имеет осаждение частиц, так как притяжение частиц может быть при их разноименном заряде, т. е. при короне переменного тока.

Частицы некоторых веществ плохо осаждаются в электрофильтрах, и для улучшения осаждения их приходится подготавливать— увлажнять, создавать определенную температуру и т. д.

Влияние влажности газа на степень очистки его очень велико, и с увеличением содержания влаги качество очистки улучшается.

Содержание в газе влаги целесообразно увеличивать при осаждении взвешенных частиц из влажного газа с температурой выше точки росы в тех случаях, когда пыль по своим свойствам плохо воспринимает заряд или газ выходит из технологического процесса ионизированным и вызывающим беспорядочное изменение зарядов в электрофильтре, или пыль является малопроводящей. Увеличение влажности газа приводит к адсорбции паров отдельными частицами пыли, увеличению проводимости этих частиц и улучшению способности заряжаться.

Осаждение на электродах малопроводящей пыли препятствует дальнейшей отдаче частицами зарядов или прекращает ее. При неравномерном осаждении на электродах пыли электрическое поле в отдельных точках сгущается, и появляется положительная корона на осадительном электроде, что ведет к пробою.

При необходимости в очень высокой степени очистки газа взвешенные в газе частицы осаждают при температурах ниже точки росы газа, так как самые мелкие частицы в сухом виде не могут быть выделены вследствие незначительности получаемого ими заряда. При понижении температуры газа ниже точки росы на взвешенных частицах, как на центрах конденсации, происходит осаждение паров воды, и электроны увлекают взвешенные частицы вместе с их водной оболочкой. При электрической очистке газ освобождается также от сконденсировавшейся влаги.

2. Оборудование электрофильтров. Для получения тока высокого напряжения пользуются трансформаторами, в которых обычный переменный ток в 220, 380 или 500 *в* трансформируется на 40 000—80 000 *в*.

Ток выпрямляется обычно с помощью вращающегося выпрямителя, соединенного с синхронно вращающимся мотором, в пульсирующий постоянный ток. Отрицательный полюс выпрямителя связывается с хорошо изолированным излучающим электродом; положительный полюс связывается с осадительным электродом и заземляется. Выпрямление может также производиться с помощью мотор-генератора или катодных ламп.

В стандартный комплект повышающе-выпрямительного агрегата, стандартизованный трестом «Газоочистка», входят: высоковольтный трансформатор, автотрансформатор с коммутатором для регулирования напряжения, мотор с выпрямительным крестом, реостат, щит с вольтметром, амперметром и миллиамперметром, сигнальными лампами и рубильником, дроссели, радиозащита и дверь с предохранительным контактом.

В машинном отделении устанавливается несколько агрегатов, что связано с ограниченной мощностью агрегатов, необходимостью иметь в различных камерах различное напряжение и необходимостью в наличии резерва [107].

3. Трубчатые и пластинчатые электрофильтры. Электроды, на которых осаждаются взвешенные в газе частицы, выполняются или в виде пластин или в виде труб, а электроды, с которых стекают электрические заряды,— в виде проволок.

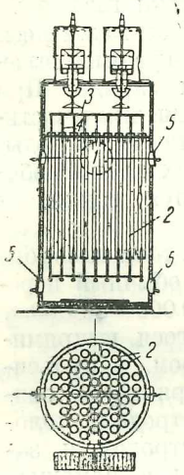
Положительные полюсы (трубы или пластины) заземляются.

Форма электродов имеет значение в отношении равномерности распределения электрического поля и количества потребляемого тока.

Для подвески излучающих электродов служат фарфоровые или кварцевые изоляторы.

Несмотря на высокие применяемые напряжения опасность коротких замыканий мала, так как сила тока составляет тысячные доли ампера.

На рис. 190 представлен трубчатый электрофильтр, спроектированный московским трестом «Газоочистка» [107]. Газ входит в него через отверстие *1*, спускается книзу и поднимается вверх через трубы *2*. Электрический ток высокого напряжения проходит через раму *3* и провода из тонкой проволоки, помещенные по оси труб. Заряжающиеся взвешенные частицы смолы или соединяются с незаряженными частицами и выпадают непосредственно вниз в виде крупных капель, или отталкиваются от полюсов-проводов *4* и оседают на трубах *2*, с которых стекают вниз. Удаляется смола внизу через сливную трубку. Газ из аппарата выходит через отверстие вверху. Клапаны *5* являются предохранительными на случай, если вследствие создавшегося по какой-либо причине разрежения в газопроводе или в аппарате и наличия неплотности воздух присосется к газу и в аппарате произойдет взрыв. Эти же клапаны служат лазами. Скорость газа в трубах менее 1,5 *м/сек*. и время пребывания в электрическом поле более 2 сек. Сопротивление электрофильтра — 3—5 *мм* вод. ст. Для обеспечения стока смолы из аппарата на дне уложен паровой змеевик для разогрева смолы, особенно необходимый при пуске аппаратов после остановок. Коронирующие электроды *4* и рама *3* подвешены на изоляторах, заключенных в коробки во избежание загрязнения и пробоя.



190. Трубчатый электрофильтр

Если из газа осаждается пыль, то она стряхивается с труб ударными приспособлениями и падает вниз. Газ, заполняющий аппараты, может быть удален с помощью специальной вытяжной трубы. Для продувки аппарата имеется специальный ввод пара.

Преимуществом трубчатых камер являются лучшее распределение электрического поля и лучшее распределение газа, что дает возможность увеличить производительность аппарата сравнительно с пластинчатым и достичь лучшей очистки газа.

Недостатки трубчатых камер следующие: монтаж их сложнее, отряхивание излучающих проводов затруднительно, и возможно качание проводов, так как нижняя направляющая рама подвешена на самих проводах.

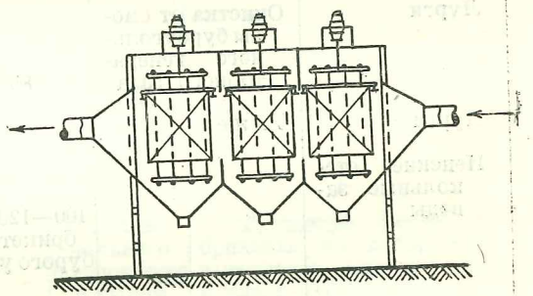
Трубчатые камеры применяют в случаях трудности осаждения взвешенных частиц вследствие их соответствующих свойств, при необходимости в более тонкой очистке газа и при осаждении туманов жидкостей, когда не требуется встряхивания электродов.

Трубы обычно применяются железные диаметром в 200—300 *мм* и длиной в 3 000—4 000 *мм*.

На рис. 191 представлена схема прямоугольного аппарата с пластинами. В нем газ движется в горизонтальном направлении, иногда — в несколько ходов. Осадительные пластины помещаются обычно параллельно потоку газов. Иногда их делают в виде густой сетки, натянутой на раме для предупреждения коробления. Сетчатые пластины могут располагаться перпендикулярно потоку газов. Пластины больших размеров могут состоять из отдельных полос.

Иногда пластины делают из полупроводника — бетона, что преследует цель уменьшения силы отталкивания частицы, отдавшей электроду свой заряд и перезарядившейся. Сопротивление пластинчатого электрофильтра не более 10 *мм* вод. ст.

Преимуществом пластинчатых электрофильтров являются: простота монтажа, удобство отряхивания электродов и возможность увеличения размеров без увеличения числа камер (увеличение числа или длины труб в трубчатых электрофильтрах затруднительно).



191. Схема устройства пластинчатого электрофильтра

Пластинчатые аппараты имеют большую производительность — до 70 000 $м^3/час$, тогда как трубчатые только до 20 000—25 000 $м^3/час$. Недостатком их являются худшее распределение электрического потока сравнительно с трубчатыми аппаратами и затруднительность получения равномерного распределения в них потока газов. В случае взрыва они легче деформируются. Коронирующие электроды выполняются обычно из гладкой проволоки небольшого диаметра (1—5 *мм*). Материалом для проволок служат железо и сталь, в специальных случаях — другие металлы или сплавы.

4. Данные о конструкциях и работе электрофильтров. Степень очистки электрофильтром зависит от скорости, температуры и влажности газа. Через короткое время после пуска условия работы электрофильтров ухудшаются. Пыль садится не только на осадительные электроды, но и на коронирующие. Выделяемые из газа вещества не целиком спадают с электродов, а частично остаются на них.

При горячих газах бывают внезапные быстрые увеличения силы тока, часто вызывающие пробивание изоляторов; пробиванию может способствовать и осаждение на изоляторах паров воды или смол, для предупреждения чего изоляторы подогревают.

Электростатический способ, как и механический, может в зависимости от температуры газа служить для различной степени очистки. При температуре выше точки росы водяного пара возможно выделить почти безводную смолу, при более низких температурах возможно выделить также взвешенную и конденсирующуюся влагу с легкими маслами, которые можно отделить друг от друга.

Данные о работе электрофильтров для очистки газа

Устанавливавшая фирма (организация) или место установки	Назначение	Колич. газа в *н. м³/час* или топлива *т/24 часа*	Путь газа из генератора до электрофильтра	Температура газа в °С	
				в 1-й ступени	во 2-й ступени
Лурги	Очистка от смолы буроугольного генераторного газа	855	—	80—100	20—30
Лурги	То же	—	—	90	30—40
Иенские стекольные заводы	»	100—120 *т* брикетов бурого угля	Пылеуловитель и трубчатый холодильник	80—90	30—40
Лурги	»	—	—	При входе 83—110 при выходе 75—85	—
Лурги	»	61,45 *т* брикетов бурого угля	Пылеуловитель и охладитель	90—100	20—30
Сименс и Шуккерт	Очистка от пыли доменного газа	2 850—4 100	—	76 — 130	
Сименс и Шуккерт	То же	3 500—3 900	—	84 — 118	
Эльга	»	40 000	—	60	
Ленинградский физико-химический институт	Очистка генераторного газа из подмосковного угля (Щекинский завод)	—	—	—	—

Таблица 88

Потребление энергии (в *квт-ч* на 1 000 *нм³*)	Степень очистки (в *г/нм³*)			Примечание
	сырой газ	после 1-й ступени	очищенный газ	
1,3	20	—	0,04	—
—	30	0,7	0,01—0,02	—
1,9 на 100 *кг* смолы	9% от веса топлива	—	1% от начального содержания в сыром газе	Содержание смолы в брикетах по лабораторным исследованиям — 14% и влаги—21%.
1,8	30	0,2—0,3	0,01—0,02	Потеря давления на всем пути—15—20 *мм*. В первом очистителе осаждено 3,44% смолы, во втором — масел — 0,69%. Смолы в угле—4,61%.
1,2	—	—	—	Выход смолы и масла составил 6,65% от веса топлива; содержание смолы в брикетах—6,72%.
—	1,72—14,90	0,060—0,340	—	Скорость газа — 3,06—3,96 *м/сек*.
—	6,10—30,50	0,001—0,051	—	Скорость газа 2,18—2,45 *м/сек*.
2,5	4—6	0,015—0,020	—	Скорость газа — 3 *м/сек*.
—	12,9	0,52	—	Опытная установка.

В табл. 88 приведены [116] данные о работе электрофильтров для очистки газов от смолы и пыли.

Для предупреждения сильного охлаждения газа в электрофильтрах и конденсации влаги их покрывают термоизоляционным слоем.

По возможности до электрофильтра газ очищают от пыли, так как последняя выделяется вместе со смолой, и если в газе содержится много пыли, консистенция смолы получается слишком густой, смола накапливается на трубах или пластинах, что вызывает необходимость очистки фильтра.

Так же как и при механической очистке, в случае наличия в газе уксусной кислоты следует принимать предохранительные меры для защиты металлических частей от преждевременного износа: применяют специальные более стойкие сорта металла, более толстые части и т. д.

В условиях электрического поля в электрофильтрах и коронного разряда газ при наличии искры или пробоя взрывается даже при нахождении в нем кислорода в количестве, не соответствующем обычной взрывчатости смеси. Поэтому необходимо тщательно следить за плотностью аппаратуры, избегать образования в системе до электрофильтра разрежения, связанного с опасностью присоса воздуха, и следить за составом газа.

В соответствии с взрывоопасностью электрофильтра при установке его предъявляются соответствующие требования в отношении территориального отделения от прочего оборудования и зданий.

Трест «Газоочистка» [107] дает следующие данные для электрофильтров, проектируемых для очистки генераторного газа.

При производительности аппарата в 12 000—15 000 $м^3$ газа (при 85°) камера имеет диаметр в 3 500 *мм*. Высота камеры с фундаментами и изоляторными коробками — 9 200 *мм*. На трубчатой решетке подвешено 55 труб диаметром в 250 *мм* (скорость — 1,2—1,5 *м/сек*) и высотой в 4 *м*. Газ входит в межтрубное пространство на высоте в 4 900 *мм* и отводится после выхода из труб на высоте в 6 600 *мм*. Коронирующие провода имеют диаметр в 2 *мм* и делаются при угольном или коксовом газе из железа и при дровяном или торфяном во избежание разъедания уксусной кислотой — из нихрома. Верхняя рама коронирующих проводов подвешена на штангах в трех точках; нижняя рама висит на самых проводах, причем она сделана гибкой, чтобы не натягивать чрезмерно отдельных проволок.

Изоляторы укреплены в цилиндрических коробках на верхней крышке камеры и изолированы от газа масляными ваннами. В случае загрязнения трансформаторного масла смолой возможна работа без масляной ванны; при этом во избежание конденсации на изоляторах смол и легких масел изоляторные коробки обогреваются паровыми рубашками. Помимо предохранительных клапанов с противовесами, которыми снабжен кожух, в крыше электрофильтра предусмотрены пружинные клапаны.

Толщина листов кожуха — 7 *мм*. Полный вес камеры с трубами из 3-миллиметрового железа составляет 18 *т* и с трубами толщиной в 7 *мм* (цельнотянутые) — 24,5 *т*. Две такие камеры питаются от одного стандартного электроагрегата.

Пропускная способность малых камер — 5 000—6 000 $м^3/час$. Диаметр их — 2 500 *мм*, высота — 8 065 *мм*, полный вес — 1 *т*. Они снабжены 24 трубами диаметром в 250 *мм* и длиной в 3 *м*.

Газогенераторстроем проектируются электрофильтры горизонтального типа. Примерная скорость газа в них — 0,8 *м/сек* и время пребывания газа в электрическом поле — 7 сек. Для экономии места они выполняются в несколько ходов и для экономии металла — из железобетона.

5. Сравнение электрофильтров и аппаратов Тейсена. Расход энергии в электрофильтрах на очистку газа не превышает 0,5 *квт-ч* на 1 000 $м^3$ газа, и следовательно даже с учетом расхода энергии на нагнетание газа (2,0—2,5 *квт-ч* на 1 000 $м^3$) он значительно меньше, чем при аппаратах Тейсена.

Ниже приведено сравнение затрат при очистке от смолы торфяного газа аппаратами Тейсена и электрофильтрами для производительности в 44 000 $м^3/час$ (0°, 760 *мм*) в двух аппаратах Тейсена (3-й — резервный) или трех электрофильтрах (4-й — резервный). Изготовление частей аппаратов Тейсена предположено из кислотоупорной стали во избежание коррозии уксусной кислотой [1].

Электроочистка		Дезинтеграторы	
1. Капитальные затраты			
Полная стоимость электрофильтров, подстанции, вспомогательного оборудования и пр.	424 000 руб.	Стоимость аппаратов Тейсена, каплеуловителей, насосов, арматуры, моторов, пускового оборудования, подводки тока и пр.	390 000 руб.
Стоимость нагнетательной установки (вентиляторы и моторы)	39 900 »	Монтаж, фундаменты, накладные расходы (25% от стоимости оборудования)	97 500 »
Стоимость гидравлических затворов	13 500 »		
	477 400 руб.		487 500 руб.
2. Эксплоатационные годовые затраты (без электроэнергии)			
Обслуживание, включая 100% накладных расходов на рабсилу	19 200 руб.	Обслуживание (рабочие и слесаря)	21 600 руб.
Смазка	1 200 »	Смазка	2 400 »
Ремонт	4 000 »	Ремонт	12 000 »
Масло трансформаторное	2 400 »	Охлаждающая вода для аппарата Тейсена (3 $м^3$ на каждый в сутки)	540 »
	26 800 руб.		36 540 руб.

[1] Расчет произведен Ленинградским отделением Газогенераторстроя.

Продолжение

Электроочистка	Дезинтеграторы
3. Затраты на электроэнергию в час	
Стоимость электроэнергии для фильтров 5 р. 30 к. Стоимость энергии для нагнетания газа 150 *квт-ч.* × 0,12 . . . . 18 р. 23 р. 30 к.	Стоимость электроэнергии, расходуемой на аппарат Тейсена 524 *квт-ч* × 0,12 = 63 руб.

Сводя затраты к 1 часу и к 1 000 $м^3$ газа, полагая амортизацию капитальных затрат в 10 лет и работу в течение 360 дней в году, получаем данные, приведенные в табл. 89.

Таблица 89

Сводка затрат на очистку газа (в коп.)

Затраты	В электрофильтрах		В аппаратах Тейсена	
	в час	на 1 000 $м^3$	в час	на 1 000 $м^3$
Капиталовложения . .	5,50	12,5	5,65	12,8
Эксплоатация	3,10	7,1	4,23	10,6
Электроэнергия	23,30	53,4	63,00	143,6
	31,90	73,0	72,88	167,0

Большая стоимость больших аппаратов Тейсена объясняется сложностью их изготовления и необходимостью в условиях торфяного газа, из опасения разъедания уксусной кислотой, изготовления их из специальной кислотоупорной стали. При изготовлении аппаратов Тейсена из менее ценных сортов стали стоимость их должна быть значительно ниже.

Сравнение показывает снижение расходов при электроочистке в 2,3 раза и потребления энергии в 2,7 раза.

Если в отношении экономики аппараты Тейсена уступают электрофильтрам, то все же необходимо отметить, что они компактны, проще и менее взрывоопасны, чем электрофильтры.

Для малых и средних установок, несмотря на большую стоимость эксплоатации, следует рекомендовать в качестве смолоулавливающих приспособлений аппараты Тейсена.

Только в больших установках экономия, достигаемая применением электрофильтров, столь велика, что возможно итти на установку более громоздкого, сложного и требующего высококвалифицированного обслуживания аппарата.

6. МОКРАЯ ОЧИСТКА СМОЛИСТОГО ГАЗА

При газификации смолистых топлив газ уносит из генератора пыль, смолу и сажу. Целью мокрой очистки является освобождение газа от этих примесей.

Обычно для улавливания смолы применяются специальные смолоотделители; газ перед поступлением в них подвергается некоторой подготовке, зависящей от его температуры и содержания в нем пыли и сажи.

Температура генераторного газа

При работе на генераторах без швельшахты температура газа составляет примерно (в °С):

Для воздушносухих дров и торфа	200—300
» очень влажных » »	100—150
» влажного бурого угля (подмосковный)	70—125
» бурого угля менее влажного (челябинский) . . .	200—350
» брикетов бурого угля (германские данные)	300—450
» каменного угля	500—700

В случае работы на генераторах со швельшахтой температура газа колеблется в пределах 75—130°.

Если температура газа при выходе из генератора превышает 100°, то газ подвергается охлаждению в стояке до температуры в 75—87° (на 10—15° выше точки росы), наиболее благоприятной для получения мало обводненной смолы и работы смолоотделителя. Охлаждение газа в стояке производится специальными приспособлениями, распыливающими воду.

Часть распыливаемой воды испаряется, понижая температуру газа, часть же собирается у основания или в затворе стояка, причем выпадающей частью воды увлекаются из газа наиболее тяжелые смолистые вещества и часть пыли и сажи.

Выделение из газа взвешенных частиц до и после смолоотделителя

Смолу желательно улавливать возможно более очищенной от сажи и пыли, чем достигается улучшение качества смолы и лучшая работа смолоотделителей. Поэтому в целях лучшей очистки газа от пыли и сажи при их большом содержании и достаточно высокой температуре газа и чтобы не было конденсации смол до стояка-охладителя иногда устанавливают пылеуловители.

После прохождения газа через смолоотделитель значительная часть смолистых веществ остается в газе преимущественно в виде паров и частично в сконденсированном виде. Большая часть их вымывается в водяном скруббере, куда попадает газ из смолоотделителя. В газе, выходящем из скруббера, содержится 1—1,5 $г/м^3$ масел и некоторое количество механически увлеченной влаги.

В случае установки в качестве смолоотделителя дезинтегратора, последний сам создает давление, необходимое для подачи газа в сеть; если же смолоотделителем является электрофильтр или другое приспособление, не повышающее давления газа, то газ по выходе из

скруббера попадает в газовый вентилятор, который нагнетает его в сеть. Так как в газовом вентиляторе частицы влаги и смолы укрупняются, за газовыми вентиляторами устанавливаются сухие скрубберы-каплеуловители, заполненные кольцами Рашига или коксом, в которых благодаря ударам, изменению направлений и трению выделяются наиболее крупные взвешенные в газе частицы.

Схемы установок

При газификации топлив, выделяющих при сухой перегонке много смолистых веществ, помимо обычных генераторов часто применяют газогенераторы со швельшахтой как в целях получения большего количества лучшей по качеству смолы, так и улучшения хода генератора.

При влажных топливах (древесине, торфе, буром угле) генераторы со швельшахтой применяют с одним отъемом газа, и следовательно при газификации подобных топлив в генераторах со швельшахтой или без таковой очистке от смолы подвергают весь газ.

В случае газификации сухих углей, преимущественно каменных углей или брикетов бурого угля, с улавливанием смолы, как известно, применяют генераторы с двойным отъемом газа. Нижний отъем газа из собственно шахты представляет собою газ, полученный из полукокса. Очистка газа нижнего отъема аналогична очистке газа из кокса. Трубчатые котлы могут быть применены лишь в случае достаточных размеров швельшахты и полного выделения в ней смолистых веществ, на что не всегда можно рассчитывать.

Очистка газа верхнего отъема (из швельшахты) производится так же, как и очистка каменноугольного газа из обычных генераторов. Получаемый из обоих отъемов газ часто после очистки смешивается.

В случае применения специальных аппаратов для улавливания смолы обычно применяются следующие схемы установок.

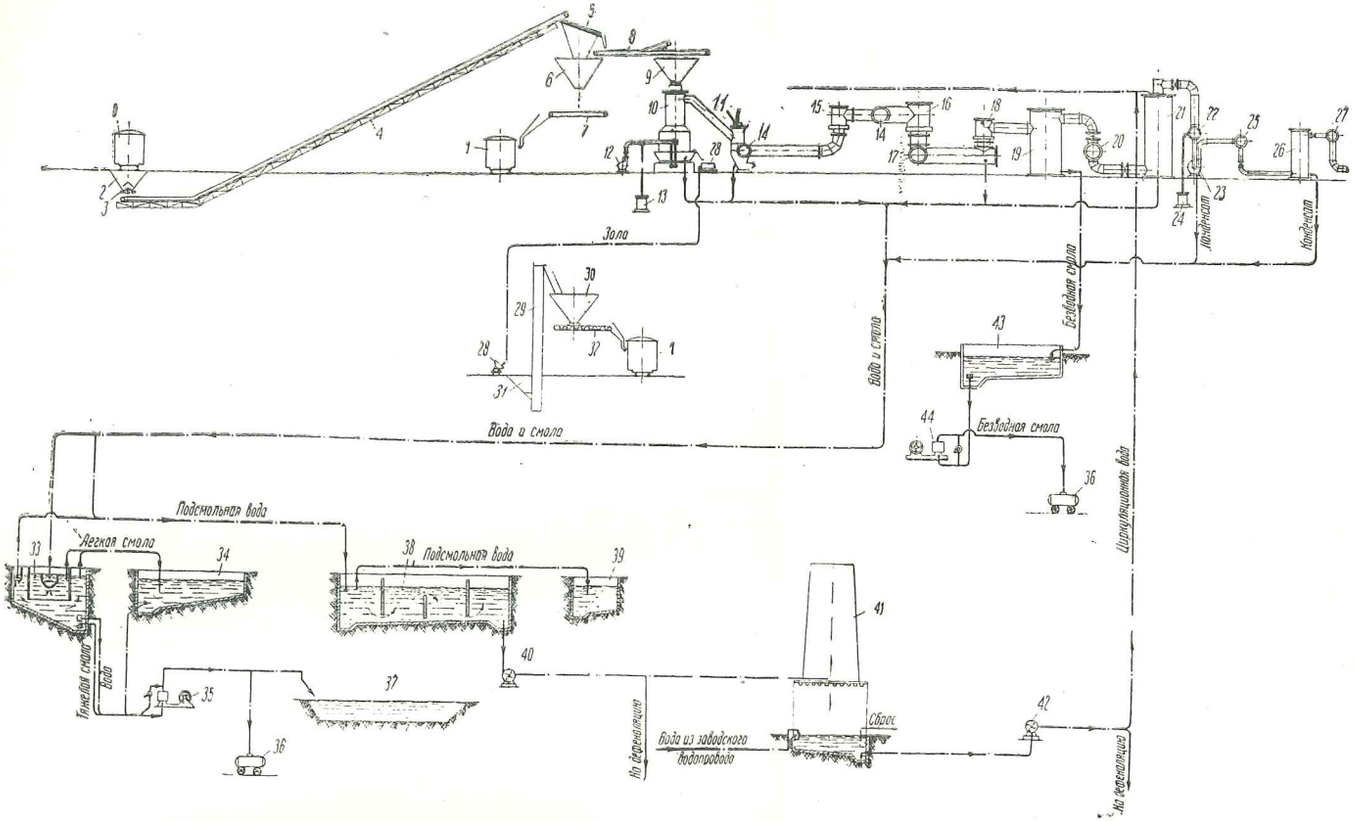
1. Для дров, торфа и влажного бурого угля — генератор, стояк-охладитель, коллектор газа, смолоотделитель, коллектор очищенного газа, скруббер, коллектор осушенного газа, а также газовый вентилятор и каплеуловитель, в случае если смолоуловительный аппарат не повышает давления газа. При низкой температуре выходящего из генератора газа (рис. 192) и в случае установки перед смолоотделителем поверхностного холодильника стояков-охладителей не применяют. Смолоотделители и скрубберы изредка устанавливают индивидуальные у каждого генератора.

Если температура газа при выходе из генератора настолько низка, что может начаться преждевременная конденсация влаги, обводняющей смолу или способствующей коррозии оборудования вследствие одновременного выделения уксусной кислоты (см. ниже), возможна установка за генератором газоподогревателей, в которых обычно сжигается часть газа (рис. 193).

2. Для каменного и бурого угля с малым содержанием влаги при генераторе без швельшахты установка может отличаться дополнительным применением до стояка-охладителя, в котором вымывается часть пыли и высококипящих смол, также сухого пылеуловителя (рис. 194).

ый вентилятор, который нагнетает его
тиляторе частицы влаги и смолы укруп-
иторами устанавливаются сухие скруб-
енные кольцами Рашига или коксом,
м, изменению направлений и трению
е взвешенные в газе частицы.

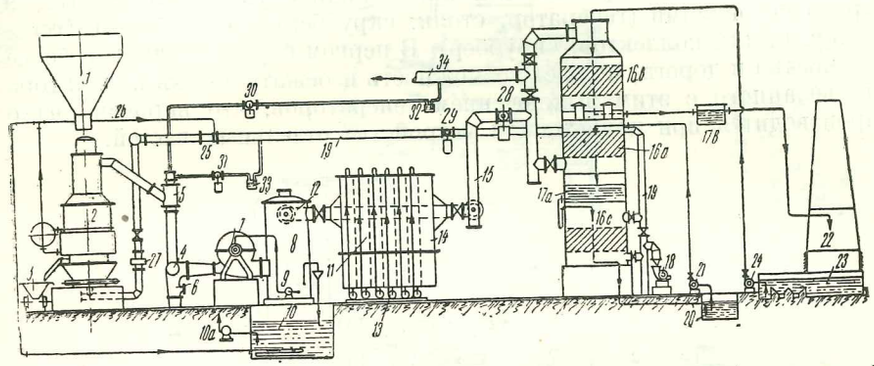
выделяющих при сухой перегонке много
ичных генераторов часто применяют газо-
ак в целях получения большего количе-
лы, так и улучшения хода генератора.
ревесине, торфе, буром угле) генераторы
одним отъемом газа, и следовательно
оплив в генераторах со швельшахтой
олы подвергают весь газ.
ких углей, преимущественно каменных
я, с улавливанием смолы, как известно,
ным отъемом газа. Нижний отъем газа
вляет собою газ, полученный из полу-
отъема аналогична очистке газа из
быть применены лишь в случае доста-
и полного выделения в ней смолистых
жно рассчитывать.
ма (из швельшахты) производится так
ольного газа из обычных генераторов.
газ часто после очистки смешивается.
циальных аппаратов для улавливания
ледующие схемы установок.
жного бурого угля — генератор, стояк-
молоотделитель, коллектор очищенного
ушенного газа, а также газовый вен-
лучае если смолоуловительный аппарат
При низкой температуре выходящего
и в случае установки перед смолоот-
лодильника стояков-охладителей не
и скрубберы изредка устанавливают
нератора.
выходе из генератора настолько низка,
менная конденсация влаги, обводняю-
ей коррозии оборудования вследствие
сусной кислоты (см. ниже), возможна
воподогревателей, в которых обычно
).
угля с малым содержанием влаги при
тановка может отличаться дополнитель-
ладителя, в котором вымывается часть
также сухого пылеуловителя (рис. 194).



192. Схема мокрой очистки смолистого газа:

1 — вагон широкой колеи, *2* — приемный складской бункер, *3* — ленточный транспортер, *4* — ленточный транспортер эстокады, *5* — грохот для отсева мелочи, *6* — бункер для мелочи, *7* — ленточный транспортер для мелочи, *8* — ленточный транспортер со сбрасывающей тележкой, *9* — бункер газогенератора, *10* — газогенератор, *11* — стояк, *12* — воздушный вентилятор, *13* — регулятор количества воздуха, *14* — коллектор сырого газа, *15* — тарельчатый клапан газопровода, *16* — тарельчатый клапан, *17* — коллектор перед электрофильтром, *18* — тарельчатый клапан, *19* — электрофильтр, *20* — коллектор газа перед скруббером, *21* — скруббер, *22* — коллектор после скруббера, *23* — газовый вентилятор I ступени, *24* — регулятор давления газа, *25* — коллектор газа перед каплеуловителями, *26* — каплеуловитель, *27* — коллектор газа, *28* — вагонетка для золы, *29* — элеватор для золы, *30* — зольный бункер, *31* — приемный зольный бункер, *32* — шнек, *33* — смолоуловитель, *34* — яма для смолы, *35* — насос для перекачивания смолы, *36* — цистерна для отвозки смолы, *37* — аварийные смоляные ямы, *38* — яма для подсмольной воды, *39* — яма для сбора масел, *40* — насос циркуляционной системы I ступени, *41* — градирня циркуляционной системы, *42* — насос циркуляционной системы II ступени, *43* — яма для смолы от электрофильтров, *44* — насос для смолы.

3. Для газа из верхнего отъема генератора со швельшахтой при каменном или буром угле с малым содержанием влаги — генератор, смолоотделитель, скруббер (и газовый вентилятор и каплеуловитель). При установке поверхностного охладителя до смолоотделителя необходимость пропускания швельгаза через скруббер может отпасть.



193. Схема мокрой очистки смолистого газа с нейтрализатором уксусной кислоты:

1 — бункер, *2* — газогенератор, *3* — вагонетка для золы, *4* — коллектор, *5* — стояк, снабженный подогревательным (или охладительным) устройством, *6* — гидравлический затвор, *7* — смолоотделитель Тейсена, *8* — каплеуловитель, *9* — смоляной циркуляционный насос, *10* — смоляная яма, *10а* — насос для перекачки смолы в тару, *11* — нейтрализатор уксусной кислоты, *12* — обводный газопровод, *13* — циркуляционные насосы для щелочи, *14* — камера для улавливания капель, *15* — газопровод к скрубберу, *16а* — ступень горячей воды, *16в* — ступень холодной воды, *16с* — воздухонасытительная ступень, *17а* — маслоотделитель для горячей воды, *17b* — маслоотделитель для холодной воды, *18* — воздушный вентилятор, *19* — воздухопровод к генераторам, *20* — яма для горячей воды, *21* — насос для горячей воды, *22* — градирня для воды холодного цикла, *23* — яма холодной воды, *24* — насос для холодной воды, *25* — смесительное сопло (дополнительный пар), *26* — подача пара от паровой магистрали, *27* — обратный клапан на воздухопроводе, *28* — регулятор количества газа, поддерживающий постоянное давление в коллекторе сырого газа, *29* — регулятор количества воздуха, *30* — регулятор количества газа, подаваемого к подогревательным устройствам, поддерживающий неизменным давление в газопроводе к подогревательным устройствам, *31* — регулятор количества воздуха, подаваемого к подогревательным устройствам, *32*, *33* — обратные гидравлические клапаны, *34* — газопровод к потребителю

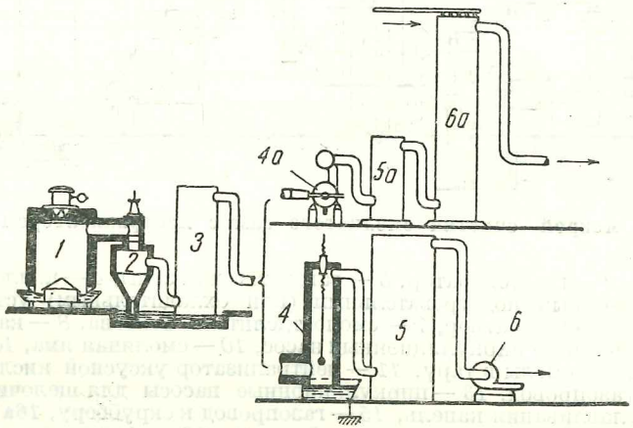
Об очистке газа из нижнего отъема и некоторой рискованности установки для использования физического тепла газа нижнего отъема котлов-утилизаторов сказано выше (рис. 195).

4. Для тонкой очистки газа его дополнительно направляют во вторую ступень смолоотделения. В установке каплеуловителя за газовым вентилятором в этом случае нет необходимости.

Иногда в целях упрощения газогенераторного хозяйства устанавливают мокрую очистку газа без предварительного смолоулавливания. Особенно часто это бывает в малых установках или в тех случаях, когда периодически приходится прибегать к осушке газа. По-

добная очистка имеет место и в случаях аварий (при выключении смолоотделительных приспособлений). Отделение смолы при подобной работе производится только в отстойниках; насадки скрубберов подвержены быстрому загрязнению.

Установки с очисткой смолистого газа без специальных смолоотделителей могут применяться или с индивидуальными очистными приспособлениями (генератор, стояк, скруббер) или с общими (генератор, стояк, коллектор, скруббер). В первом случае установка более громоздка и дорога, но дает возможность избежать чистки коллектора и связанного с этим выключением генераторов, что впрочем редко производится при надлежащем устройстве отдельных частей.



194. Схема мокрой очистки смолистого газа с сухим пылеуловителем до смолоотделения:

1—газогенератор, *2* — сухой пылеуловитель, *3* — предварительный поверхностный или оросительный охладитель, *4* — электростатический смолоотделитель, *4а* — механический смолоотделитель, *5* — поверхностный холодильник или скруббер, *5а* — каплеуловитель, *6* — вентилятор, *6а* — скруббер

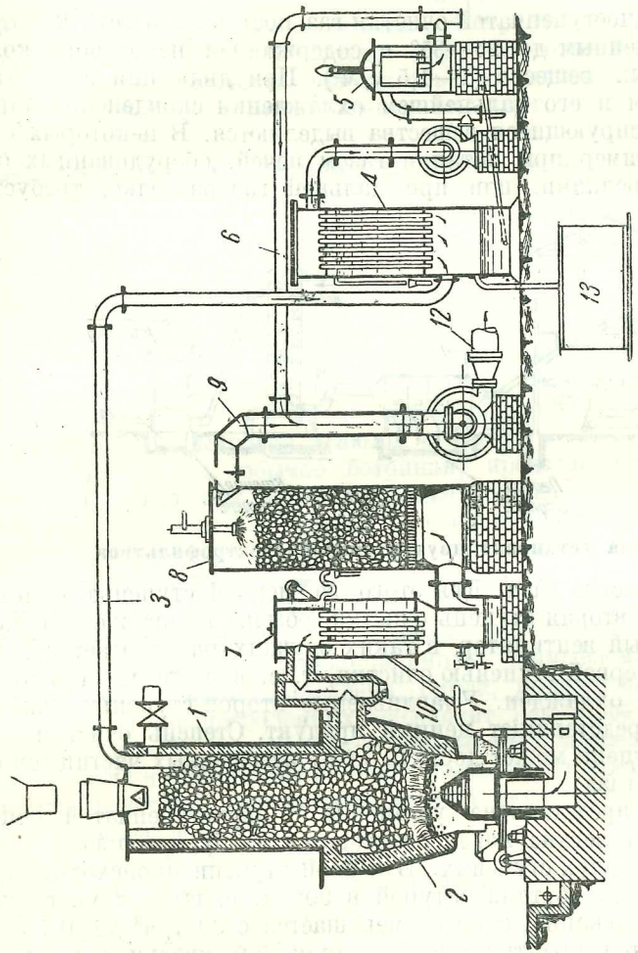
При необходимости получения в подобных установках тонкой очистки газа, охлажденный газ может быть подвергнут дополнительной очистке в специальном смолоотделителе — аппарате Тейсена или электрофильтре, где осядут взвешенные в газе частицы пыли, смол и влаги.

Приведенные схемы относятся к установкам смешанного газа. При получении двойного водяного газа последний проходит гидравлический затвор, холодильники (обычно поверхностные) и смолоотделители. Последовательность прохождения газа обычно: гидравлический затвор, холодильник, вентилятор, смолоотделитель (или сначала смолоотделитель и потом вентилятор).

Каждый генератор снабжается самостоятельным оборудованием для очистки. Установки вентилятора при достаточном давлении пара или применении центробежных смолоотделителей не требуется. Получаемый газ направляется в газгольдер и из последнего непосредственно или с помощью соответствующих нагнетательных устройств к потребителю или на дальнейшую очистку.

В случае карбюрированного водяного или двойного водяного газа последний после прохода карбюратора попадает в гидравлический затвор и далее охлаждается в холодильниках. При большом содержании в газе после карбюратора смол он может быть также пропущен через смолоотделитель. Физическое тепло газов после карбюратора иногда используется в трубчатых подогревателях, например для подогрева циркуляционного газа или пара.

В случае значительного уноса из генератора пыли до карбюратора устанавливается пылеотделитель.



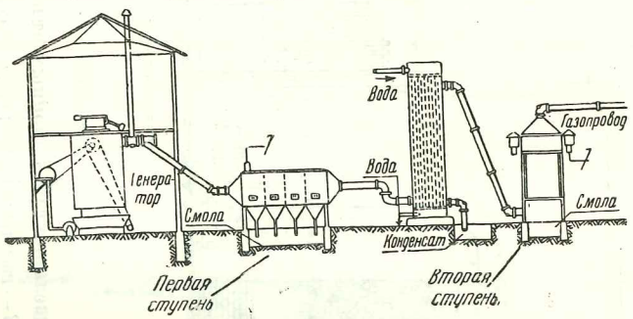
195. Схема установки генератора со швельшахтой и двойным отъемом газа:

1 — швельшахта, *2* — нижняя шахта, *3* — газопровод для газа верхнего отъема, *4* — поверхностный (трубчатый) холодильник, *5* — смолоотделитель, *6* — газопровод для очищенного газа верхнего отъема, *7* — трубчатый котел, *8* — скруббер, *9* — газопровод очищенного газа, *10*—пылеуловитель, *11*—воздухопровод, *12* — газопровод смеси газов, *13*—сборник конденсата.

Установка для очистки смолистого газа усложняется в случае наличия в газе и улавливания из него уксусной кислоты, а также в случае улавливания из газа, прошедшего смолоотделитель, фенолов (см. раздел «Улавливание уксусной кислоты и фенолов»).

Двухступенчатая очистка газа

В случае одноступенчатой очистки газ поступает в сеть к потребителю охлажденным до 25—35° с содержанием некоторого количества смолистых веществ (1—1,5 *г*/*м*³). При движении этого газа по газопроводам и его дальнейшем охлаждении сконденсированные и вновь конденсирующиеся вещества выделяются. В некоторых случаях, как например при питании газом печей, оборудованных беспламенными горелками, или при дальней газоразводке, требуется



196. Схема установки двух ступеней электрофильтров

более тонкая очистка газа. Для этого за первой ступенью очистки устанавливается вторая ступень очистки, обычно такого же типа, как и первая. Газовый вентилятор в таких случаях располагается большей частью за первой ступенью очистки, т. е. в месте, где газ достаточно очищен и охлажден. Улавливаемые второй ступенью очистки легкие масла представляют ценный продукт. Степень очистки газа после второй ступени может достичь 0,02 *г* взвешенных частиц (смола и пыль) в 1 *м*³ газа.

На рис. 196 представлена установка с двухступенчатой очисткой [10]. Смола и легкие масла осаждаются из буроугольного генераторного газа в двух ступенях. В первой ступени происходит отделение смолы из газа с температурой в 90°, т. е. выше температуры насыщения. Содержание смолы уменьшается с 30 *г*/*м*³ до 0,7 *г*/*м*³, причем получается практически безводная буроугольная смола с удельным весом 1,03.

После первой ступени газ охлаждается в холодильникедо 30—40°. Охлажденный и содержащий туманы масел газ попадает во вторую очистительную ступень, где он оставляет легкие масла, служащие топливом для двигателей и составляющие при сыром буром угле 10—18% и при брикетах — 20—25% от всего отделенного количества смолы. Из второй ступени газ выходит с положительным давлением в 10 *мм* вод. ст. при температуре 20°.

По выходе из второй ступени генераторный газ содержит только 0,10—0,02 *г* легких масел в 1 *м*³ газа.

После электрофильтра установлен вентилятор для создания давления газа.

В других установках, снабженных двумя ступенями очистки, за первой системой очистки устанавливаются охладители и газовые вентиляторы и уже за последними — вторая ступень очистки. Предусматривается возможность обхода электрофильтров. Подобное расположение упрощает установку, так как отпадает необходимость в поддержании высокого положительного давления для преодоления сопротивления двух систем электрофильтров.

Хранение смолы и отделение смолы от воды

Смолоуловительные приспособления снабжаются сифонами, из которых смола по бетонным лоткам стекает в смоляные ямы.

Стояки, скрубберы, газопроводы и газовые вентиляторы также снабжаются сифонами, через которые удаляются в смолоотстойные ямы по бетонным или деревянным лоткам промывные воды со смолистыми веществами. Наиболее тяжелые или всплывающие частицы смолы и пыли удаляются из затворов стояков и скрубберов вручную.

В соответствии с необходимостью придания лоткам уклона, ямы для смолы и воды располагаются в земле.

Смоляная яма, обычно бетонная, представляет собой круглый или прямоугольный резервуар, снабженный у дна железным змеевиком, обогреваемым паром и соединенным с конденсационным горшком. Подогрев требуется для разжижения смолы при откачке насосом. Кроме того подогрев способствует отделению смолы от воды которая может быть отведена.

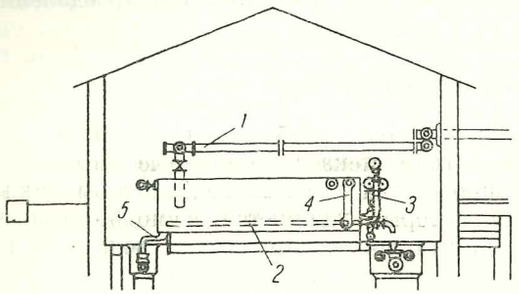
В газогенераторных установках при первичном улавливании вообще не получают безводной смолы. Вымываемая в стояке-охладителе смола сильно обводнена; смола, выделяющаяся в смолоуловительных приспособлениях, содержит некоторое количество влаги в растворенном виде: малое — при работе с температурой газа выше точки росы и значительное — при температуре ниже точки росы; смолистые вещества, вымываемые водой в скрубберах, смешаны с большим количеством воды.

Для отделения смолы, полученной при сухой перегонке бурого угля, от подсмольной воды иногда применяют железные прямоугольные отстойники [115] длиной около 5 *м*, шириной 1,25 *м* и высотой 1,5 *м* (рис. 197). Вода со смолой поступает в отстойник по трубе *1*, наполовину погруженной в жидкость. Отстойник снабжен змеевиком *2* для подогрева. Отстоявшаяся вода спускается по изогнутой трубке с краном и соединительной трубке *3* и поступает в сборник для окончательной очистки и выделения уносимой смолы. Отстоявшаяся смола стекает через патрубок *4* и направляется во второй отстойник, где вновь отстаивается и после этого поступает в сборник. Отстойники снабжаются у дна спускным краном *5* для выпуска всей жидкости на случай чистки. Отстойники всегда заполнены до уровня

сливной трубы; в сборнике же имеется поплавок, указывающий уровень смолы. Спускаемая вода для удержания остатков масел проходит большие отстойные бассейны с коксовым фильтром.

На дне смоляных ям постепенно образуется осадок густой смолы, которая может закупорить трубы и насосы. Этот слой или вычерпывают или откачивают после сильного разогрева.

Обычно предусматривают резервные смоляные ямы и отстойники. На случай невозможности своевременного получения тары для смолы предусматривают аварийные смолохранилища, представляющие собой большие бетонные ямы.



197. Отстойник для смолы

Получаемые в генераторных станциях воды, содержащие смолистые вещества, проходят с малой скоростью смолоотстойные ямы, снабженные перегородками, в которых предусматривается возможность отвода смол, более легких и более тяжелых (если таковые имеются), чем вода, и легких масел. Для отвода более тяжелых смол дно ям делается с уклоном; стекающая смола собирается в приямке, из которого откачивается насосом.

В качестве смолоотстойных ям иногда применяют прямоугольные ямы, снабженные вертикальными перегородками, в которых вода постепенно перетекает через отверстия, имеющиеся в перегородках, несколько отделений и отстоявшаяся и всплывающая смола может быть удалена. Иногда применяют круглые ямы с внутренними кольцевыми перегородками, не доходящими до дна (рис. 192). Вода по лотку поступает во внутренний цилиндр, спускается вниз и выходит наверх, где и отводится. Наиболее легкие всплывающие частицы смол отводятся в смоляные ямы; наиболее тяжелые частицы смол опускаются на дно и собираются в приямке для тяжелой смолы. Продолжительность отстоя воды от смол принимают в среднем 1—2 часа. Очищенная вода поступает в резервуар горячей воды с перегородками, пропускающими воду снизу и удерживающими более легкие масла.

Из резервуара горячей воды вода поступает на градирню для охлаждения. Отстоявшиеся масла лотком отводятся в специальную яму, из которой они могут быть удалены.

Смоляные ямы, в которых происходит дополнительный отстой воды, должны подогреваться для лучшего отделения смолы от воды. Между смолой и водой образуется слой эмульсии, обезвоживание которой возможно лишь при подогреве и отсутствии в смоле пыли, являющейся эмульгатором и образующей адсорбционную оболочку на границе раздела фаз.

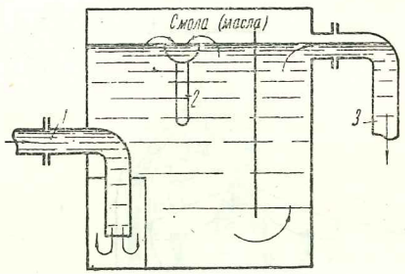
При охлаждении двойного водяного карбюрированного газа выделяются оставшиеся в газе смолы и нерасщепленное масло, смешанные с тонкой сажей — продуктом разложения углеводородов. Этот конденсат образует с водой, особенно в гидравлическом затворе, стойкую эмульсию, содержащую до 75% воды. Во избежание образования эмульсий в гидравлических затворах поддерживают высокую температуру воды, избегают образования смол из карбюрационного масла путем поддержания в карбюраторе достаточно высоких температур: кроме того собирают отдельно смолы из гидравлического затвора, холодильника и смолоотделителя.

В случае засорения смолы пылью полное обезвоживание смолы невозможно; сильный нагрев смолы в этом случае оказывает незначительное влияние на отделение смолы.

Обезвоживание сильно эмульгированной смолы возможно лишь при добавке серной кислоты [115], разрушающей защитную пленку воды.

При тяжелой каменноугольной смоле вода отстаивается вверху, а смола собирается в нижней части отстойника.

Иногда газ после отделения смолы подвергают многократной промывке в разных аппаратах. Такой случай может быть при выделении помимо смолы промывными жидкостями уксусной кислоты и фенолов или при охлаждении газа ступенями (трехступенчатый скруббер A. V. G.). Получающаяся промывная жидкость содержит легкие масляные фракции смол, хорошо и быстро отстаивающиеся без всякого подогрева.



198. Отстойник для масел

Отстойник для масел, который может быть небольшого размера, применяющийся в трехступенчатом скруббере A. V. G., представлен на рис. 198. Вода притекает через трубку *1*, перетекает из одного отделения отстойника в другое, и при этом масла всплывают и удаляются через слив *2*. Очищенная вода удаляется трубопроводом *3*. На дне смолоотстойных резервуаров со временем образуется осадок из ила, возможность спуска которого следует предусматривать.

Отделение смолы от воды с помощью центрофуг. Для упрощения и удешевления работы установки для разгонки смолы, содержащей некоторое количество влаги, смола может быть в весьма значительной степени обезвожена путем применения центрофуг.

На рис. 199 представлена центрофуга фирмы «Shorples Speciality Company, U. S. A.» [4], с успехом применявшаяся для обезвоживания смолы, полученной из газа Монда.

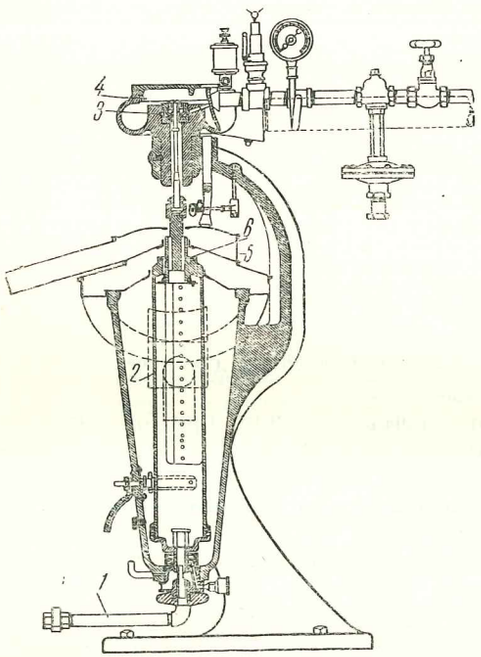
Центрофуга состоит из вращающегося резервуара *2*, подвешенного вертикально на шариковом подшипнике *3* и соединенного с паровой турбиной *4*, приводящей во вращение резервуар со скоростью в 17 000 оборотов в минуту. Смола подводится трубопроводом *1*.

При вращении резервуара *2* под влиянием центробежной силы тяжелая смола отделяется от воды, образуя смоляной цилиндр вокруг водяного. Вода выпускается в камеру *5*, а смола — в камеру *6*.

Отделение смолы с удельным весом 1,05 от воды при начальном содержании воды в 35% происходит в несколько минут. Получающаяся смола содержит 1—2% влаги.

Очистка сточных вод

В современных станциях, снабженных аппаратами для очистки смолистого газа, промывная вода в целях экономии ее и уменьшения количества спускаемых вод обычно циркулирует. В скрубберах часть воды, содержащейся в газе, конденсируется, а на градирне часть воды испаряется. Если количество конденсирующейся воды превышает количество испаряющейся (а при древесине, торфе и влажном буром угле это именно так), то постоянно некоторое количество воды спускается с пределов газогенераторной станции. Однако даже в случае, если излишков воды в циркуляционной системе нет, воду следует постепенно или периодически спускать ввиду ее загрязнения, возможности засорения системы и накопления веществ, могущих корродировать систему.



199. Центрофуга

Больным вопросом для современных станций является очистка спускаемых промывных вод, содержащих вымываемые из газов битуминозных топлив фенолы. Промывная вода обычно спускается в ближайшие водоемы — пруды, озера и реки и постепенно отравляет водоемы, делает воду непригодной для питья, умерщвляет рыбу и т. д. Примером может служить имеющее место в Германии заражение такой большой реки, как Рейн, вследствие спуска в нее промывных вод коксовальных заводов и генераторных станций.

Обычная для сточных вод биологическая очистка не может быть применена, так как значительное содержание фенолов убивает бактерии.

Разработан метод биологической очистки фенольной воды слабой концентрации, так как она может быть прекрасной средой для особого вида бактерий. Трудность применения этого способа заключается в необходимости доведения концентрации фенолов до норм, при которых возможно действие бактерий. Простое разбавление водой до желаемой концентрации потребовало бы бассейнов колоссальных размеров и обошлось бы слишком дорого. Возможно комбинирование способов химической и биологической очистки сточных вод. Обработкой сточной воды известковым молоком можно часть фенолов превратить в кальциевые феноляты и перевести в легко отстаивающиеся осадки. Остатки же фенолов будут находиться в концентрации, необходимой для биологической очистки.

Возможно применение экстракционного метода очистки, заключающегося в обработке сточных вод органическими растворителями — маслами минерального, животного и растительного происхождения, с доведением содержания фенолов в воде до предела, допускающего или спуск на сторону или очистку обычно применяемыми способами.

Возможна продувка подсмольных вод перегретым паром или газами (метод Копперса), выдувающими фенолы. Недостатком этого способа является плохое выдувание многих фенолов.

Уменьшения содержания фенолов в сточных водах возможно добиться путем продувания воздухом разбавленных растворов фенола с прибавлением катализаторов. Окисляются воздухом преимущественно многоатомные фенолы. При окислении фенолы превращаются в менее растворимые соединения, которые могут быть легко отделены.

Хлорирование фенольных вод до сих пор не применяется ввиду того, что образующиеся хлоропроизводные фенолов обладают чрезвычайно неприятным запахом, препятствующим применению воды.

Возможно хорошее улавливание фенолов, даже в случаях слабых растворов, болотной рудой. Последняя поглощает также аммиак, сероводород и другие соединения.

Выпаривание сточных вод до небольшого объема с последующим спуском остатка во всасывающие ямы оказалось невыгодным вследствие большого расхода топлива и сильного заражения воздуха.

Прекрасные результаты дает применение активированного угля как поглотителя фенолов. Однако при очистке сточных вод активированный уголь засоряется и быстро перестает работать, кроме того этот способ дорог [119, 120, 121].

7. ВЫДЕЛЕНИЕ ИЗ ГАЗА УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ И ФЕНОЛОВ

При сухой перегонке древесины и торфа происходит их разложение с выделением в числе прочих продуктов уксусной кислоты и ее гомологов.

Выделение уксусной кислоты из газа преследует цель улавливания ее как ценного продукта и устранения опасности разъедания металлической аппаратуры. Следует отметить, что особенный толчок к улавливанию уксусной кислоты в СССР дало интенсивное разъедание

газопроводов и аппаратов Тейсена на торфяной генераторной установке в Гусь-Хрустальном, вызвавшее смену через год-полтора после пуска станции газопроводов и почти ежемесячную смену роторов аппаратов Тейсена.

Опыт работы новейших торфяных газогенераторных станций указывает на то, что в случае достаточно высокого содержания в газе аммиака подсмольные воды имеют не кислую, а щелочную реакцию, и разъедания металлических частей не происходит. Высокое содержание аммиака в газе может быть при работе на низинных торфах, содержащих много азота.

Генераторный газ по выходе из смолоуловительных устройств обычно содержит в парообразном состоянии значительное количество смолистых веществ, бо́льшую часть которых составляют фенолы, преимущественно водорастворимые. Фенолы вымываются из газа водой в скрубберах. Содержащая фенолы вода отравляет водоемы и поэтому до спуска должна быть очищена.

Вместе с тем, фенолы представляют собой довольно ценные химические продукты, которые могут быть использованы в некоторых производствах. Техническая мысль в последние годы работает как над способами рационального обезвреживания вод, так и над способами утилизации и улавливания фенолов, содержащихся в генераторном газе.

Выходы уксусной кислоты составляют: для лиственных пород древесины — примерно 7% и для хвойных — 3—3,5% от веса сухой беззольной древесины [118]. Для торфа, особенно низинного, выходы уксусной кислоты также могут составлять значительную величину (до 0,6% от веса абсолютно сухого торфа) [132]. Также значительны могут быть выходы фенолов при сухой перегонке. Исследования выходов фенолов для торфа при нагревании в алюминиевой реторте Фишера до 500° дают величины выходов от 0,5 до 4% от веса абсолютно сухого торфа [132].

Выходы фенолов при газификации особенно значительны в генераторах со швельшахтами.

Улавливание уксусной кислоты при сухой перегонке древесины

Улавливание уксусной кислоты издавна практикуется при сухой перегонке древесины и заключается в переработке подсмольной воды путем дестилляции, обработке известковым молоком и выпарке раствора уксусно-кальциевого порошка.

Средние выходы серого порошка на заводах сухой перегонки дерева, считая на 1 $м^3$ дров с влажностью в 25%, составляют округленно: для березы — 20 *кг*, для осины — 15 *кг* и для хвои — 8 *кг*. При среднем весе абсолютно сухой древесины для 1 $м^3$ березы в 350 *кг*, осины и хвойных пород — в 270 *кг* средний выход порошка на сухую древесину составляет: для березы и осины — 5,6% и для хвойных пород—3,0%. Принимая крепость порошка равной 75%, получим выход сухого порошка из лиственных пород равным 0,075 *кг* и из хвойных — 0,040 *кг* на 1 *кг* абсолютно сухой древесины (25%-ного раствора — вчетверо больше) [135].

Открытие и развитие синтетических методов получения уксусной кислоты побудило промышленность разработать более рациональные методы улавливания уксусной кислоты, к числу которых относится метод Сюида и др.

Метод Сюида заключается в перегонке подсмольной воды, освобожденной от смолы и содержащей уксусную кислоту, обработке полученных паров высококипящей фракцией (240—320°) древесной смолы, поглощающей уксусную кислоту, и выделении из масла уксусной кислоты. При этом способе уксусная кислота получается высокой концентрации, а расход пара невелик [118].

В других новых способах выделение уксусной кислоты идет в водных растворах.

Улавливание уксусной кислоты и фенолов в газогенераторных установках

Иностранными фирмами, поставлявшими в СССР газогенераторные установки, во избежание разъедания газопроводов были применены два мероприятия: подогрев газа при выходе из генератора с помощью специальных горелок в целях предотвращения преждевременной конденсации влаги и с нею уксусной кислоты, и нейтрализация уксусной кислоты известью.

В качестве нейтрализаторов, устанавливаемых за смолоотделителями Тейсена, заграничными фирмами применены промыватели Штредера и Бергфельда.

Промыватель Штредера, установленный на Уралмашзаводе, описан выше, что же касается промывателя Бергфельда, установленного на Первоуральском трубном заводе, то он (рис. 193) представляет собой камеру, в которой газ движется горизонтально, а раствор стекает сверху по хордовой насадке. Промыватель разделен на несколько отделений, снабженных самостоятельными насосами для циркуляции раствора. Свежий раствор подается со стороны выхода газа в первую камеру, где газ почти освобожден от уксусной кислоты; соответствующее количество раствора перетекает в последующие камеры и отводится из последней камеры. Устройство должно давать возможность хорошо использовать раствор и хорошо очистить газ.

Развитие методов и способов улавливания уксусной кислоты в газогенераторных установках в СССР отчасти пошло по тому же пути, что и в промышленности сухой перегонки дерева.

Согласно исследуемым и выполненным предложениям процесс очистки генераторного газа, содержащего смолистые вещества и уксусную кислоту, подразделяется на три стадии: очистку газа от смолы, выделение уксусной кислоты и фенолов и осушку газа.

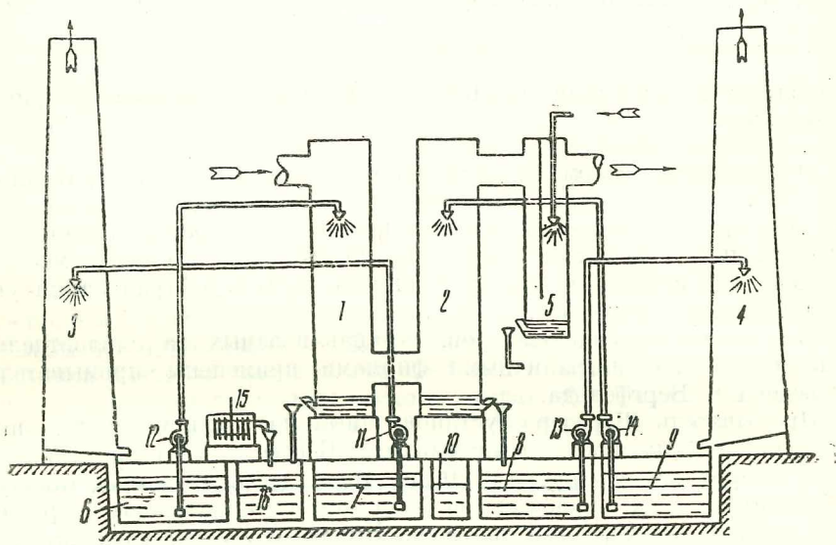
В осуществленной в СССР в 1929 г. дровяной газогенераторной установке на стекольном заводе «Белый Бычок» по предложению проф. Деревягина [118] скруббера, расположенные за электрофильтрами, должны были орошаться достаточно концентрированным раствором

уксусного порошка. Раствор должен был и охлаждать газ и улавливать уксусную кислоту. Теплый и кислый раствор должен был обрабатываться известью для перевода кислоты в уксусно-кальциевую соль, после чего — направляться на градирню [135].

По ряду причин установка на «Белом Бычке» не была доведена до конца.

На другом заводе в настоящее время подобная установка сооружается.

Предложенная схема показана на рис. 200. Она состоит из двух самостоятельных циклов — конденсационно-поглотительного и конденсационно-промывного. Во избежание засорения скрубберы сде-



200. Схема очистки газа с улавливанием уксусной кислоты

ланы без насадок. Изменяя температуру газа, выходящего из скрубберов, можно изменять количество конденсирующейся в них воды.

Схема процесса следующая: влажный газ, пройдя электрофильтр, поступает с температурой 80—90°, в поглотительный скруббер *1*, где орошается кислотопоглощающим и охлаждающим раствором, после чего проходит промывной скруббер *2*, где орошается чистой водой, поглощающей увлеченные из первого скруббера частицы раствора. Вода второго скруббера понемногу обогащается порошком. Для охлаждения теплого раствора порошка в скрубберах *1* и *2* служат градирни *3* и *4*. Отходящий из скруббера газ с температурой 45—60° подвергается окончательной промывке и охлаждению чистой водой в скруббере *5*. Для хранения растворов порошка и воды служат сборники *6*, *7*, *8* и *9*. Резервуар *10* служит для сбора масел, всплывающих в указанных сборниках. Для подачи воды в градирни и скрубберы служат насосы *11*, *12*, *13* и *14*. Мешалка *15* служит для приго-

товления молока; из нее известковая суспензия подается в смеситель *16*, где смешивается с теплым раствором порошка, выходящим из поглотительного скруббера.

Для нейтрализации уксусной кислоты в кальциевую соль практически необходимо 32% активной окиси кальция, готовящейся обычно в виде 15%-ного известкового молока.

Уксусная кислота взаимодействует с гидратом окиси кальция по реакции:

$$2CH_3COOH + Ca(OH)_2 = (CH_3COO)_2 Ca + 2H_2O.$$

На рисунке не показан фильтрпресс с насосом, служащий для выведения из системы известковых солей фенолов и других осаждающихся из раствора твердых осадков.

Газ перед поступлением в скруббер *5* дважды подвергается промывке, и следовательно в промывные воды скруббера *5* могут перейти лишь ничтожные количества кислот, фенолов и других примесей; поэтому эти воды можно рассматривать как безвредные и могущие быть спущенными в естественные водостоки. Влага, конденсирующаяся в скрубберах *1* и *2*, удаляется в виде пара на градирнях, а кислоты и главная масса парообразных фенолов должны поглощаться раствором порошка в скруббере *1*. Для удаления из системы фенолов в форме известковых солей поддерживается определенная щелочность раствора порошка и производится откачка через фильтрпресс выделяющихся осадков известково-фенольных солей. Для отделения не связываемых щелочью веществ — нейтральных масел, скипидара и пр. — должна быть обеспечена достаточно емкая и рациональная система отстойников *6—7*, *8—9* с возможностью удаления из них как легкого, так и тяжелого отстоя. Работа была запроектирована в расчете на получение концентрированных, т. е. 20—25%-ных растворов порошка, подлежащих в дальнейшем упарке.

Уксусная кислота и ее ближайший гомолог — муравьиная кислота — легко поглощаются как чистой водой, так и растворами солей. Фенолы и высшие гомологи уксусной кислоты мало растворимы в концентрированных растворах порошка и способны к образованию рыхлых нерастворимых осадков известковых солей. Образование их может иметь место при достижении раствором определенной степени щелочности, концентрации и температуры. Особенно быстрое выделение этих осадков происходит при температурах выше 70—80° и при достаточной щелочности раствора. В кислой среде эти осадки разлагаются, выделяя обратно свободные фенолы или высшие гомологи, причем часть их переходит в раствор, а часть остается в суспендированном состоянии в зависимости от температуры, концентрации и кислотности раствора.

Побочные химические реакции, происходящие в процессе поглощения, осложняются воздействием воздуха в градирнях на высшие фенолы, способные окисляться с образованием смолообразных продуктов. Вместе с тем при заметно кислой реакции поглощающих растворов неизбежен унос части кислоты воздухом при прохождении растворов через градирню.

Наиболее подходящей средой для работы подобной установки является слабощелочная, обеспечивающая полноту и быстроту поглощения кислоты в первом скруббере и ослабление уноса кислоты на градирне. Образующиеся осадки фенольно-известковых солей должны своевременно удаляться из системы во избежание засорения трубопроводов и порошка. Для скорейшего образования этих солей, чему способствует повышение температуры, известь вводится в раствор, вытекающий из первого скруббера.

На основании произведенных расчетов для температуры дровяного газа, при выходе из генератора равной 100—150°, влажности дров в 25 и 65% и использования для приготовления известкового молока воды из промывного скруббера *2* проф. Деревягин приходит к выводу, что вопрос о возможности поддержания в системе любой постоянной заданной концентрации раствора порошка в очень широких пределах практических колебаний влажности следует считать принципиально разрешенным. С точки зрения качественной стороны условий поглощения кислоты из газа, влияния побочных реакций на процесс в целом и на качество получаемого порошка вопрос является более или менее ясным. Для получения количественных показателей требуются специальные исследования.

На одном из заводов была сделана увенчавшаяся успехом попытка улавливания уксусной кислоты вместе со смолой и частью влаги газа. Для этой цели при выходе из газогенератора поддерживалась низкая температура газа, в результате чего в электрофильтре, установленном за коллектором сырого газа, выделялись смолистые вещества и уксусная кислота почти целиком. Такой метод улавливания дает возможность получать высококонцентрированную уксусную кислоту.

Из числа других методов улавливания из генераторного газа уксусной кислоты и фенолов, разрабатываемых и испытываемых в настоящее время, следует отметить способы, предложенные Ленинградским отделением Газогенераторстроя и Инсторфом.

В этих способах процесс, так же как и в предыдущем, разделяется на три стадии: отделение смолы, выделение уксусной кислоты и фенолов и осушка газа. Способы предусматривают также улавливание аммиака в случае наличия его в газе и предложены в виде двух вариантов — масляного и водяного — в зависимости от того, что будет применяться в качестве абсорбента: масло или вода.

Масляный метод заключается в промывке газа веществами, обладающими, в случае наличия в газе одновременно и фенолов и уксусной кислоты, избирательной способностью поглощения.

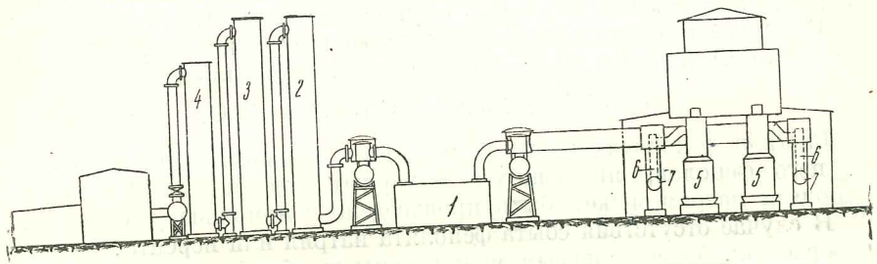
Согласно опытам, проведенным Харьковским углехимическим институтом [119] по извлечению фенолов бензохинолином при однократной промывке фенольных вод, извлечение фенолов составляет примерно 80%. При повторной промывке извлечение фенолов повышается. На хорошее улавливание фенолов торфяными маслами указывают опыты, проведенные Инсторфом.

Применение в качестве абсорбента или экстрагента погонов смол, несмотря на большую экстракционную способность бензохинолина, является для газогенераторных станций более благоприятным, так как дает им возможность использовать в технологическом процессе более дешевые продукты и не быть зависимыми от влияния ситуации рынка.

Примененные Инсторфом легкие масла обладают избирательной способностью: поглощая фенол, они не поглощают жирных кислот, в том числе и уксусной.

Свойствами избирательной абсорбции по отношению к фенолам и уксусной кислоте обладают также в известной степени масла, отогнанные из древесной смолы.

Процесс поглощения из газа фенолов и уксусной кислоты маслами ведут при температурах выше температуры насыщения газа парами воды во избежание их конденсации.



201. Схема очистки газа по масляному или водяному варианту

Хорошим поглотителем уксусной кислоты, фенолов и аммиака является вода. Улавливание уксусной кислоты и фенолов водой ведется при температуре несколько ниже точки росы, и при этом они переходят почти целиком из газа в водный раствор.

В случае абсорбции фенолов и уксусной кислоты маслами выделение последних происходит путем обработки масел — разгонки кислотного масла и обработки фенольного масла щелочью.

При поглощении фенолов и уксусной кислоты водой последняя подвергается последующей обработке. Путем смешения с экстракционным маслом вода обесфеноливается, после чего она обрабатывается известью, и получившийся раствор уксуснокислого порошка подвергается упарке.

На рис. 201 показана схема очистки газа по масляному или водяному варианту для торфяного газа. Газ из генератора *5* с температурой в 80° поступает в стояк *6*, в котором подогревается до 95°. Подогретый газ собирается в коллекторе газа *7*. Из коллектора газ попадает в электрофильтр *1*, в котором осаждаются сконденсировавшаяся смола и некоторое количество растворенных в смоле влаги и уксусной кислоты. Смола из электрофильтра стекает в смоляную яму. После электрофильтра газ с температурой выше точки росы поступает в фенольный скруббер *2* с хордовой насадкой, в котором он орошается определенной фракцией торфяной смолы, и из него улавливается большая часть содержащихся в нем фенолов. Во избежание конденсации влаги (даже на стенках) скруббер изолирован.

Эта часть установки имеет свой резервуар для масла со змеевиком и насос. Раствор циркулирует в системе, из него периодически или непрерывно отводится некоторое количество фенольного масла на регенерацию и к нему добавляется регенерированное масло. Из фенольного скруббера газ попадает в кислотный *3*, в котором орошается соответствующим подогретым маслом, улавливающим уксусную кислоту и аммиак. Этот скруббер также изолирован и снабжен самостоятельным подогреваемым резервуаром для масла и насосом. И в данном случае непрерывно или периодически по достижении определенной концентрации раствора часть его направляется на переработку. С температурой в 80° (несколько выше точки росы) газ попадает в охладительный скруббер *4*, в котором орошается водой и охлаждается до 30°.

Извлечение фенолов из фенольного масла производится едким натром, связывающим фенолы в воднорастворимые феноляты натрия.

В случае принятия фенолов за карболовую кислоту образование фенолятов может быть охарактеризовано реакцией

$$C_6H_5OH + NaOH = C_6H_5ONa + H_2O.$$

Раствор фенолята натрия подвергается обработке для выделения из него фенолов, являющихся товарным продуктом. Разложение фенолята натрия может быть произведено с помощью углекислоты.

В случае отсутствия сбыта фенолята натрия или нерентабельности переработки более дешевым может явиться обработка масла известковым молоком и извлечение фенолов из масла в виде кальциевых фенолятов, трудно растворимых в воде и могущих служить в качестве дешевого дезинфекционного средства.

Аппаратами для извлечения фенолов из масел могут служить мешалки (имеющие недостатки в смысле периодичности работы и малой производительности), вертикальные колонные противоточные экстракторы непрерывного действия и др.

Регенерация кислотного масла производится путем фракционированной разгонки.

В случае улавливания фенолов и уксусной кислоты водой скрубберы *2* и *3* орошаются водой с температурой примерно 60°, циркулирующей с помощью насосов по системе: скрубберы, яма для подсмольной воды, поверхностный холодильник (для избежания потери поглощенных продуктов) и скруббер. По достижении требуемой концентрации воды из системы непрерывно или периодически отводится некоторое количество воды, соответствующее количеству выделившегося из газа конденсата, и направляется на переработку.

Температура газа в скрубберах понижается ниже точки росы.

Скруббер *4* служит для охлаждения газа. Концентрация воды, отводимой из поглотительного скруббера, определяется количеством сконденсировавшейся влаги. Режим поглощения нужно поддерживать таким образом, чтобы количество сконденсировавшейся влаги не превышало величины, соответствующей максимально возможным концентрациям.

Отводимая на переработку вода подвергается обесфеноливанию с помощью торфяных масел. В дальнейшем воду, представляющую

станавливается при промывании его гипрохлоритом натрия в при-

Эта
и н
неп
реге
пол
ется
кис
стоя
ном
кон
пера
дите
I
натр
I
ние

Р
из
фено
В
пере
ковы
фено
деше
А
шалк
прои
трак
Р
рова
В
беры
лиру
смол
погл
конц
дится
ливш
Те
Сн
отвод
сконд
вать
превь
конце

Отводимая на переработку вода подвергается обесфеноливанию с помощью торфяных масел. В дальнейшем воду, представляющую

собой раствор уксуснокислого аммония и могущую содержать аммиак в избытке, подвергают соответствующей обработке в целях выделения аммиака и получения уксуснокальциевого порошка.

На рис. 202 представлена схема установки для обесфеноливания воды с улавливанием фенолов.

Предложенные масляный и водяной методы, находящиеся в стадии опытной проверки, не имеют еще в настоящее время достаточного теоретического и практического обоснования. Неопределенным является количество выделяющихся со смолой уксусной кислоты и аммиака. Недостаточно изучены масла, которые должны обладать избирательной способностью поглощения. Масла при улавливании фенолов одновременно с последними могут поглощать и некоторые количества уксусной кислоты. В случае если уксусная кислота должна поглощаться фенольными маслами после поглощения из газа фенолов, газовая атмосфера может обогатиться фенолами из кислотопоглощающего масла, и эфект обесфеноливания в первом абсорбере будет ослаблен за счет обработки газа фенолами во втором абсорбере.

Подобное препятствие может заставить вести процесс с первоначальным улавливанием уксусной кислоты и последующим улавливанием фенолов или установить третий абсорбер для повторного улавливания фенолов.

Недостаточно ясными также являются вопросы о поглощении маслами кислоты, связанной с аммиаком, о достижимых концентрациях кислоты в масле, о рациональном методе извлечения кислоты из масла и т. д.

Ряд указанных в разделе «Очистка сточных вод» методов очистки сточных вод от фенолов допускает улавливание [119, 120, 121] фенолов. При извлечении фенолов из сточных вод с помощью продувки паром или газами последние обрабатываются раствором едкого натрия, образуя фенолят натрия. Способ дает возможность извлечь 92—98% фенолов.

Путем обработки активированного угля, служащего для улавливания фенолов, бензолом возможно почти полное извлечение фенолов.

Как указано было выше, хорошим поглотителем фенолов является болотная руда, допускающая почти полную очистку вод. Руда легко регенерируется путем продувки паром или воздухом или кипячением с водой.

Я. И. Чулковым [121] был применен для очистки сточных вод и улавливания фенолов, в условиях добавки щелочей, хлор. При этом получались смолообразные продукты.

При продувке воздухом раствор дополнительно окисляется, удаляется избыточный хлор, смола коагулируется и выделяется. После фильтрации раствор получается прозрачным.

Окончательное устранение хлорного запаха, окраски и незначительного количества остающегося в растворе гипохлорита достигается с помощью активированного угля (угольный фильтр или смешение с углем). Адсорбционная способность отработанного угля восстанавливается при промывании его гипрохлоритом натрия в при-

сутствии щелочей с последующей промывкой водой или же при промывке его бензолом с последующим пропусканием перегретого пара.

Чулковым была исследована очистка сточных вод с генераторной станции, работающей на подмосковном угле, с содержанием фенолов в 1,87 *г/л*. Сточная вода имела запах сероводорода и аммиака и представляла собой темную жидкость. После обработки жидкость теряла свою темную окраску, раствор становился прозрачным, слегка окрашенным и обладал незначительным запахом хлора. Окисленная вода практически не содержала фенолов. После обработки активированным углем раствор становился совершенно прозрачным, бесцветным, терял запах и не содержал фенолов.

Полученные при окислении фенолов в сточных водах искусственные смолы являются ценными продуктами для лакокрасочной промышленности.

Предупреждение преждевременного выделения уксусной кислоты

В соответствии со своим содержанием в генераторном газе уксусная кислота должна была бы иметь очень низкую температуру точки росы; однако выделение ее имеет место одновременно с выделением влаги в газе, так как она, как жадно соединяющаяся с водой, находится в форме паров слабого раствора уксусной кислоты и имеет точку росы, близкую к точке росы чистой воды. Корродирующее действие уксусной кислоты наблюдается при ее нахождении в жидком виде.

Для избежания выделения влаги, а следовательно уксусной кислоты, что связано с коррозией оборудования и потерей кислоты, газ, в случае если он имеет низкую температуру, подогревают, для чего применяют специальные горелки. Таким путем к аппаратуре, предназначенной для улавливания уксусной кислоты, подводят газ с температурой выше точки росы.

Этим же устройством достигается получение и менее обводненной смолы.

Подогревательное устройство для газа представлено на рис. 193. Горелка расположена на стояке за генератором и питается газом от коллектора очищенного газа. Воздух для горения подается от вентилятора, обслуживающего генераторы. Воздухо- и газопроводы снабжены регуляторами давления, увеличивающими открытие дросселей при падении давления. На случай сильного падения давления газа (с чем связана возможность попадания в газопровод воздуха) задвижки газо- и воздухоподводящих ветвей к горелкам оттягиваются противовесами и связаны тросом с лебедкой, отпускающей трос (с помощью собачки и храпового колеса) при падении давления в коллекторе очищенного газа. При спуске троса противовесы закрывают задвижки, и следовательно исключается возможность попадания в газопровод воздуха.

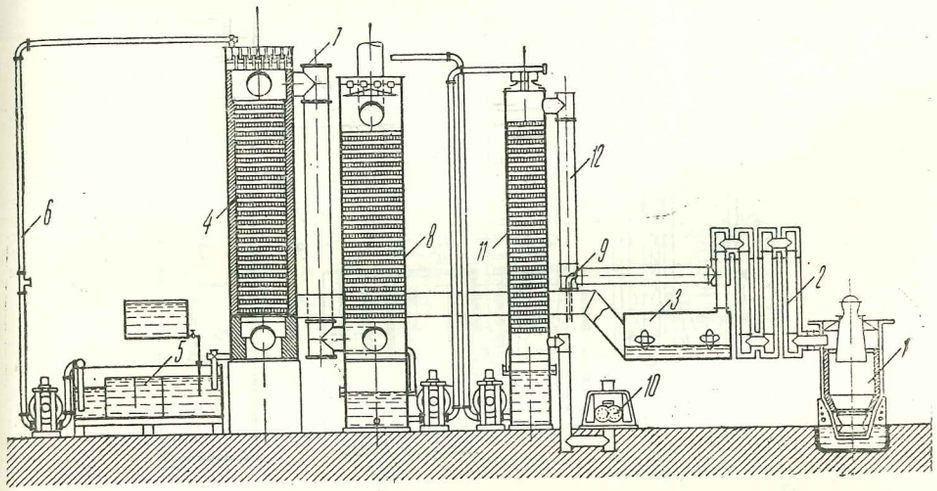
Газо- и воздухопровод, питающие горелки, снабжены также обратными гидравлическими клапанами, предупреждающими возможность при падении давления попадания в них газов из горелки.

8. УЛАВЛИВАНИЕ АММИАКА

Азот топлива переходит в генераторный газ в виде азота и аммиака. При медленном нагревании топлива и особенно в присутствии больших количеств водяного пара получаются увеличенные выходы аммиака (подробнее см. главу V).

Аммиак хорошо растворим в воде, особенно при низких температурах и в весьма значительной степени растворяется в воде скрубберов. При наличии в газе уксусной кислоты или сероводорода аммиак может быть уловлен совместно с ними.

Генераторный газ содержит обычно мало аммиака—от 0,5 до 1,7 *г/м*³, газ Монда—2,5—3,5 *г/м*³.



203. Установка Монда с улавливанием аммиака

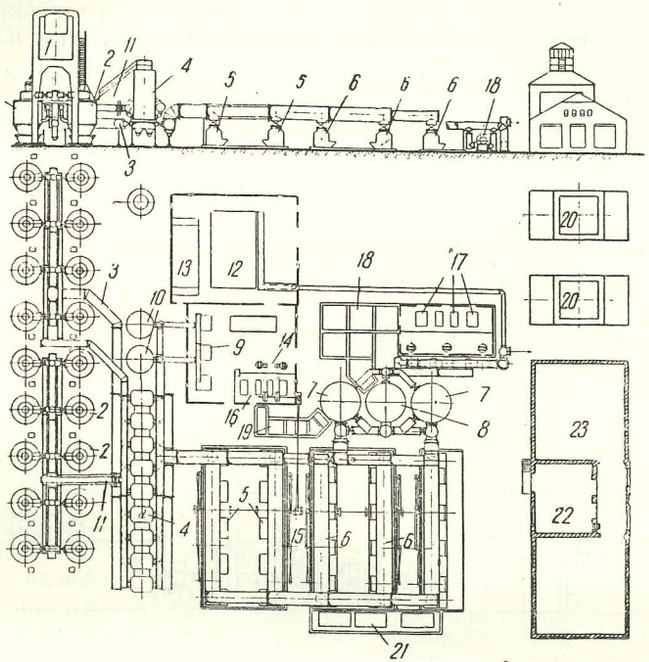
При горении газов, содержащих аммиак, образуются окислы азота, вредные для здоровья и образующие разрушающе действующую азотную кислоту. Улавливание аммиака однако обычно связано с получением ценного побочного продукта.

Установка Монда

Монд первый удачно осуществил устройство генератора с улавливанием аммиака и использованием газа для целей отопления [1, 11, 13]. Высокого выхода аммиака он достигал добавкой пара в размере 900 *г* на 1 *м*³ воздуха, а высокого коэфициента полезного действия—в результате использования физического тепла газа для подогрева дутья и получения пара. Указанная выше добавка пара соответствует подаче пара в размере 2—2,5 *кг* на 1 *кг* каменного угля и 1—1,5 *кг* на 1 *кг* бурого угля. Подача такого большого количества пара допустима лишь при подогреве дутья.

На рис. 203 представлена установка Монда для газификации 1 000 *кг* угля в час. Первичный воздух в количестве 3 000 *кг* в башне *11*

насыщается 1 000 *кг* водяного пара и подогревается до 70°. В воздухопроводе *12* по пути к подогревателю *2* к воздуху соплом *9* добавляется еще 1 500 *кг* пара из котла, и температура смеси повышается до 85°. В подогревателе *2* паровоздушная смесь подогревается генераторным газом до 350° и по пути к генератору обтекает стенки по-



204. Схема газогенераторной установки Монда с производительностью в 350 *т* каменного угля в сутки:

1—бункер, *2*—генератор, *3*—газопровод, *4*—подогреватель, *5*—смолоотделитель, *6*—аммиачный промыватель, *7*—первая ступень скрубберов, *8*—вторая ступень скрубберов, *9*—воздуходувка, *10*—воздухонасытительная башня, *11*—воздухопровод, *12*—паровой котел, *13*—экономайзер, *14*—мотор, *15*—трансмиссия промывателей, *16*—циркуляционный насос, *17*—насос охлаждающей воды, *18*—отстойник для охлаждающей воды, *19*—отстойник для циркулирующей горячей воды, *20*—градирня, *21*—сборник раствора, *22*—отделение для получения сульфата аммония, *23*—склад сульфата аммония

следнего. Смесь образует в генераторе 4 500 $м^3$ газа, причем 2 000 *кг* пара проходят генератор *1* неразложенными. Газ выходит из генератора с температурой 450°, охлаждается в противоточном подогревателе *2* до 280° и входит в промыватель *3*, в котором вода разбрызгивается посредством двух валов с лопастями. Здесь газ охлаждается до 90° и воспринимает 750 *кг* пара, содержа таким образом 2 750 *кг* пара и не будучи насыщенным.

В этом состоянии газ входит в свинцовую кислотную башню *4*, где орошается смесью раствора сернокислого аммония и серной кислоты, подаваемой трубопроводом *6*. Из газа в этой башне не выделяется влага, так как он не насыщен, и при взаимодействии аммиака с серной кислотой выделяется тепло. Раствор сульфата аммония стекает в хранилище *5* с температурой 80°, где он нейтрализуется добавкой кислоты и из него выкристаллизовывается сульфат аммония. Газ по газопроводу *7* удаляется из кислотной башни с температурой в 80° в холодильную башню *8*, где он охлаждается до 65° и из него выделяется 1 500 *кг* влаги. Окончательное охлаждение газа производится в скруббере (на рисунке не показанном). Охлаждающая вода подается с температурой в 50° в башню *8*, нагревается до 75° и перекачивается в башню *11*, где она орошает и насыщает воздух, подаваемый вентилятором *10*. Охлажденная до 50° вода вновь возвращается в холодильную башню. Охлажденный газ проходит сухой опилочный фильтр и идет к местам потребления [11].

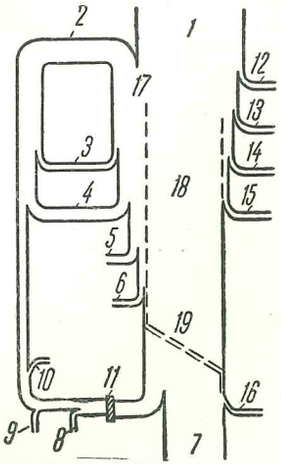
В других установках газ из теплообменника поступает в смолоотделитель и далее в горизонтальный свинцовый аппарат для улавливания аммиака. Установка горизонтального аппарата позволяет избегнуть дорогой установки башни со специальной насадкой и насосов. Расход энергии при этом не изменяется ввиду необходимости приведения в движение крыльчатого распылителя [1].

На рис. 204 представлена схема газогенераторной установки Монда с производительностью в 350 *т* каменного угля в сутки. Установка получает около 60% всего потребного ей пара со стороны.

Франк-Каро в схеме Монда были дополнительно установлены специально отапливаемые подогреватели дутья, что допустило применение для газификации по способу Монда топлив с высоким содержанием влаги — бурых углей, торфа с влажностью до 60%. Подогрев дутья доводится до 350°.

Данные о работе установок Монда

Типичный тепловой баланс процесса газификации по способу Монда при каменном угле представлен на рис. 205. Из



205. Тепловой баланс установки Монда:

1—теплотворная способность топлива — 100,0; *2*—паровоздушная смесь—22,8; *3*—возврат с подогретым дутьем — 3,4; *4*—возвратблагодаря насыщению воздуха—10,9; *5*—потери с охлаждающей водой—8,8; *6*—потери излучением—4,3; *7*—полезно использованный газ—54,0; *8*—отбор пара для силовых нужд—3,1; *9*—отбор пара для получения побочных продуктов—1,4; *10* — потери с конденсатом—0,9; *11*—в котельную—17,4; *12*—потери в генераторе—8,1; *13*—потери с золой—3,4; *14*—потери с пылью—5,6; *15*—теплотворная способность смолы—6,3; *16*—тепло в потерянном газе—0,6; *17*—теплосодержание газа—28; *18*—теплотворная способность использованного газа—71,4; *19*—тоже всего газа—72,0

Таблица 90

Данные по работе генераторных установок Монда

	Топливо						
	торф	бурый уголь	вестфальский тощий каменный уголь	верхне-силезский каменный уголь	каменноугольн. мелочь	молодой каменный уголь	спекающийся каменный уголь
Анализ сырого топлива (в %):							
H_2O	48,5	33,28	3,00	6,86	11,10	10,85	11,70
A (зола)	1,21	12,70	9,32	12,38	21,53	18,95	13,20
Летучие	33,14	26,26	—	28,27	—	—	—
Чистый кокс	17,15	20,76	—	52,40	—	—	—
N	0,80	0,58	1,48	1,26	0,94	1,61	1,04
Теплотворная сырого топлива (в *кал/кг*)	2 790	2 720	7 710	6 345	5 900	5 210	5 415
Анализ горючей массы (в %):							
C	60,50	68,53	90,04	81,42	80,46	76,88	76,21
H	7,48	5,56	4,43	5,43	5,33	5,69	5,58
N	1,59	1,23	1,69	1,56	1,26	2,39	1,39
S	0,06	4,75	2,13	2,02	2,51	2,92	2,96
O	30,01	23,93	1,71	9,27	10,44	12,12	13,86
Средний состав газа (в %):							
CO_2	18,40	17,22	15,50	16,00	16,02	18,10	17,32
C_mH_n	0,25	0,12	0,15	0,20	0,20	0,66	0,62
O_2	0,10	0,50	0,00	0,10	—	0,32	0,41
CO	11,40	12,11	12,69	11,80	11,62	9,90	10,20
CH_4	3,30	4,42	2,90	3,30	3,78	4,07	3,27
H_2	23,30	26,53	26,00	24,50	24,35	25,50	22,70
N_2	43,05	39,10	42,85	44,10	44,03	41,45	36,79
Низшая теплотв. способность газа	1 265	1 445	1 320	1 300	1 333	1 404	1 265
Потери углерода на 1 *кг* сырого угля (в *г*):							
в золе	20,00	12,6	Не определись как очень незначительн.	19,18	19,56	15,23	10,25
» пыли		53,94		38,19	16,97	38,45	20,65
» смоле	33,14			33,53	35,10	54,98	42,8
Итого	53,14	66,54	65,00	90,90	71,63	108,66	72,98

Таблица 90 (продолжение)

	Топливо						
	торф	бурый уголь	вестфальский тощий каменный уголь	верхне-силезский каменный уголь	каменноугольн. мелочь	молодой каменный уголь	спекающийся каменный уголь
Вычисленный выход газа из 1 *т* бурого угля (в $м^3$)	1 405	1 323	4 340	3 390	3 110	2 460	2 965
Теплотехнический к. п. д. газогенератора	65,5	69,9	74,1	69,4	71,2	65,2	70,3
Вычисленный расход воздуха на 1 *т* сырого угля (в $м^3$)	928	655	2 250	2 070	1 790	1 450	1 700
Вычисленный расход пара на 1 *т* сырого угля (в *кг*)	830	585	2 400	2 020	1 675	1 420	1 870
Выход безводной смолы на 1 *т* сухого угля (в *кг*)	85,5	94,8	—	51,5	50,1	77,1	52,5
Выход сульфата аммония на 1 *т* сырого угля (в *кг*)	24,0	19,7	45,2	40,1	28,7	51,2	31,4
Выход сульфата аммония на 1 *кг* азота угля (в *кг*)	3,006	3,397	3,067	3,183	3,053	3,180	3,010

диаграммы видно, что значительная часть физического тепла газа теряется с охлаждающей водой, несмотря на необходимость большой добавки пара со стороны, что объясняется неблагоприятными температурными соотношениями, затрудняющими использование теряющегося с охлаждающей водой тепла.

Вследствие низкой температуры реакционной зоны в генераторах Монда, обусловленной большой добавкой пара, в выгребе обычно содержится много горючего, что связано с соответствующей потерей, в газе же содержится мало CO и много CO_2 и H_2.

Получаемый в процессе Монда раствор сернокислого аммония выпаривается в отдельной установке.

Генераторные установки Монда допускают получение и улавливание первичной смолы.

В табл. 90 приведены данные о работе генераторных установок Монда с улавливанием аммиака при различных топливах.

9. ОЧИСТКА ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА

Содержание сернистых соединений в газе

Сернистые соединения содержатся в газе преимущественно в виде сероводорода, в силу чего в дальнейшем рассматривается очистка газа именно от сероводорода [87, 116, 123—130, 137].

Несмотря на горючесть сероводорода (5995 *кал/м*³ по высшему пределу), эта составная часть и продукты ее сгорания являются вред-

ными вследствие влияния на здоровье людей и растительность, перехода в металлы, взаимодействия с расплавленной стекломассой, а также разъедания металлов сернистым ангидридом, образующимся в результате сгорания H_2S, в особенности при температурах ниже точки росы.

Сероводород, получающийся в газе при газификации топлива, своим происхождением обязан сере угля.

В топливе сера находится частью связанной в органических соединениях, частью в виде колчедана и частью — в виде сульфатов. При нагревании топлива и его сухой перегонке часть серы (подробнее см. в главе V) переходит в сероводород.

Табл. 78 характеризует содержание сероводорода в генераторном и перегоночном газе из некоторых русских топлив, подвергающихся газификации.

Способы очистки газа от сероводорода

Различают два типа очистки газа: сухой и мокрый.

При сухом типе очистки газ пропускают через твердую массу, в значительной мере состоящую из вещества, поглощающего сероводород.

Сухие способы очистки в высокой степени отвечают своему назначению и сильно распространены, но они имеют и отрицательные стороны, заставившие издавна разрабатывать способы мокрой очистки. Недостатками их являются обширность потребных помещений, громоздкость оборудования, большое количество потребной очистной массы, большая затрата рабсилы при разрядках и зарядках ящиков и при регенерации массы, вредность работы для здоровья рабочих, затруднения в использовании отработанной очистной массы. В последнее время способ сухой очистки газа в значительной мере совершенствуется.

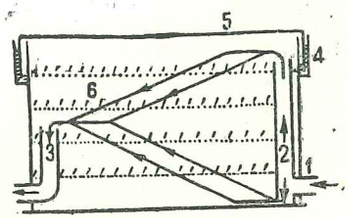
При применении мокрого способа газ очищается не порошком, а водными растворами или суспензиями веществ, поглощающих из газа сероводород. Этот способ очистки также нашел себе большое распространение. Он более компактен, дешев, гигиеничен, проводится непрерывно, требует меньшей затраты рабсилы и дает возможность получать некоторые побочные продукты.

Возможно также комбинирование мокрой очистки с сухой, так как мокрая очистка не вполне очищает газ. При этом с помощью сухой очистки удаляют из газа небольшие остатки непоглощенного сероводорода.

Сухая очистка газа

1. Очистка в ящиках. При сухой очистке очистная масса образует с некоторыми составными частями газа соединения, обволакивающие частицы очистной массы и препятствующие ее дальнейшему использованию. Поэтому реагирующее вещество должно быть возможно мельче. Очистная масса помещается в ящиках (рис. 206), представляющих собой большие прямоугольные коробки, закрываемые железными крышками *5* при помощи гидравлических затворов *4* или резиновых прокладок. Внутри ящика находится несколько расположенных друг над другом деревянных решеток *6*, перекрытых полотном, на которых насыпана очистная масса. Газ входит в отверстие *1*, распределяется по трубе *2* вверх и вниз, проходит очистной слой и выходит на уровне средней высоты ящика через трубу *3*. Деление газового потока на две части уменьшает его скорость, и она составляет 5—10 *мм/сек*, считая на полное сечение ящика. Существуют и иные способы расположения решетки и подвода и отвода газов. Примерная емкость ящика — 100 *т*.

Масса при проходе через нее газа поглощает из него сероводород, постепенно насыщаясь им, после чего поглощение сероводорода прекращается. Массу в этом случае нужно заменить свежей — перезарядить ящик. Для возможности непрерывной работы ставят несколько ящиков. При насыщении массы ящик выключают, открывают, удаляют массу, наполняют свежей или регенерированной воздухом, закрывают ящик и вновь включают его.



206. Ящик для очистки газа от сероводорода

На больших заводах работает обычно последовательно не менее четырех ящиков, так как в одном или двух ящиках газ не успевает очиститься. Ящики соединяют таким образом, чтобы любой из них можно было переключить и выключить. Последний ящик ряда почти не воспринимает сероводорода и служит для надежности очистки на случай неудовлетворительной работы одного из предыдущих ящиков.

Ящики имеют обычно большие размеры, и каждый из них вмещает по несколько десятков тонн очистной массы. Они требуют сооружения больших построек для очистительных отделений и обходятся дорого. В мягком климате ящики можно устанавливать на открытом воздухе и делать их железобетонными. Крышки ящиков с сухим затвором обходятся дешевле, нежели с гидравлическим.

Первоначально газ пропускали через ящики с гашеной известью. Однако от этой массы отказались, так как, насытившись сероводородом (также CO_2), при ничтожном содержании серы она теряет поглотительные свойства.

2. Очистная масса. В настоящее время в качестве очистной массы применяется гидрат окиси железа, обычно болотная железная руда, размолотая в грубый порошок. Она пориста, легко пропускает сквозь себя ток сырого газа, и ее в случае надобности можно разрыхлить древесными опилками или торфяной мелочью.

Если газ очищается предварительно от аммиака, к очистной массе прибавляют небольшое количество гашеной извести для сообщения массе щелочной реакции, при которой поглощение сероводорода идет лучше.

Поглощение сероводорода может быть представлено следующими реакциями.

Частично:

$$2Fe(OH)_3 + 3H_2S = Fe_2S_3 + 6H_2O, \quad (1)$$

частично, в присутствии аммиака:

$$2Fe(OH)_3 + 3H_2S = 2FeS + S + 6H_2O \quad (2)$$

Имеют место и следующие реакции:

$$2Fe(OH)_3 + H_2S = 2Fe(OH)_2 + S + 2H_2O \quad (3)$$

$$2Fe(OH)_2 + 2H_2S = 2FeS + 4H_2O \quad (4)$$

$$2Fe(OH)_3 + FeS = 3Fe(OH)_2 + S \quad (5)$$

Очистная масса соответственно увеличению содержания сернистого железа из бурой становится черной. В массе также накапливается сера, обволакивающая крупинки болотной руды.

Присутствие сероводорода в газе определяется с помощью бумажки, смоченной раствором уксуснокислого свинца. Смотря по окраске бумажки газом из данного ящика, самый ящик называется белым, кремовым, бурым и черным.

В ящиках всегда имеется достаточное количество закиси железа, так как идущее непрерывно поглощение сероводорода из газа сопровождается восстановлением окиси железа в закись.

Отработанная масса регенерируется окислением кислородом воздуха. Она рассыпается слоем в 100—200 *мм*, смачивается водой и перелопачивается 1—2 раза в сутки в течение нескольких дней. При регенерации протекают следующие реакции.

$$Fe_2S_3 + 1{,}5O_2(+5{,}65N_2) + 3H_2O = 2Fe(OH)_3 + 3S(+5{,}65N_2)$$

$$\begin{cases} 2FeS + S + O_2(+3{,}76N_2) + 2H_2O = 2Fe(OH)_2 + 3S(+3{,}76N_2) \\ 2Fe(OH)_2 + 0{,}5O_2(+1{,}88N_2) + H_2O = 2Fe(OH)_3(+1{,}88N_2) \end{cases}$$

$$2FeS + S + 1{,}5O_2(+5{,}65N_2) + 3H_2O = 2Fe(OH)_3 + 3S(+5{,}65N_2)$$

Масса работает и регенерируется до тех пор, пока в ней не накопится столько серы (примерно 50%), что она обволакивает крупинки болотной руды и делает дальнейшее пользование массой невыгодным. Такая масса часто выбрасывается в отвал, хотя возможно и ее использование (см. ниже). Как при очистке газа, так и при регенерировании массы в ящиках выделяется тепло.

Вместо болотной руды может применяться бокситовый отвал (отброс производства гидрата окиси алюминия), названный по имени изобретателя люкс-массой. Он состоит из гидрата окиси железа, в котором содержится небольшое количество остатков соды, сообщающей ему слабощелочную реакцию, что одновременно со значительной раздробленностью гидрата окиси железа содействует очень быстрому поглощению сероводорода. Регенерация этой массы протекает весьма интенсивно.

Непригодная для дальнейшего поглощения сероводорода масса иногда используется. Сера может быть извлечена соответствующими растворителями — сероуглеродом, бензолом и др.; возможно выплавление ее горячей водой под давлением. Подобной утилизации серы препятствует загрязнение массы примесями. Экономически это осуществимо лишь в крупных установках. Чаще сера отработанной массы перерабатывается на серную кислоту.

3. Добавление к газу воздуха. При прибавлении перед очисткой к газу воздуха одновременно с очисткой газа происходит регенерация массы. Реакции, происходящие при этом, можно выразить уравнением:

$$H_2S + \underbrace{0{,}5O_2(+1{,}88N_2)}_{\text{воздух}} = H_2O + S(+1{,}88N_2)$$

При этом в ящиках выделяется много тепла и нужно наблюдать, чтобы ящики слишком не перегревались.

Прибавка воздуха к сырому газу для регенерации очистной массы в ящиках удлиняет период работы последних в 3—4 раза.

По данным Московского газового завода [137], при содержании в газе 0,5—1,0% сероводорода в 1924—1926 гг. на 1 000 *м*³ газа расходовалось 10,94 *кг* руды, и 0,24 человеко-дней рабочей силы. Стоимость рабочей силы составляла 91,78 коп. и стоимость очистки — 151,79 коп. (в стоимость рабочей силы включены накладные расходы — 35%).

Указанные данные относятся к очистке с прибавлением к газу воздуха.

Если вычесть накладные расходы по рабочей силе, перевести червонные копейки в золотые (делением на 2,2) и человеко-дни помножить на $^3/_4$ (шести- и восьмичасовой день), то сравнение стоимости очистки без добавления воздуха (старый способ) и с добавлением воздуха (новый способ) выразится в следующем (табл. 91).

Таблица 91

Сравнение стоимости (в коп.) очистки газа при добавлении воздуха и без такового

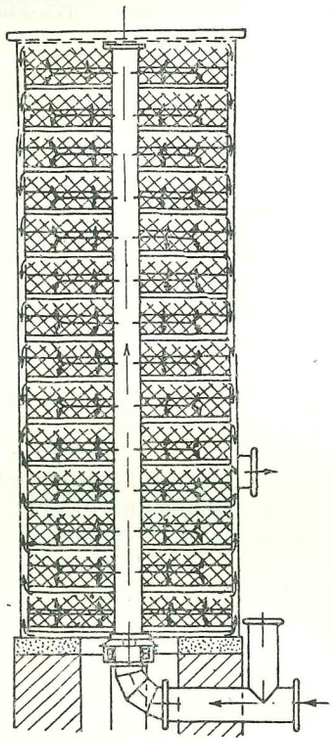
На 1 000 *м*³ газа очищенного	1905—1912 гг.	1913—1914 гг.	1924—1926 гг.
	старый способ		новый способ
Средний расход руды	20,12	19,41	10,94
Среднее количество чел.-дней	0,565	0,304	0,226
Стоимость рабочей силы	60,01	35,65	41,65
Стоимость очистки газа	155,67	98,84	45,89

Учитывая увеличение содержания серы в 1924—1926 гг. сравнительно с 1905—1914 гг., следует считать новый способ дешевле старого не менее чем в 4 раза

Теоретически потребное количество воздуха составляет примерно 2,5 *м*³ на 1 *м*³ H_2S. Так как регенерация массы происходит медленнее,

чем поглощение сероводорода, то теоретического количества воздуха недостаточно. Поэтому масса постепенно теряет активность и должна подвергаться регенерации.

4. Башенные конструкции. Так как горизонтально расположенные очистители занимают много места, были предложены башенные конструкции [87,128] (рис. 207).



207. Схема газоочистительной башни

Подобный очиститель представляет собой башню, в которую газ входит снизу. В башне располагается друг над другом большое количество железных коробок с очистной массой. Коробки снабжены втулками с отверстиями для входа газа и образуют центральную трубу, по которой проходит газ, распределяясь по отдельным коробкам. Газ, прошедший коробки двумя параллельными потоками, собирается в кольцевом пространстве между коробками и кожухом башни и отводится боковым штуцером. Зарядка башни производится с помощью крана.

Большой интерес представляет осуществленный в Германии способ очистки в башенных установках, при котором вместо мелкораздробленной массы применяются небольшие шарики диаметром 15—20 *мм*, изготовленные из гидрата окиси железа. Шарики равномерно распределяются сами и равномерно распределяют газ по сечению установки, оказывают малое сопротивление проходу газа, обладают высокой пористостью, достигающей 60% объема, и нечувствительны к физическим и химическим воздействиям, которым они подвергаются при извлечении из них серы. В силу большой равномерности распределения газа скорость течения его может быть доведена до 100 *мм/сек* и более.

Уменьшение требуемого объема подобных очистительных установок сравнительно с обычными вызывается также тем, что 1 $м^3$ башни, наполненной шариками из гидрата окиси железа, содержит примерно 700 *кг* действующей окиси железа, тогда как в обыкновенных ящиках 1 $м^3$ содержит только 330 *кг*.

Опыты показали, что даже при содержании в газе сероводорода от 30 до 50 $г/м^3$ при указанной выше скорости газа очистка осуществляется полностью.

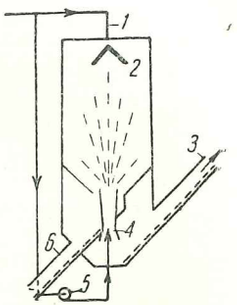
Количество серы, улавливаемой нижними рядами шариков в башнях, достигает 45% от их веса. Насыщенная масса отбирается внизу и направляется в специальную установку для выщелачивания раство-

рителями с последующим выпариванием. Шарообразная форма массы чрезвычайно облегчает получение серы. Шарики поглощают серу всем своим объемом, а не только поверхностью.

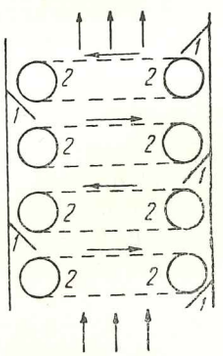
Для очистки от серы газа в количестве 100 000 $м^3/сутки$ требуются две башни диаметром в 3 850 *мм*, при высоте в 6,0 *м* каждая, так что установка требует только 25 $м^2$ площади против 200 $м^2$ для установки ящичной системы на ту же производительность.

Башенная установка с применением шариков может быть использована в комбинации с обыкновенными ящиками таким образом, что грубая очистка газа происходит в башнях при больших скоростях, а следы серы могут быть уловлены в ящиках.

5. Конструкции с движущейся очистной массой. Целесообразным представляется применение, особенно при больших количествах газа, приспособлений с движущейся пылевидной массой, при которых частицы массы тесно перемешиваются с газом [87,166]. На рис. 208 представлен подобный американский аппарат. В нем газ входит по трубе *1* и благодаря конусу *2* распределяется по сечению. Вентилятор *5* захватывает часть газа и подает его через сопло *4*, причем этот газ увлекает частицы очистной массы и мелко их распыливает. Газ смешивается с мелкораспыленной очистной массой, очищается и направляется в газопровод *3*, через который навстречу ему ссыпается очистная масса. Отработанная очистная масса отводится через трубу *6*.



208. Схема очистки с помощью распыленной очистной массы



209. Схема очистки с помощью движущейся по лентам очистной массы:

1 — распределительный лоток, *2*—ленты-сита

При подобном устройстве продолжительность соприкосновения газа с массой невелика, и оно пригодно лишь для быстро протекающих реакций. Недостатком является необходимость очистки газа от пыли, а также малый срок активного действия массы.

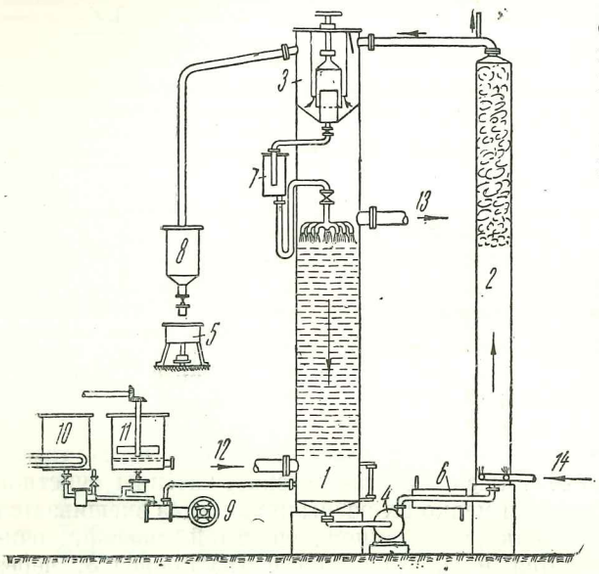
Большая продолжительность соприкосновения может быть достигнута при устройстве аппарата по схеме рис. 209. Масса подается из хранилища на распределитель, равномерно распределяющий ее по подвижному ситу, движущемуся в горизонтальном направлении. У конца сита — ленты масса попадает на следующий, нижележащий распределитель и с него — на движущееся в обратном направлении сито. С последнего сита масса попадает на удаляющий ее червяк.

Газ движется в направлении стрелок вверх.

6. Очистка активированным углем. К числу сухих способов очистки относится очистка активированным углем. Этот способ

использован в производственном масштабе фирмой I. G. Farbenindustrie.

По этому способу сырой газ смешивают с воздухом и пропускают через ряд цилиндрических котлов, наполненных активированным углем. Газ выходит чистым. На внешней поверхности угля происходит окисление сероводорода в серу, которая задерживается в порах угля. По насыщении угля серой его обрабатывают сернистым аммонием и извлекают серу. Регенерированный уголь вновь идет в работу.



210. Схема сероочистной установки по способу «Феррокс»

1 — абсорбер, *2* — регенератор, *3* — флотационное устройство, *4* — насос для отработанного раствора, *5* — центрофуга, *6* — подогреватель, *7* — переливочный бачок, *8* — сероотстойник, *9* — насос для свежего раствора, *10* — бак для Na_2CO_3, *11* — бак для $Fe(OH)_3$, *12* — подвод газа, *13* — отвод газа, *14* — подвод воздуха от компрессора

Очищаемый газ предварительно полностью освобождается от смолы. Количество примешиваемого воздуха составляет 3—4% от количества газа. Смесь подогревают до 35—40° и добавляют от 0,3 до 0,5*г* NH_3 на 1 *м*³ газа, что благоприятствует процессу. Количество поглощаемой углем серы составляет от 40 до 150% от веса угля.

Выход серы по этому способу составляет около 95% от общего содержания ее в газе. Расход пара составляет 5—6 *кг* на 1 *кг* получаемой серы. Скорость прохождения газа через угольные фильтры — 80 *мм/сек*. Нормальная потеря давления —50—60 *мм* вод. ст.

В случае наличия в газе смолистых веществ они поглощаются углем, подвергаются полимеризации и окислению и быстро приводят уголь в негодность. Недостаточная очистка газа от смолы препятствует также получению свободной серы в виде продукта 99%-ной чистоты. Недостатками способа являются дороговизна угля, громоздкость и необходимость в большой площади [87].

Мокрая очистка газа

Способы мокрой очистки генераторного газа можно разделить на две группы: очистку с улавливанием серы и очистку без улавливания серы.

К числу способов [87, 123—130] предусматривающих улавливание серы, относятся: железо-содовый, аммиачно-железный, мышьяковый и ряд др.; к числу способов без регенерации серы — способ Сиборда.

1. Способ «Феррокс». Железо-содовый способ «Феррокс» заключается (рис. 210) в промывке газа в высоких башнях-абсорберах слабым содовым раствором (1—3%), содержащим от 1 до 2 *г/л* гидрата окиси железа. Промывка идет в противотоке (газ снизу, раствор сверху).

Реакции, протекающие в абсорберах при промывке газа поглотительным раствором, выражаются следующими уравнениями:

$$Na_2CO_3 + H_2S = NaHS + NaHCO_3 \quad (1)$$

$$3NaHS + 2Fe(OH)_3 = 2FeS + S + 3NaOH + 3H_2O \quad (2)$$

$$NaOH + NaHCO_3 = Na_2CO_3 + H_2O \quad (3)$$

Таким образом вначале идет поглощение сероводорода с образованием сульфгидрата и бикарбоната натрия; затем сульфгидрат реагирует с гидроокисью железа, образуя сернистое железо и едкий натр, разлагающий бикарбонат с обратным восстановлением соды.

Суммируя приведенные три уравнения, получаем четвертое:

$$2Fe(OH)_3 + 3H_2S = 2FeS + S + 6H_2O, \quad (4)$$

из которого видно, что основным реагентом в поглотительной жидкости является гидроокись железа, в то время как сода служит лишь для сообщения ей щелочной реакции, при которой процесс протекает лучше. В результате промывки газа в жидкости образуются сернистое железо и свободная сера, находящиеся в вытекающем растворе в суспендированном состоянии.

Вытекающий из абсорбера отработанный раствор поступает на регенерацию. Для этого он гонится центробежным насосом в башню — регенератор, куда подводится также сжатый воздух. Как отработанный раствор, так и воздух подаются в нижнюю часть регенератора и проходят его снизу вверх. Воздух окисляет сернистое железо, образуя вновь гидрат окиси и выделяя элементарную серу в коллоидальном состоянии, т. е.

$$4FeS + 6H_2O + 3O_2 = 4Fe(OH)_3 + 4S. \quad (5)$$

Появившаяся в результате окисляющего действия воздуха коллоидальная сера под влиянием механического действия его пенится и всплывает в виде пены поверх раствора.

Установка снабжается флотационным устройством (пеноотделитель), в котором сера отделяется от раствора, представляющего собой уже регенерированную поглотительную жидкость. Последняя вступает в следующий цикл круговорота, а сера передается в вакуумфильтр или на центрофугу, где отжимается.

Полученный продукт не является совершенно чистым, так как серная пена механически увлекает с собой некоторое количество гидроокиси железа, загрязняющей серу. При внимательном отношении

к процессу флотационного разделения удается получить продукт с содержанием серы около 80% в сухом веществе. Осажденная в процессе мокрой сероочистки сера замечательна тем, что находится в состоянии мельчайшего распыления: частицы ее имеют размер всего лишь 1—15 μ. Подобная дисперсность серы и способность легко прилипать к растительности делают ее исключительно ценным материалом для агрикультурных целей, в борьбе с вредителями сельского хозяйства.

Приведенные выше уравнения можно свести к следующему:

$$H_2S + O = H_2O + S.$$

Из этого уравнения видно, что в процессе теоретически не должно быть потерь соды и гидроокиси железа, и должна циркулировать постоянно одна и та же жидкость, периодически теряющая и восстанавливающая свои поглотительные свойства.

На практике побочные реакции, идущие главным образом в регенераторе, выводят из строя реагенты. Побочные реакции в регенераторе заключаются в окислении серы с последующим образованием тиосульфата натрия, что связывает некоторое количество соды и серы. Потеря гидроокиси железа связана с увлечением ее пеной.

Образование тиосульфата в количестве более 5% нежелательно также и потому, что ухудшает очистку газа и вызывает необходимость в смене раствора.

Увеличение щелочности раствора благоприятствует очистке газа, но усиливает развитие побочных реакций; поэтому не рекомендуется увеличивать щелочность раствора выше 2—3%. В результате образования роданистого натрия и гипосульфита можно выделить в свободном состоянии только 75% уловленной из газа серы.

В основном подобная установка (рис. 210) состоит из четырех частей: 1) поглотительной части (скруббера-абсорбера), 2) части для восстановления (регенератора), 3) отделения для обработки серной пены и 4) вспомогательных устройств для приготовления свежего раствора и переработки отработанного.

Для лучшего перемешивания газа и раствора абсорберы снабжаются насадкой. Интенсивное смешение воздуха и раствора достигается тем, что воздух подается в нижнюю часть регенератора соплами и проходит в смеси с жидкостью ряд сит, состоящих их железных мелких стружек, заключенных между железными штампованными сетками.

Наиболее благоприятной температурой для регенерации раствора является 40°, до этой температуры и подогревается раствор.

Степень очистки газа достигается по этому способу в 80—90% и больше. Для увеличения степени очистки соединяют по нескольку абсорберов последовательно. На 1 *кг* уловленной серы расходуется соды 0,3—0,5 *кг*, гидроокиси железа — 0,1 *кг*; электроэнергии — 1,5—4 *квт-ч*; сжатого воздуха — 7—8 $м^3$.

Содержание серы в сухом продукте — 70—80%. Влажность продукта — 40—45%. Интенсивность орошения газа составляет примерно 10 $л/м^3$.

Ввиду большой высоты регенераторов (30—40 *м*) давление подаваемого в них воздуха должно быть большим, что связано с большим расходом электроэнергии на компрессию воздуха.

Фирма «Копперс» по этой причине заменяет регенератор аппаратом горизонтального типа, так называемым тионайзером. Он представляет собой камеру с перегородками, в которой регенерируемая жидкость протекает по длинному зигзагообразному пути. Воздух подается со дна камеры перфорированными трубами и отдельными струйками поднимается кверху. Образующаяся пена отводится в пеносборник. В этом аппарате расход воздуха на 30% больше, чем в башнях, но нет нужды в сильном сжатии воздуха.

Способ «Феррокс» надежен, прост и испытан в СССР. Недостатками его являются: большой расход пара и энергии, большие потери основных реагентов вследствие побочных реакций, загрязнение конечного продукта и содержание в нем не больше 70—80% серы, недостаточно полная очистка газа.

Получаемая по железо-содовому способу сера является очень зольной. Она может быть подвергнута очистке путем нагрева для удаления летучих органических веществ и перегонки, а также экстрагированием. Смолистые вещества, загрязняющие серу, сильно затрудняют ее очистку. Возможна очистка серы путем обработки ее серной кислотой, растворяющей золу серы.

Аммиачно-содовый способ. Аналогичен по схеме процесс очистки газа от сероводорода по Глууду и Шенфельдеру, в котором вместо соды, служащей для создания щелочной среды, применяется аммиак, содержащийся в газе.

При поглощении сероводорода протекают следующие реакции:

$$2NH_3 + H_2S = (NH_4)_2S$$

$$3(NH_4)_2S + 2Fe(OH)_3 = 2FeS + S + 6NH_4OH$$

$$3H_2S + 2Fe(OH)_3 = 2FeS + S + 6H_2O$$

Дополнительно к оборудованию, устанавливаемому по предыдущим способам, устанавливается кислотный промыватель, в котором удерживается аммиак, увлеченный воздухом. В циркулирующей жидкости накапливаются в результате побочных реакций нерегенерируемые аммонийные соединения.

При испытании этого способа очистки газа степень очистки была очень высока — больше 99%. В виде сырой серы получалось 85% от количества поглощенной серы, 15% окислялось до тиосульфата аммония по реакциям:

$$2NH_4OH + S + O_2 = (NH_4)_2SO_3 + H_2O$$

$$(NH_4)_2SO_3 + S = (NH_4)_2S_2O_3.$$

Полученная по аммиачно-железному способу сера, как и получаемая по железо-содовому, применяется в областях, где не имеет значения ее засоренность, или же она должна быть подвергнута очистке.

3. Способ «Тайлокс». В способе «Тайлокс» для поглощения сероводорода служит раствор тиоарсената натрия или аммиака [129].

При воздействии на эти тиоарсенаты воздуха они абсорбируют из него кислород, замещающий в молекуле тиоарсената часть серы, осаждающейся в чистом виде, чем и пользуются для регенерации раствора.

Реакции поглощения сероводорода из газа могут быть представлены следующим образом:

$$Na_4As_2S_5O_2 + H_2S = Na_4As_2S_6O + H_2O \quad (1)$$

$$Na_4As_2S_6O + H_2S = Na_4As_2S_7 + H_2O \quad (2)$$

и реакции регенерации следующим образом:

$$Na_4As_2S_7 + \frac{1}{2}O_2 = Na_4As_2S_6O + S \quad (3)$$

$$Na_4As_2S_6O + \frac{1}{2}O_2 = Na_4As_2S_5O_2 + S. \quad (4)$$

Практически, повидимому, решающее значение имеют реакции (1) и (4), так как реакция (2) протекает медленно.

Приготовление раствора тиоарсената заключается в прибавлении к содовому раствору мышьяковистого ангидрида. Первоначальный раствор представляет собой сложную смесь, содержащую некоторое количество мышьяковистого натрия, быстро поглощающего сероводород и образующего тиоарсенаты. Для поглощения последними кислорода из воздуха раствор должен поддерживаться достаточно щелочным, и число атомов натрия и мышьяка должно соответствовать по крайней мере отношению 2 : 1.

При окислении мышьяка углекислый газ постепенно удаляется, и раствор оказывается практически свободным от карбонатов. Вообще углекислый газ и карбонаты не оказывают существенного влияния на процесс.

В отсутствии карбонатов процесс идет следующим образом:

$$2Na_2HAsO_3 + 5H_2S = Na_4As_2S_5 + 6H_2O \quad (5)$$

или

$$2NaOH + 2NaAsO_2 + 5H_2S = Na_4As_2S_5 + 6H_2O$$

и

$$Na_4As_2S_5 + O_2 = Na_4As_2S_5O_2 \quad (6)$$

Тиоарсенат, полученный по уравнению (6), и представляет собой главное действующее вещество в способе «Тайлокс».

Повышенное содержание Na_2CO_3 влечет за собой развитие побочных реакций, связанных с потерей серы и соды за счет образования сульфгидрата NaHS с последующим окислением до $Na_2S_2O_3$ при регенерации раствора. Образование гипосульфита заставляет выводить из цикла часть раствора. Выводимый раствор обрабатывается серной кислотой для выделения сернистого мышьяка, возвращаемого в раствор. Увеличение концентрации раствора позволяет уменьшить количество циркулирующей жидкости и сделать установку более компактной за счет увеличения скорости поглощения сероводорода. Однако при этом увеличивается и потеря соды. Содержание мышьяковистого ангидрида в растворе составляет 5—10 *г/л*, соды—6—13 *г/л*.

Тиоарсенаты аммония ведут себя так же, как и соли натрия. Поэтому можно заменить соду аммиаком, особенно в тех случаях, когда аммиак содержится в газе.

Схема процесса очистки газа по способу «Тайлокс» сходна со схемой способа «Феррокс» и заключается в следующем.

Подвергающийся очистке газ промывается в скруббере-абсорбере слабым раствором реагента, вступающего в реакцию с сероводородом. Отработанная жидкость, содержащая серу в соединении с реагентом, поступает в регенераторы, обычно башенного типа, в которых через жидкость поступает воздух. При этом реагент соединяется с кислородом воздуха, выделяя серу.

Сера вместе с пузырьками воздуха образует пену, отделяемую от раствора, вновь поступающего в абсорбер. Пена поступает в пеносборник. Для поддержания серной суспензии в пеносборнике во взвешенном состоянии она периодически перемешивается (например сжатым воздухом). Обезвоживание пены производится вакуумфильтром или фильтрпрессом. Получаемая серная масса может быть использована в виде пасты или переплавлена в кусковую серу.

Раствор, поступающий на регенерацию, подогревается до 40°—оптимальной температуры для регенерации.

Для нейтрализации отводимого раствора предусматривается установка нейтрализатора, размеры которого определяются максимально допустимой концентрацией $Na_2S_2O_3$ в растворе (50—70 *г/л*).

Для предупреждения попадания в сточные воды мышьяка устанавливается контрольный фильтр, задерживающий остатки мышьяка, вообще говоря, выпадающего на 100% в нейтрализаторе.

Сходство аппаратуры при железо-содовом и мышьяково-содовом способах дает возможность использовать одну и ту же установку для работы на любом растворе. Расход соды и воздуха при мышьяковом способе не более, чем при содовом. Получаемая сера очень чиста (97—99%), что является большим преимуществом этого способа.

4. Способ Фишера. Францем Фишером был разработан способ извлечения сероводорода с последующим улавливанием как водорода, так и серы.

Поглотительной жидкостью в этом способе является содовый или поташный раствор железосинеродистого калия (красная кровяная соль), выделяющий после поглощения сероводорода чистую серу. Скорость поглощения сероводорода увеличивается с увеличением содержания карбоната, чему препятствует протекание побочных реакций. Фишером установлено, что побочные реакции ослабевают при добавлении к соде или поташу соответствующего бикарбоната. Регенерацию отработанного раствора Фишер ведет электролитическим путем.

В промывателе протекает следующая реакция связывания сероводорода и выделения серы:

$$2K_3Fe(CN)_6 + 2K_2CO_3 + H_2S = 2K_4Fe(CN)_6 + 2KHCO_3 + S.$$

Регенерация отработанной жидкости после отфильтровывания серы производится с помощью анодного окисления по реакции:

$$2K_4Fe(CN)_6 + 2KHCO_3 = 2K_3Fe(CN)_6 + 2K_2CO_3 + H_2.$$

Выделяющийся 95%-ный водород может быть использован.

Поглотительный раствор содержит 200—300 *г/л* красной кровяной соли, около 60 *г/л* поташа и около 60 *г/л* бикарбоната.

Способ не вышел из стадии опытных исследований. Он полностью очищает газ и дает чистую серу.

5. Способ Пти. По способу Пти очищенный от смолы газ промывается 15—20%-ным раствором поташа, поглощающим сероводород по реакции:

$$K_2CO_3 + H_2S = KHS + KHCO_3.$$

Отработанная жидкость освобождается от сероводорода путем продувания углекислотой:

$$KHS + CO_2 + H_2O = KHCO_3 + H_2S.$$

Освобождающийся сероводород вместе с избыточной углекислотой поступает в сухую очистительную установку, удерживающую сероводород и освобождающую углекислоту, возвращающуюся в свой цикл. Раствор, содержащий бикарбонат, подогревается до 100—105°, причем бикарбонат переходит в карбонат:

$$2KHCO_3 = K_2CO_3 + CO_2 + H_2O.$$

Регенерированный раствор поташа вновь идет на очистку газа, а углекислота поступает в регенератор.

Потери углекислоты с избытком покрываются поглощением из газа с помощью поташа углекислоты, выделяющейся при подогреве раствора.

Расход поташа составляет примерно 2% от количества получаемой серы.

Сероводород, поступающий в аппараты сухой очистки, имеет незначительный объем, он чист и не загрязняет массы в ящиках примесями; поэтому масса не имеет дурного запаха и не сваливается в комья; можно избежать применения в ящиках решеток; смена массы легка; ящики имеют малые размеры. Насыщенная серой очистная масса подвергается экстракции.

Получаемая сера является менее дисперсной, чем получаемая по другим способам мокрой очистки. Степень очистки газа очень высокая. Ввиду отсутствия соприкосновения регенерируемого раствора с кислородом воздуха побочные реакции не развиваются, и почти вся выделяемая сера улавливается. Способ Пти, не вышедший из стадии технической проработки, очень многообещающ по своей экономике.

6. Способ Сиборда. В Америке практикуется очистка больших количеств газа раствором соды, протекающая по следующим реакциям:

$$H_2S + Na_2CO_3 = NaHS + NaHCO_3$$

$$CO_2 + H_2O + Na_2CO_3 = 2NaHCO_3$$

$$HCN + Na_2CO_3 = NaCN + NaHCO_3.$$

Через использованную жидкость продувается воздух, и реакция протекает в обратном направлении. Сода образуется вновь и вновь может быть использована. Вдувание воздуха имеет целью изменить условия равновесия в жидкой фазе.

Подобная установка Сиборда состоит из четырех частей (рис. 211): 1) промывной башни — абсорбера; 2) регенеративной башни — активатора, 3) насоса для циркулирующего промывного раствора и 4) вентилятора для регенерирующего воздуха.

Промывная и регенеративная башни лежат друг на друге, однако вполне применимы и другие конструкции и расположения. Неочищенный газ входит в абсорбер, орошается раствором и выходит грубоочищенным (очистка 90%). Отработанный раствор протекает регенеративную башню, где навстречу ему поступает оживляющий его воздух.

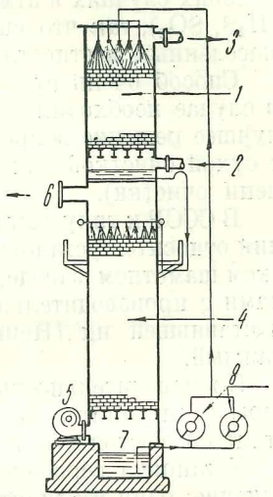
Теоретически содовый раствор может работать бесконечно, практически же понемногу приводится в негодность побочными реакциями образования тиосульфата и роданида:

$$2NaHS + 2O_2 = Na_2S_2O_3 + H_2O$$

и

$$HCN + NaHS + O = NaCNS + H_2O.$$

На 1 *кг* сероводорода затрачивается 0,1—0,2 *кг* соды. Раствор содержит 1—3% соды. Интенсивность орошения 6—8 *л* на 1 *м*³ газа. Расход электроэнергии на насосы и вентилятор — 2—3 *квт-ч* на 1000 *м*³ газа.



211. Схема мокрой очистки по способу Сиборда:

1 — скруббер - промыватель, *2*—вход сырого газа, *3* — выход очищенного газа, *4*—скруббер-оживитель, *5*—воздуходувка, *6* — выхлоп отработанного воздуха, *7*—резервуар для раствора; *8* — центробежные насосы

Чем выше крепость раствора, тем труднее его регенерировать и тем больше потери вследствие побочных реакций. Применение растворов, содержащих больше 5% соды, нежелательно.

Обслуживание установки обычно не требует специального лица и заключается в обслуживании насосов, вентиляторов, анализа газа до и после аппарата, определении щелочности раствора и добавлении соды. Периодически требуется определение содержания сероводорода в жидкости, выходящей из активатора. Особенной коррозии в аппарате не происходит. В случае возможных отложений смол следует предусматривать запасной активатор.

Мокрая сероочистка является сильным охладителем газа. Опыты, произведенные в аппарате Сиборда, показали, что газ не должен охлаждаться ниже 7°. Подогревание раствора возможно паром.

Производительность подобных американских установок колеблется в пределах 60 000—850 000 $м^3$ в сутки. Из газа удаляются при промывке 90% сероводорода и почти вся синильная кислота. Остатки сероводорода могут быть удалены сухой очисткой в очистных ящиках гидратом окиси железа. Загрязненный воздух либо отводится в атмосферу, либо применяется как воздух, необходимый для горения. В обоих случаях в атмосферу попадают вредные сернистые соединения (H_2S, SO_2), так что способ в такой форме выполним только в малонаселенных местностях.

Способ очень прост, требует малых затрат и площадей, дешев и в случае необходимости очистки небольших количеств газа дает наилучшее решение вопроса очистки газа от сероводорода (в комбинации с сухой очисткой или без таковой в зависимости от необходимой степени очистки).

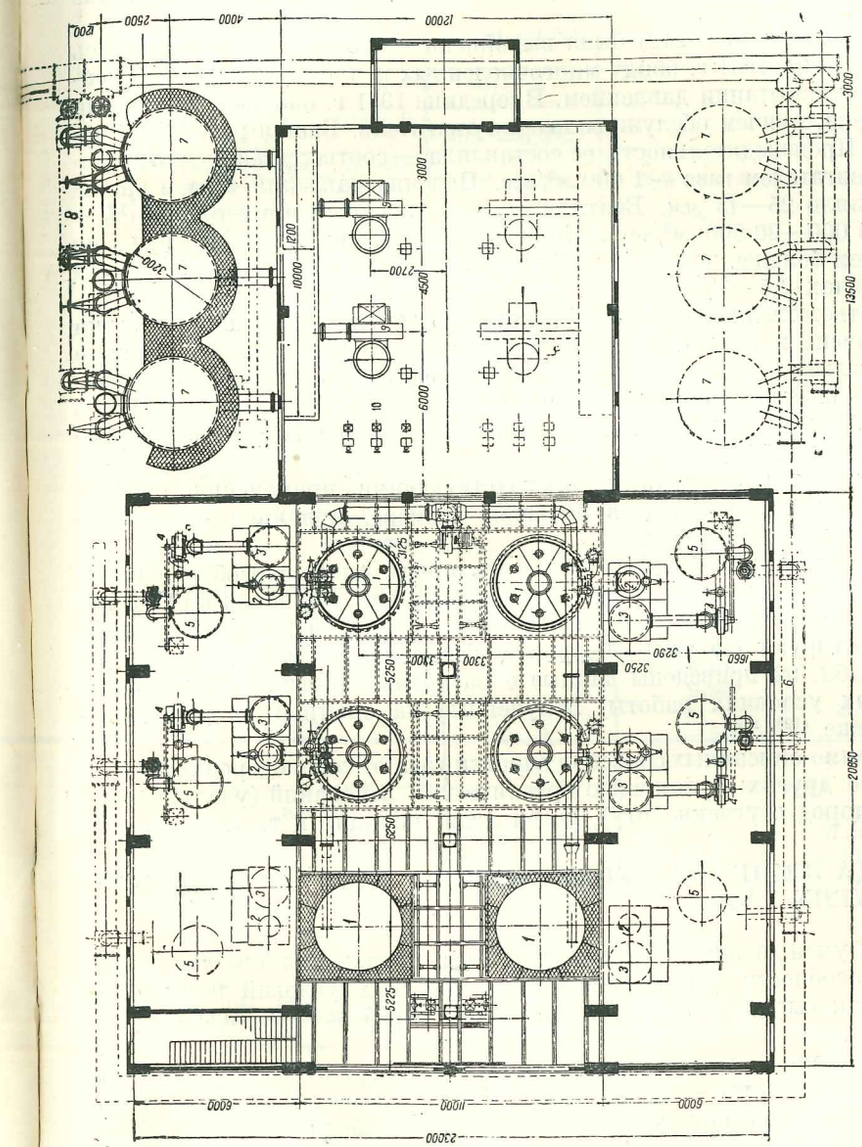
В СССР к типу установок с мокрой очисткой газа без сероулавливания относится установка с промывкой содовым раствором на Семилукском шамотном заводе, оборудованном антрацитовыми газогенераторами с производительностью, согласно гарантиям французской фирмы, поставившей их (Heurtey & Sauvageon) в 12 $т$ антрацита в сутки каждый.

Производительность башни — 3 000 $м^3$ газа в час при содержании 1% серы в антраците. Установка из одной башни обслуживает силовую станцию, состоящую из двух газовых машин по 425 $квт$.

Установка сероочистки имеет следующее вспомогательное оборудование: один вентилятор производительностью в 40 000 $м^3$ воздуха в час при давлении в 80 $мм$ и 580 оборотах (расходуемая мощность — 19 $квт$, установленная мощность мотора — 23,5 $квт$); два центробежных насоса для содового раствора (один резервный) производительностью 80$м^3$ раствора в час, высотой подъема 30 $м$ и высотой всасывания 4 $м$ (число оборотов — 1 430; расходуемая мощность — 15,5 $квт$; установленная мощность моторов—14,7 $квт$). Вентилятор и насосы предназначались для обслуживания трех башен.

Башня имеет внутренний диаметр — 3,2 $м$ и высоту около 23 $м$ и состоит из двух отделений: верхнего — очистителя газа и нижнего—оживителя раствора. Оба отделения заполнены коксом. Газ подается газопроводом в нижнюю часть верхнего отделения, проходит через барботер и поднимается кверху, орошаясь содовым раствором. Очищенный газ выходит в верхнюю свободную часть отделения и опускается вниз отдельным газопроводом. Содовый раствор насосом подается наверх, распределяется дырчатым листом по сечению башни и течет вниз по коксовой насадке, орошая газ.

Отработанный содовый раствор через сифонную трубку перетекает из верхнего отделения в нижнее, распределяется по сечению и течет, омывая коксовую насадку и соприкасаясь со вдуваемым снизу воздухом. Содовый раствор собирается внизу в бетонном резервуаре и отсюда самотеком перетекает в яму насосов. Воздух подается в ниж-



212. Схема газогенераторной установки, снабженной сероочисткой по способу Сиборда:

1 — газогенераторы, *2* — стояки, *3* — тарельчатые охладители, *4* — газовые вентиляторы, *5* — скрубберы, *6* — коллекторы, *7* — башни сероочистки, *8* — коллектор очищенного газа, *9* — воздушные вентиляторы, обслуживающие башни сероочистки, *10* — насосы раствора, обслуживающие башни сероочистки

ней части башни и направляется кверху, навстречу отработанному раствору, регенерируя его. Загрязненный выделенными из газа примесями воздух отводится специальной трубкой, выведенной выше башни в атмосферу.

Установка (рис. 212) была выполнена в 1930 г., но не пускалась до середины 1931 г. ввиду многочисленных неплотностей, обнаруженных при испытании давлением. В середине 1931 г. она была уплотнена и пущена, причем обслуживала один двигатель. Башня работала 3 месяца. Производительность ее составляла — соответственно потреблению двигателем газа — 1 000 *м³/час*. Падение давления газа в башне составляло 25—45 *мм*. Вентилятор был нагружен примерно на $^1/_3$—$^1/_2$ (15 000—20 000 *м³/час*). Количество раствора не замерялось, но было тем больше, чем меньше была концентрация соды, колебавшаяся в пределах 2,5—5%.

Соответственно небольшой производительности башни очистка была очень хорошая, и смоченная уксуснокислым свинцом бумажка не показывала окрашивания. Количественных определений содержания сероводорода специально не производилось, но, как указано в табл. 78, при испытании генератора содержание H_2S в сыром газе составляло 0,14%.

Основными недочетами, препятствующими применению способа в населенных местах и в большом размере, являются отравление воздуха и потеря серы.

7. Опыты в СССР. Из числа описанных выше способов очистки газа и улавливания серы для газогенераторных установок в СССР помимо сухого способа очистки ящиками с болотной рудой применяют и проектируют способы «Феррокс», «Тайлокс» и Сиборда.

В табл. 92 приведены данные о расходных коэфициентах и оптимальных условиях работы, полученные на опытной полузаводской установке [123, 127].

Помимо описанных способов очистки газа от сероводорода известно и много других: с помощью органических оснований (удаляющих и сероводород и углекислоту), солей меди, кальция и т. д.

10. УДАЛЕНИЕ ИЗ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА УГЛЕКИСЛОТЫ И ДРУГИХ ГАЗОВ

Для уменьшения удельного веса газа, увеличения его теплотворной способности или в силу технологических условий применения газа как сырья является желательным освобождение газа от углекислоты.

Повышенное количество углекислоты содержит газ, получаемый из молодых топлив — дров и торфа. Много углекислоты содержит газ, получаемый при парокислородном дутье, и особенно газ, получаемый в генераторах, работающих под высоким давлением.

Углекислота, как и сероводород, обладает свойствами кислоты и способностью связываться с основаниями. Обычно под очисткой газа от углекислоты понимают не полное удаление ее из газа, а только уменьшение ее содержания.

Таблица 92

Расходные коэфициенты и оптимальные условия работы, полученные на полузаводской установке при переработке 1000 м³ коксового газа в час

№ п. п.	Статьи	Способы очистки		
		железо-содовый	железо-аммиачный	мышьяковый
1	Концентрация соды в растворе	0,5 —0,7%	—	12 *г/л*
2	Концентрация в растворе $Fe(OH_3)$	0,25—0,3%	2,5—3 *г/л*	—
3	Концентрация в растворе NH_3	—	6—7 »	—
4	Концентрация в растворе AS_2O_3	—	—	5—7 *г/л*
5	Количество жидкости, подаваемой на 1 *м³* газа	12—15 *л*	10—12 *л*	10—12 *л*
6	Температура поглотительной жидкости	35—40°	40°	40—50°
7	Удельный вес раствора	1,04	1,05	—
8	Расход воздуха на 1 *кг* поглощенной из газа серы	6—10 *м³*	5—5,5 *м³*	7 *м³*
9	Продолжительность контакта воздуха с раствором в регенераторе	40—60 мин.	—	—
10	Расход соды на 1 *кг* поглощенной серы	0,15 *кг*	—	0,08—0,1 *кг*
11	Расход Fe_2O_3	0,10	0,14	—
12	» NH_3	—	30—40% (от поглощаемой)	—
13	» As_2O_3	—	—	0,005 *кг*
14	Расход воздуха	8 *м³*	5—5,5 *м³*	7 *м³*
	Состав влажной пасты			
15	Серы	40—50%	—	57,5—55%
16	As_2O_3	—	—	0,31—0,34%
17	Влаги	30—40%	—	40—42%
18	Примесей	30—10%	—	2,2—2,5%
19	Коэфициент улавливания H_2S из газа	90—95%	98—99%	96—97%
20	Выход элементарной серы при регенерации в % от поглощенной из газа	75—80%	75—80%	98—100%

Углекислота может быть выделена физическим или химическим путем. В первом случае газ подвергается сильному сжатию и одновременному охлаждению; при этом углекислота вымораживается или сжижается или же растворяется в промывной воде. Энергию сжатия

газа и воды, а также углекислоту, выделяющуюся из воды, в дальнейшем можно использовать.

Если сжатие газа не требуется для целей дальнейшей обработки его или транспортирования на дальнее расстояние, то поглощение углекислоты из газа с помощью промывки водой под давлением является неэкономичным вследствие большой затраты энергии.

Поглощение углекислоты водой препятствует полному растворению сероводорода.

Удаление углекислоты из газа химическим способом обычно производится путем связывания ее щелочами.

На некоторых заводах в Англии сухие очистители загружаются порошкообразной, слегка увлажненной с помощью разбрызгивателей обожженной известью. При проходе газа через массу полностью выделяются сероводород и углекислота. Отработанная известь служит материалом для удобрения [130].

Способ промывки газа известковым молоком, образующим в соединении с сероводородом гипс, а с углекислотой — углекислый кальций, не применяется ввиду засорения системы получающимися продуктами и трудности очистки раствора.

Промывка газа в целях удаления CO_2 производится обычно раствором едкого натра. Связывание CO_2 идет по реакции:

$$2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O$$

В больших установках получаемый раствор регенерируется путем кипячения с гидратом окиси кальция:

$$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2NaOH + CaCO_3$$

Возможно связывание углекислоты растворами карбонатов. Углекислота освобождается путем нагревания раствора. Для создания благоприятных условий абсорбции при удалении углекислоты применяют сравнительно слабые растворы с содержанием углекислого натрия не более 8—10% или поташа 15—20%.

Для одновременного удаления сероводорода и углекислоты может быть применен способ очистки с помощью органических оснований (способ Гирдлера). По этому способу в результате связывания сероводорода и углекислоты образуются комплексные соединения типа:

$$2RNH_2 + H_2S = (RNH_2)_2H_2S$$

$$2RNH_2 + CO_2 + H_2O = (RNH_2)_2H_2CO_3$$

При слабом нагревании реакции протекают в обратном направлении, и поглощенные газы выделяются, восстанавливая реагент.

Пригодными для очистки газа основаниями являются ди- и триэтаноламины:

$$NH(CH_2CH_2OH)_2$$

и

$$N(CH_2CH_2OH)_3$$

Эти соединения стойки и имеют высокую температуру кипения, что определяет малую их потерю. Они хорошо поглощают сероводород и углекислоту. Применяются они в виде 50%-ного раствора. Углекислота и сероводород могут быть уловлены.

Установка по описанному способу имеет малые размеры, расход реагентов невелик, расход пара для подогрева отработанного раствора мал, очистка газа хороша (по некоторым данным в очищенном газе 0,11—0,046 *г/м*³ H_2S и 0,01% CO_2) [130].

Иногда после промывки газа водой под давлением его подвергают окончательной очистке с помощью едкого натрия или жидкого аммиака для удаления углекислоты, сероводорода и других примесей.

Для удаления кислорода его связывают в воду, сжигая имеющийся в избытке водород на поверхности нагретой медной сетки или на тонко раздробленной медной или другой контактной массе [8].

В качестве одного из методов очистки газа для получения азотно-водородной смеси для целей синтеза аммиака применяется отмывание углекислоты водой под давлением и поглощение остатков (после конвертирования) окиси углерода растворами медных солей в избытке аммиака. Образовавшиеся комплексные соединения при повышении температуры распадаются с выделением окиси углерода [8].

Водород из газа наиболее просто может быть получен путем конденсации сопровождающих его газов методом охлаждения газовой смеси до температуры жидкого воздуха. Главным преимуществом этого способа разделения газов является почти полное освобождение водорода путем промывки жидким азотом от окиси углерода и метана.

Для глубокого охлаждения газов пользуются принципом охлаждения газа при расширении [131].

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тренклер, Газогенераторы, перевод под ред. и с дополнениями Н. Н. Лазарева, ОНТИ, Энергоиздат, М. 1933.
2. Robert A., Hedfeld, Wart, Surgent R., Сравнительные роли газа и электричества в промышленности. Труды 2-й всемирной энергетической конференции, 1930.
3. Хаслам Р. Т. и Руссель Р. П. Топливо и его сжигание, перевод, ГГНИ, 1934.
4. Rambush N., Новейшие системы генераторов, London, 1923.
5. Фрост А. В., Термодинамика реакций углеводородов, журн. «Химия твердого топлива», вып. 2, 1933.
6. Каржавин В. Равновесные соотношения при конверсии метана, «Журнал химической промышленности», № 6, 1932.
7. Ауфгейзер А. Топливо и его горение, перевод, Энергоиздат. 1933.
8. Фокин Л. Ф., Синтез аммиака, ГХТИ, Л. 1932.
9. Henry Le-Chatelier, Топливо в промышленности, Leipzig, 1922.
10. Faber, Буроугольный газ, Halle, 1928.
11. Strache, Справочник по газовому делу, т. IX. München und Berlin, 1919.
12. Franz Fischer, Helmut, Picheir und Relf Pieder, О влиянии каталитических добавок и уменьшенного давления на установление равновесия генераторного газа над полукоксом, Brennstoffchemie, № 18, 1932.
13. Гаврилов Н. Н. и Богданов Н. Н., Основы термической переработки торфа ГНГГИ, 1932 г.
14. Солодовников Г. А., Методы химической переработки низкосортных углей ГНТИ, Л. 1931.
15. Fischer F., Силовой газ, Leipzig, 1921.
16. Фейнберг М. М., Расчеты и интенсификация производства водяного газа, журн. «Химстрой», № 1, 1933.
17. Grahl, Рациональное использование топлива, Berlin, 1923.
18. Гроздовский М. К. и Чуханов З. Ф., Процесс газификации топлива воздухом, обогащенным кислородом, «Журнал прикладной химии», т. VII, в. 8, 1934.
19. Schwarz C., Теплоты металлургических реакций «Archiv für das Eisenhüttenwesen». H. 6. 1932.
20. E. Terres, G. Patscheke, H. Hofmann, St. Kovacs, O. Löhr, Об образовании водяного газа и поведении кокса и полукокса бурых и каменных углей при получении водяного газа, «G. W. F» № 35—40, 1934.
21. Бриан В., Вычисление равновесия водяного газа, перевод, журн. «Химстрой», № 2, 1932.
22. Brass W., Процессы в генераторах и регенераторах с точки зрения физической химии, «Sprechsaal», № 39—42, 1927.

23. Galozci, Труды 2-й всемирной энергетической конференции, Газификация с парокислородным дутьем, 1930.
24. Рябцев И. И., Равновесные соотношения при газификации твердого топлива парокислородной и паровоздушной смесью под давлением, «Журнал химической промышленности», № 4, 1935.
25. Drawe, Получение высококалорийного газа при газификации на кислородном дутье, «G. W. F.» № 28, 1933.
26. Gubman O., Производство богатого водородом газа для снабжения городов и синтеза «Metallgesellschaft» № 8, 1933.
27. Ostwald W., В помощь графической теплотехнике, Leipzig, 1920.
28. Есьман И. Г., К вопросу о движении газов в металлургических печах, «Ж.Р.М.О.» № 6, 1910.
29. Arnemann C., Сухая перегонка и газификация бурого угля, «Zeitschrift für angewandte Chemie», 1924.
30. Arnemann C., Газификация среднегерманских бурых углей, «Feuerungstechnik», J, XIV, H. 1.
31. Trenkler H., Получение первичной смолы при газификации «VDI» № 48, 1920.
32. Блинов В. И., О механизме горения углеродных частиц при атмосферном давлении, «Известия ВТИ» № 7, 1934.
33. Равич М. Б., Производство водяного газа и водорода, Гизлегпром, М. 1933.
34. Rambush N. E., Мощные генераторы водяного газа в Великобритании. Труды 2-й всемирной энергетической конференции, 1930.
35. Power Gas Corporation, Установка для производства водяного и генераторного газа в Биллингеме, «Engineering», March, Avril, 1929.
36. Dent F., О производстве водяного газа «Gas Journal», 1/III, 1933.
37. Гвоздь И., Двойной водяной газ, перевод, ГНТИУ, 1934.
38. Thau A., Получение водяного газа в генераторе Геллера. Труды международной конференции по битуминозным углям, Pitsburg, 1931.
39. Производство водяного газа в коксовальной печи, «Brennstoffchemie» № 6, 1933.
40. Дель, Полная газификация бурого угля под давлением, журн. «Вестник науки и техники» № 4, 1933.
41. Костылев Н. А., Тепловые расчеты. Теория газификации. Газогенераторы, Кубуч, Томск, 1932.
42. Павлов М. А., Вязкость доменных шлаков по данным американских исследователей, журн. «Советская металлургия» № 3, 1932 г.
43. Rambush N. E., Rixon E. F., Использование газогенераторов для металлургических процессов, «Chemical Eng. Trans.» № 9, 1931.
44. Hermanns, H. Газогенераторы и газовое отопление, Berlin, 1923.
45. Dessemond A., Генераторы с выпуском жидких шлаков, работающие на горячем дутье, «Revue Univers. des Mines», 1922.
46. Servais, Вопросы металлургии, НТО ВСНХ УССР, 1926.
47. Доменная плавка на торфе. Материалы комиссии при президиуме Мособлисполкома по выплавке чугуна на торфе из руд и агломерата пиритных огарков, М. 1933.
48. Доменная торфокислородная плавка. Материалы комиссии при президиуме Мособлисполкома по выплавке чугуна на торфе, М. 1933.
49. Грум-Гржимайло, Пламенные печи, издание Теплотехнического института, М. 1925.
50. Дралле-Кеппелер, Производство стекла, перевод, М. 1923.
51. Lut F., Современное состояние газогенераторостроения и эксплоатация газогенераторов на металлургических заводах, «Stahl und Eisen», H. 49, 1932.
52. Доброхотов Н. Н., Лебедев Н. И., Цветков А. М., Родионов М. И., Исследование газификации ленинских углей. Сборник «Угли Западной Сибири в топках паровых котлов и газогенераторах», ГНТГИ. 1933.
53. Гольдблат Я., Копаневич Н., Перспективы применения механических газогенераторов в СССР, журн., «Гипромез» № 1—2, 1931.
54. Гинзбург Д. Б., О работе генератора в Семилуках, журн. «Строительные материалы» № 5, 1931.
55. Доброхотов Н. Н., Расчет генераторов и генераторного процесса, Л. 1922.
56. Гинзбург Д. Б., О работе генератора системы Вельман, журн. «Керамика и стекло» № 6, 1930.
57. Windett V., Газогенераторы высокой производительности, «The Jron Age», 1931.
58. Balley K. M., Получение водяного газа непрерывным путем, «Chem. Ztg.», 1921.
59. Цейтлин Д. Г., Критический обзор методов подземной газификации углей, журн. «Подземная газификация углей» № 1, 1934.
60. Grimm H. G., Газификация мелкосортных топлив в генераторе Винклера. Труды международной конференции по битуминозным углям в Питсбурге, 1931.
61. Bosch C., Проблема заводских методов гидрирования, «Die chemische Fabrik» № 4, 1934.
62. Кириченко И. П., Метод подземной газификации угля. Сборник «Горная промышленность СССР», т. I, в. 1, 1932.
63. Шах-Пароннанц Г. И., Газогенераторные установки, атлас ч. I, М. 1932.
64. Starke, Дальняя передача газа, Leipzig, 1924.
65. Шах-Назаров М. Х., Газификация городов, ГГНИ, 1934.
66. Swantke, Водяные затворы в газопроводах, «Stahl und Eisen», № 34, 1932.
67. Grünbaum H., Дистанционное управление задвижками, «Zeitschrift der Deutschen Technik» № 2, 1932.
68. Gwosdz J., Генераторный газ, Leipzig, 1921.
69. Автоматическое управление установками для получения водяного газа, «Journal des Usines à Gaz» № 3, 1934.
70. Шюле, Основы технической термодинамики, перевод, ОНТИ, 1935.
71. Hütte, 1922.
72. Остертаг, Компрессоры и воздуходувки, перевод ГНТИ, 1931.
73. Шак А., Теплопередача в промышленных установках, перевод, ОНТИ, Энергоиздат, 1933.
74. Лемлех И. М., Рекуператоры для нагревательных печей, ОНТИ, Энергоиздат, Л. 1933.
75. Маурах Г., Паровые котлы на отходящих газах промышленных печей, перевод, ОНТИ, Энергоиздат, М. 1932.
76. Маслов А. Г. и Мигулин Н. А., Новейшие газогенераторы на заводе им. X годовщины Октября, журн. «Енергетика» № 3, 1930.
77. A. V. G., Центральная генераторная станция на коксе с использованием физического тепла газа. Неопубликованный отчет.
78. Маслов А. Г., Газогенераторная установка фирмы «Демаг», журн. «Енергетика» № 9—10, 1932.
79. Маслов А. Г., Новый метод работы генераторов водяного газа, журн. «Енергетика» № 2, 1934.
80. Hecker E., Исследование над влиянием изменений нагрузки генератора с рубашкой в виде парового котла высокого давления, «G. W. F.» № 18, 1932.
81. Fabian, Охлаждение газа с использованием физического тепла газа, «Zeitschrift für angewandte Chemie» № 28, 1925.
82. Теплотехническое бюро в Дюссельдорфе, Нормы расхода энергии в черной металлургии, ОНТИ, 1934.
83. Стадников Г. Л., Химия угля, ГНТИ, М. 1932.
84. Справочная книга «Теплотехник», том I, Акад. издательство 1930,

85. Дольх М., Руководство к практическому исследованию угля, перевод, ГНТИУ, 1934.
86. Карелин А. И. и Коллегаев А. В., Качественные характеристики топлив СССР, ГЭИ, 1932.
87. Нусинов Г. О., Методы улавливания серы из промышленных газов, ГНТИ, 1933.
88. Фишер Р., Превращение углей в жидкое состояние, М. 1926.
89. Копытов В. Ф., Газификация челябинского угля на газогенераторной станции Сухоложского шамотного завода, журн. «Строительные материалы» № 10, 1932.
90. Шишаков Н. В., Опыт газификации челябинского угля, журн. «Известия ВТИ» № 2, 1932.
91. Шишаков Н. В., Опыт газификации подмосковного угля, журн. «Известия ВТИ» № 3, 1932.
92. Тавровский Л., Испытание углей на газификацию на Беловском цинкзаводе. Сборник «Угли Западной Сибири в топках паровых котлов и газогенераторах», ГНТГИ, 1933.
93. Шишаков Н. В., Опыт газификации донецких антрацитов в газогенераторе «Тиссен», журн. «Известия ВТИ» № 4, 1932.
94. Шишаков Н. В., Газификация боково-хрустальского антрацита АК, журн. «Известия ВТИ» № 12, 1932.
95. Келлер К., Руководство к исследованию продуктов коксования каменных углей, Л. 1931.
96. Солодовников П. А., Термическая обработка подмосковных углей, Мосхимэнергострой 1931.
97. Доброхотов Н. Н., Глинков М. А., Иванцов К. П., Исследование газификации сибирских и уральских углей. Сборник «Угли Западной Сибири в топках паровых котлов и газогенераторах» ГНТГИ, 1933.
98. Гроздовский М. К., и Чуханов З. Ф. Газификация в кислородной зоне. Неопубликованная работа Государственного института азота, 1934—35 г.
99. Гаврилов Н. Н., Эдельштейн Н. Г., О реакционной способности торфяного кокса по отношению к восстановлению углекислоты в окись углерода. Труды Инсторфа, в. 6, 1932.
100. Keppeler, Топливо и его сжигание, München, 1922.
101. Герасимов Д. А., Торф, ГНТГИ, 1932.
102. Уокер В., Льюис В., Мак-Адамс В., Типовая химическая аппаратура, перевод в. 2, ОНТИ, 1934.
103. Егоров Н. Н., Степень осаждения пыли в газоходах и пылеотстойных камерах, журн. «Химстрой» № 6, 1933.
104. Rosin, Ramler, Intelmann, Основания и пределы обеспыливания в циклонах, «VDI» № 18, 1932. Реферат в журн. «Химстрой» № 12, 1932.
105. Егоров Н., Процессы сухого осаждения пыли. Реферат в журн. «Химстрой» № 5, 1932.
106. Милль В. Д., Новый метод расчета циклонов, журн. «Химическое машиностроение» № 6, 1934.
107. Шнеерсон Б., Егоров Н., Электрическая очистка газов, ОНТИ, 1933.
108. Глууд В., Шнейдер и др., Производство кокса, перевод, Гостехиздат УССР, 1931.
109. Фокин Л. Ф., и Павлов К. Ф., Методы расчета типовой химической аппаратуры. Кубуч, 1932.
110. Варганов В. А., Григорян Б. М., Приборы для сжигания жидкого топлива, Нефтяное из-во, 1930.
111. Пейсахов и Сосновский И., К расчету скрубберов, журн. «Кокс и химия» № 5, 1934.
112. Гаусбранд Э., Выпаривание, конденсация и охлаждение, перевод, ГНТИ, 1931.

113. Лоханский И. И., Основы коксования и улавливания побочных продуктов, НХТИ, Л. 1930.
114. Эйлер В. А., Очистка доменного газа, перевод, Металлург. издат., 1933.
115. Thau A., Сухая перегонка бурого и каменного углей, Halle a. F., 1927.
116. Bertelsmann W. und Schuster F., Техническая обработка газообразных веществ, Berlin, 1930.
117. Крендель А. С., Основные факторы процесса охлаждения и очистки газа в скрубберах Лимна, журн. «Химстрой» № 7, 1934.
118. Ногин К. И., Сухая перегонка дерева, ГНТИ, 1931.
119. Казачков Л. М., Очистка сточных вод газогенераторной установки в Бобриках. Очистка сточных вод. Неопубликованные работы Харьковского углехимического института.
120. Котляров И. И., Применение активированного угля для обесфеноливания сточных вод, журн. «Кокс и химия» № 6, 1933.
121. Чулков Я. М., Новый способ устранения фенолов из сточных вод. «Журнал химической промышленности» № 12, 1934.
122. Притула А. Ф. и В. А., Транспорт нефти, нефтяных продуктов и газа, ГГНИ, 1934.
123. Гофтман М. В. и Аронов С. Г., Очистка технических газов от сероводорода с получением элементарной серы, журн. «Кокс и химия» № 1, 1933.
124. Гофтман М. В., Аронов С. Г., Саниченко С. Е. и Хват М. Б., Очистка технических газов от сероводорода с получением элементарной серы, журн. «Кокс и химия» № 2, 1933.
125. Аронов С. Г., Поглощение сероводорода из газа с получением серы растворами мышьяковистых солей, журн. «Кокс и химия» № 3, 1933.
126. Гофтман М. В., Аронов С. Г. и Михельсон Э. М., Очистка технических газов от сероводорода с получением элементарной серы, журн. «Кокс и химия» № 5—6, 1933.
127. Гофтман М. В., Аронов С. Г. и Михельсон Э. М., Изучение процесса получения серы из коксового газа по способу, аналогичному методу «Тейлокс» на полузаводской установке УХИНа, «Журнал химической промышленности» № 8, 1934.
128. Thau A., Новый способ обессеривания газов, «G. W. F.» № 3, 1934.
129. Salmar H. A., Химический процесс очистки газа по способу «Тайлокс» «Ind. Eng. Chem.» № 2, 1934.
130. Thau A., Удаление углекислоты и сероводорода из газов «G. W. F.» 1931.
131. Borchardt P., Разделение газов под давлением и при низкой температуре. Отчеты 2-й международной энергетической конференции, 1930.
132. Климов Б., Ланин В. и Мордухович Е., Количества уксусной кислоты и фенолов, получаемых при перегонке торфа, журн. «Химия твердого топлива» № 11, 12, 1932.
133. Основные данные по бурым углям, Köln, 1929.
134. Чистяков Н. В., Производство водорода и водяного газа, ОНТИ, 1933.
135. Деревягин А. А., К вопросу об охлаждении газа растворами уксусного порошка, журн. «Лесохимическая промышленность» № 5—6, 1934.
136. Гинзбург Д., Торфяная газогенераторная установка «Дахрост», журн. «Керамика и стекло» № 2, 1932.
137. Сиволобов А., Современные способы очистки светильного газа для нужд широкого коммунального потребления, «Известия ВТИ» № 3, 1930.
138. Meldau P., Физические свойства промышленной пыли, «V. D. I.» № 49, 1932.

139. Хейлигенштедт, Регенераторы, рекуператоры и воздухонагреватели, перевод, ОНТИ НКТП СССР, 1933 г.
140. Hawk, Golden, Strock, Fieldner, Конверсия метана в окись углерода, «Industrial and Engineering Chemistry», № 1, 1932.
141. Gwosdz I., Современное состояние производства водяного газа из более молодых сортов топлива, главным образом из бурого угля, «Braunkohle» № 49, 50, 1931.
142. Stief, Непрерывно-действующая установка водяного газа системы Пинч—Гиллебранд на газовом заводе в Гамбурге, «G.W.F.», № 29, 1932.
143. Scheffer A., Langthaler E., Оборудование и эксплоатация газовых установок, München, Berlin, 1929.
144. Шенк Г. Физико-химия металлургических процессов, ч. I, перевод, ОНТИ ГНТИУ, 1935.
145. Партингтон Дж. Р., Раковский А. В., Курс химической термодинамики, перевод, ГХТИ, 1932.
146. Shah, Горение древесного угля в кислороде, окиси азота и закиси азота, «Journal of the Chemical Society», 26, 76, 1929.
147. Schilow N., Tschmutow K., Явления адсорбции в растворах. Опыты с углем, свободным от газа, в качестве адсорбента, «Zeitschrift für physikalische Chemie», B. 148, 1930.
148. Schilow N., Schatunowskaja H., Tschmutow K., О химическом состоянии поверхности активного угля, «Zeitschrift für physikalische Chemie», B. 149, 1930.
149. Brewer R. E., Reyerson L. H., Производство водяного газа с высоким содержанием водорода из кокса молодых углей, «Industrial and Engineering Chemistry» № 9, 1934.
150. Nusselt, Процесс горения в пылеугольных топках «VDI», 68,6, 1924.
151. Burcke, Schumann, Механизм горения твердого топлива, Труды международной конференции по битуминозным углям в Питсбурге, 1931 г.
152. Tu, Davis, Hottel, Скорость горения углерода. Горение сферических частиц в движущемся потоке газа, «Industrial and Engineering Chemistry» № 7, 1934.
153. Блинов В. И., Хайкина С. Э., Влияние давления на скорость сгорания углеродных сферических частиц, журн. Известия В.Т.И. № 6, 1935.
154. Окнов М. Г., Топливо и его сжигание, ОНТИ Госметаллургиздат, 1934.
155. Neumann K., Forschungsarbeiten, Процессы в газогенераторах, H. 140, 1914.
156. Юшкевич Н. Ф., Равновесие $2CO \rightleftarrows CO_2 + C$, Известия Уральского государственного университета, т. II, 1921.
157. Dent F. J., Cobb J. W., Равновесие $CO_2 + C \rightleftarrows 2CO$, «Journ, of the Chemical Society», сентябрь 1929.
158. Cobb, J. W., Утилизация наших угольных запасов, Fuel № 11, 1927.
159. Neumann, von-Ahlen., Влияние присадки неорганических веществ, встречающихся в золе кокса на его реакционную способность, «Brennstoffchemie» № 4, 1934.
160. Keene, Turner, Scott., Взаимодействие антрацита с углекислотой, Trans., Am. Inst. Min. a Met. Eng. v. 108, 1934.
161. Гроздовский М., Чуханов З., Высокоскоростная газификация, газета «Техника» № 73, 1935 г.
162. White, Schulz, Сплавленная окись кобальта как катализатор при реакциях водяного газа, «Industrial and Engineering Chemistry» № 1, 1934.
163. Haslam, Hitchcock, Rudow, Реакции водяного газа, «Industrial and Engineering Chemistry» № 15, 1923.
164. Griffith, Водяной газ, London, 1934.

165. Fox, White, Влияние углекислого натрия на газификацию углерода и получение генераторного газа. «Industrial and Engineering Chemistry № 23, 1931.
166. Schroth, Conrad, Генератор двойного водя ногогаза. «G.W.F.» № 25, 1934.
167. Gerdes, Получение водяного газа в генераторах Пинч—Гиллебранд, «Braunkohle» № 13, 14, 1935.
168. Сазонов Н. И., Первые итоги опытов по подземной газификации углей, журнал Х. Т. Т. выпуск 1, 1935.
169. Тайц Н. Ю. Нагревательные печи, ОНТИ, НКТП, ГНТИУ, 1935.
170. Орлов Н. А., Очерки по химии угля. Общая химия угля, Издательство Академии наук СССР, Ленинград, 1934.
171. Касаткин А. Г., Основные процессы и аппараты химической технологии, ч. I, Механические процессы, ОНТИ, НКТП СССР, 1935.
172. Гурфинкель И. М., Газовое дело, том первый, часть I и II, ОНТИ, ДНТВУ. НКТП, 1935.
173. Кириченко И. П., Опыт малой панели Лисичанской шахты по методу «скважина-генератор», Журн. «Подземная газификация углей» № 7—8, 1935.
174. Кириченко И. П., Водяной газ на Лисичанской шахте, журн. «Подземная газификация углей» № 9, 1935.
175. Филатов В. В., Зональный расчет и дробление целика угля его внутренними силами, журн. «Подземная газификация углей» № 3, 1935.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Адамс 2, 5, 26, 41, 42, 44, 45, 342, 343
Альтмейер 11, 321
Арнд 21
Арт 104
Ауфгейзер 16
A. V. G. 296, 306, 435

Б

Бабкок-Вилькокс 381
Балей 216
Бальке 394
Бамаг 127, 174
Байер 410
Бах 247
Бендер и Фрембс 309
Бер 329
Бергфельд 439
Бертелло 13
Биль 247
Блаузиус 244
Блинов 19
Боне 59, 322, 323
Брендер 44
Бриан 39
Брюйер 16, 17
Будуар 21, 24
Бурке 18
Бэджер 394

В

Варганов 381
Введенский 73
Веймаут-Толь 245
Вельман 198, 209, 210, 214, 278
Вендт 29, 30, 55
Венцель 18
Verity 190
Верморели 381
Вилькокс 381
Виндет 210
Винклер 130, 216, 219, 222, 223, 224
Вюрт 142, 143

Г

Габер 39, 41
Гаврилов 344
Ган 39
Гаррис 41
Gasgenerator undj Braunkohlen-Verwertung 183, 184
Гау-Бабю 139
Гаусбранд 382, 390
Гвоздь 44, 45, 108, 109, 111
Гейслер 319
Геллер 113, 130, 160, 216, 217, 218, 219, 220
Gelsenkirchener Bergwerks 145, 146
Георгс-Мариенхютте 145, 146, 147
Герцберг 217
Гец 174
Гиббс 76
Гиллебранд 113, 130, 131, 132
Гильгер 172, 173, 177
Гинсельман 310
Гирдлер 470
Гичкок 42
Гласгоф 49
Глинчлей 391
Глууд 461
Говард 202, 203
Горстман 39
Гофман 43
Грау 330
Грефе 324
Григорьев 381
Гроздовский 29, 55
Грум-Гржимайло 239, 240
Грюнбаум 271
Губман 71, 137
Гумфрей и Гласгоф 49, 128

Д

Даннеберг и Квандт 366
Деви 260
Девис 18, 331
Дезорм 9
Дейц 85, 86, 173, 411

Дельвиг 48, 49
Дельвиг-Флейшер 129
Демаг 174, 175, 176
Дент 21
Деревягин 439
Динглер 410
Дитгельм 21
Дитцель 44, 45
Доброхотов 177, 244
Дольх 44, 75
Дорр 152
Драве 71, 133
Дубинин 195
Дюквезен 396
Дюлонг 352

Е

Елинек 21, 24
Ерк 373

З

Зейденшнур 344
Зорге 316

И

I. G. Farbenindustrie 219, 223, 458
Истман 39

К

Карпов 200
Карриер 391
Келлер 39
Керпели 169, 173, 177, 178, 193, 215, 334
Кертинг 296, 379
Кин 26
Кириченко 227, 228, 230
Клемент 9, 25, 26, 41, 42, 44, 45, 342, 343
Кобб 21, 45, 46
Ковач 43
Coen 381
Kohle und Erz. 150
Koller 174
Коновалов 353
Копперс 151, 437, 461
Коревар 32
Костылев 138
Котрелль 398, 403
Крамер 104
Краух 221
Крегер 44
Крейз 123
Кисман 109

Л

Лаваль 276
Ланге 21
Ле-Нобель 44
Лер 43
Ле-Шателье 15
Лимн 393, 394, 395, 398, 399
Линде 155
Линк 91
Лонг 44
Лурги 135, 137, 422
Люис 38, 39
Лют 303
Лянг 44
L'air Chaud 148, 149, 152

М

Мак-Кеффери 138, 139
Майер 11, 17, 18, 21, 321
Маришка 302, 303
Менделеев 225, 352
Милль 365
Монд 4, 92, 182, 341, 351, 357, 435, 447, 448, 449, 450, 451
Морган 168, 173, 192, 209
Моррис 298

Н

Назаров 195
Нейман А. 23, 40
Нейман К. 28, 29, 39, 54, 55
Нуссельт 18, 372, 373

О

Омбек 244
Осанн 75
Оствальд 76, 81

П

Павлов 397
Парр 319
Партингтон 38
Патчеке 43
Пауэр-Газ 199
Пейсахов 386, 393
Пекстон 45,
Петер 206, 275
Петри 413
Пинч 87, 106, 117, 122, 130, 146, 182, 215, 295
Пинч-Гиллебранд 113, 130
Пистор 40
Полубояринов 134
Поль 245
Поуэль 319
Пти 464
Пфейфер 216

Р

Раковский 38
Рамбуш 41, 97, 139, 173, 303, 304

Рамзей 225, 321, 322
Рандалль 38, 39
Рафлер 360
Рейерсон 16, 17
Рейнольдс 244
Реман 150, 176
Рид 16, 19, 21
Риксон 139
Ричи-Гоцо 183, 185
Рише 85
Робинзон 394
Розенбауг 385
Ройстер 138
Рудэй 42
Руммель 291
Руссель 19, 28, 38, 52, 54, 60
Рут 281, 282
Рутс 312
Рябцев 67

С

Сиборд 465, 466, 468
Сименс 162, 165, 166, 192
Сименс и Шуккерт 422
Смирнов 195, 196
Смит 145
Societé Houillieres de St. Etienne 148
Сосновский 386, 393
Спиридонов 380
Стассано 113
Стадников 313, 316, 324, 325, 326, 332
Стокс 361
Сюид 439
S. F. H. 141
Shorples Speciality Co USA 435

Т

Тайлокс 462, 463, 468
Тау 417
Твайт 85
Тейсен 398, 403, 404, 405, 407, 408 409, 410, 425, 426, 438, 439
Тен-Бош 244
Тернер 26
Террес 43, 44, 45, 182, 341
Тимм 216
Траубе 21
Трейер 381
Тренклер 2, 15, 183, 310
Tully 128
Тью 18

У

Уайт 40, 46
Уиллер 16, 19, 21, 59, 322, 323, 324
Уитвелл 108, 110, 111
Уитман-Кейтс 384

Ф

Фальке 21, 24
Фельд 138, 395, 396, 407
Фейнберг 29
Vergasungindustrie A. G. 115
Феррокс 458, 459, 461, 468
Ферстер 319
Филатов 230
Фингаз 44
Фишер Ф. 22, 24, 25, 324, 463
Фише 141
Флейснер 116
Фокин 397
Фокс 46
Фон-Аллен 23
Фонтана 9
Фор 9
Фостер 322
Франк-Каро 449
Freitag-Metzler 413
Фрон 331
Фрост 71, 72, 73
Fusion et Voltisation 152

Х

Хайкина 19
Хаслам 19, 28, 38, 42, 52, 54, 60
Хейлигенштедт 291
Хекинг 413
Хескинс 25, 26, 41, 342
Хертей 141
Хертей и Соважон 200, 466
Хилькер 413, 414
Хирт 216
Хоттел 18

Ц

Цейтлин 225, 226
Цшоке 410

Ч

Чаг 16
Чапман 187, 199, 209, 211, 212, 213, 214, 278, 279
Черазоли 62
Чулков 445, 446
Чуханов 29, 55

Ш

Шак 291, 372, 374, 375
Schwarz 9
Шварц-Байер 410
Шенк 11, 74, 75
Шенфельдер 461
Шилов 16
Шпецлер 208

Штарке 241
Штейнбарт 369
Штендер 372
Штрахе 15, 46, 47, 48, 49, 104, 114, 116, 129, 324, 330, 331
Штредер 307, 414, 439
Шульц 40
Шуман 18

Э

Эбельман 141
Эдельштейн 344
Эйкен 39
Эйнон-Эванс 274, 278
Эльга 422
Энке 283, 284

Ю

Юнг 321, 322
Юптнер 24, 40
Юргес 390
Юшкевич 21

Я

Ягода 46, 48
Якоб 373
Якоби 21

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автоматические питатели см. Питатели
Автоматическое управление 97, 265
Азот—выделение из топлива 321, 447
— содержание в газах 5, 34, 68, 181, 349
— содержание в топливе 318, 321
Аккумулятор пара 127, 312
Аммиак—влияние водяного пара на выход 321, 447
— выделение 321
— содержание в газе 351, 447
— улавливание из газа 357, 447
Антрацит—данные по газификации 4, 294, 339
— интенсивность газификации 102, 179
— классификация 314
— очистка газа из А. 399
— применение для газификации 102, 179, 181, 335
— реакционная способность 26, 341
— свойства 335, 339
— состав 318
— состав газа из А. 181
Аппарат Коттреля см. Электрофильтры

Б

Башни коксовые 260
Бедный газ 3
Безбалластный газ 3
Богатый газ 3
Богхеды 316
Брикеты 313, 334
Бурый уголь—выход продуктов при термической обработке 4, 323
— данные по газификации 4, 119, 179, 181, 294, 338
— интенсивность газификации 179
— классификация 314
— очистка газа из Б. у. 428
— применение для газификации 132, 334
Бурый уголь — реакционная способность остатка 43, 341
— свойства 334, 338
— состав 318
— состав газа из Б. у. 4, 181, 428

В

Вентиляторы — исследование работы 280, 282
— к. п. д. 280, 281, 284
— привод 284
— производительность 279, 282, 284
— расход энергии на В. 280, 282
— ротационные 281
— центробежные 279
Взрывы в газогенераторах 84, 96
— в газопроводах 239
— в электрофильтрах 420
Витрит 316
Влажность—газа 357
— насыщение водяным паром газа 368
— смолы 407, 433
— топлива, значение 335
— топлива, использование 308
— топлива, содержание 317, 318
Вода—очистка—см. Очистка сточных вод
— охлаждающая, использование 306
— подогрев 299, 311, 400
— расход 382, 397, 399
Водород—выделение из топлива 5, 10, 12, 323
— выделение из газа 471
— образование из пара 36, 52, 57
— содержание в газах 5, 41, 58, 68, 72, 73, 181, 348
— содержание в топливе 316, 318
— реакции с углеродом 11, 72
Водяной газ—влияние высоты слоя топлива—см. Топливо
— влияние давления—см. Давление
— влияние катализаторов см. Катализаторы
— влияние скорости пара 41

Водяной газ — влияние температуры—см. температура
— выход 4, 102
— генераторы для получения—см. Генератор водяного газа
— загрузка топлива 99
— идеальный состав 41
— использование тепла 102, 103, 109, 110
— определение 8
— получение из топлив с высоким содержанием летучих 104
— получение непрерывным путем 37, 111
— применение 94
— равновесный состав—см. Состав газа
— расчеты к процессу получения 46
— реакции получения 36
— соображения о ходе процесса 39, 40, 41, 54, 94
— состав 4, 40, 94, 102
— схемы установок 99, 400
— тепловые балансы—см. Тепловые балансы
— удаление золы 101, 339
— фазы цикла 97, 99, 105
— циклы 96
Водяной карбюрированный газ—карбюраторы 106
— получение 106, 110
— состав 4
— топливо для карбюрации 107
Водяной пар—взаимодействие с серой 319, 350
— влияние избытка на процесс газификации 59
— влияние на образование аммиака 321, 447
— влияние скорости на процесс газификации 46
— использование мятого В. п. 127
— перегрев 127, 293, 299
— подача в генератор 273, 292
— подача в коксовую печь 113
— получение в верхней части генератора 304
— получение в воздухоподогревателях 310
— получение из горячей воды 308
— получение в испарителях 304
— получение в кожухах 300
— получение в котлах 295, 399
— получение в крышках 304
— получение из охлаждающей газ воды 306
— получение при использовании тепла отходящих газов печей 310
— разложение 36, 57, 59, 60, 62,94, 96, 343
— расчет количества разлагаемого 57, 63
Водяной пар — расход на дутье 57, 62, 293, 294, 295
— расход на привод вентиляторов 285
— расход на инжектор 285, 293
— расход на шуровочные затворы 293
— съем в котлах-утилизаторах 296, 312
— съем в крышках-испарителях 305
— съем в охлаждающих кожухах 303, 312
Воздух — аппараты для нагнетания 274, 279, 281
— избыток при горении 1
— насыщение паром 293, 306, 369
— объемный вес 9
— подача в генератор 273
— подогрев 289, 312
— расход на дутье 294
— реакции с углеродом 33
— увлажнение 293, 306, 310
Воздухоподогреватели—виды 289
— расчет 290
Воздухопровод—конструкция 287
— потери напора в В. 285
— распределение давлений в В. 285
— регулирование давления в В 288
— скорость в В. 287
Воздушный газ
— влияние давления—см. Давление
— влияние температуры—см. Температура
— выход 4, 35
— идеальный состав 34
— исследование процесса получения 28
определение 8
— расчеты к процессу получения В. г. 34
— реакции получения 33
— соображения о ходе процесса получения 33
— состав 4, 181
— тепловые балансы 180
Воздушный затвор—см. Затворы
Восстановление — зона 15, 52
Вращающиеся решетки 169, 171
Вращающиеся фильтры—см. Смолоотделители
Высокоскоростная газификация 33, 55
Выход газа—см. Газ
— полукокса 4
— смолы 4
Вязкость газа 367
— шлака 138

Г

Газ—бедный 3
— безбалластный 3
— богатый 3
— вязкость 367

Газ— генераторный, получение 8
— генераторный, сравнение с др. 1, 2
— горячий 12, 356
— доменный 2, 3
— искусственный 2
— классификация 2
— коксовальный 2, 4
— молекулярные веса 9
— Монда 4, 182, 435, 447
— насыщение влагой 368, 382
— нефтяной 2, 3
— облагороженный 3
— объемные веса 9
— осушка—см. Осушка газа
— очистка—см. Очистка газа
— парокислородный 3, 4
— первичный 315, 324
— подача на большие расстояния 240
— полукоксовальный 348
— преимущества использования 1
— применение 1, 6, 84, 86, 93, 133, 134, 137
— природный 2
— регенерирование—см. Регенерирование газов
— светильный 2, 348
— сжигание 1
— смешение различных газов 6
— температура 294, 427
— теоретический расчет состава газа 24, 34, 41, 58, 62, 64, 66, 67, 72, 73, 74
— теплотворная способность 4, 9, 294
— холодный 12
— швелевания 2, 4
Газификация—влияние давления на Г—см. Давление
— влияние свойств топлива—см. Топливо
— влияние температуры—см. Температура
— высокоскоростная—см. Высокоскоростная газификация
— графическое представление процесса 75
— интенсивность—см. Интенсивность газификации
— на кислородном дутье 61
— на парокислородном дутье 62, 133, 136
— определение 7
— под давлением 70, 71, 134
Газовые печи 2
Газопроводы—выбор диаметра 238, 243
— давление в Г. 232, 240, 242, 245
— дальние 242
— затраты напора 243
— кирпичные 232
Газопроводы — коррозия 236, 242
— металлические 233, 242
— назначение 231
— определение толщины стенок 247
— очистка 236
— падение температуры в Г. 232, 234
— прокладка 242
— расположение 239
— расчет 243
— скорости в Г. 238
— сопротивления трения 244
— футеровка 186, 232, 233
Генератор—Бамага 174
— большого размера 182
— Винклера 219
— водяного газа 98, 99
— высокого давления 134, 215, 216
— высота слоя топлива в Г.—см. Топливо
— высокой производительности 178
— Вюрта 142
— Геллера 160, 217
— Георгс-Мариенхютте 145
— Гиллебранда 113, 130
— данные о работе,—см. Данные о работе
— Дахрост 166
— двойного водяного газа 114, 115
— Дейца, сдвоенный 84
— Демага 175
— диаметр 178
— для пылевидного и мелкозернистого топлива 113, 214
— классификация 81, 159
— Kohle und Erz 150
— Koppers 151
— Лурги 137
— Маришка 302
— материал 84
— Монда 341, 447
— Моргана 168
— обращенный 86
— определение 7
— Пинча, кольцевой 182
— Пинча—Гиллебранда 113, 130
— Пинча с выпуском жидкого шлака 146
— процессы в верхней части 74
— расположение 84
— распределение зон 8
— Ремана 150
— Ричи-Гоцо 183
— с автоматическим питателем 212
— с внутренней камерой 89, 92
— с внутренней ретортой 84, 89, 91, 114
— с вращающейся решеткой 169
— с выпуском жидкого шлака 137, 159
— с выпуском жидкого шлака и швельшахтой 150

Генератор — с газификацией на поду 159
— с горизонтальной решеткой 160
— с двойной ступенчатой решеткой и швельшахтой 183
— с двумя зонами горения 86
— с естественной тягой 82
— с железобетонным кожухом 190
— с искусственным подводом дутья 82
— с использованием смол 89
— с керном 105, 119
— с круглой решеткой 168
— с крышеобразной решеткой 166
— с механическим шуровочным приспособлением 209
— с наклонной решеткой 162
— с перегородкой 84, 164
— с обогреваемой снаружи швельшахтой 92
— с отделенной швельшахтой 92
— с подводом продуктов сухой перегонки под колосники 87
— с отсасыванием газа 83
— с разложением смол 84
— силового газа 83, 84, 86, 88
— со ступенчатой решеткой 162
— со швельшахтой двойного водяного газа 115
— со швельшахтой с двумя отъемами 90, 150
— со швельшахтой с одним отъемом 90
— S. F. H. 141, 142
— Стассано 113
— тепловые балансы—см. Тепловые балансы
— Тренклера, многокамерный 182
— тройного газа 119
— форма 84, 186
— футеровка—см. Футеровка
— Штрахе 114
— Хирта 216
— Эбельмана 141
Глинозем—влияние на плавкость золы 138, 319
— влияние на свойства огнеупорных материалов 188
Горение—атмосфера при Г. 2
— зона—см. Зона
— избыток воздуха при горении газа 1
— углерода, механизм процесса 14
Горячий газ 12
Гребок Моргана 209
Гумусовые угли 316

Д

Давление—в газопроводах 232, 240, 242, 245
— в электрофильтрах 420, 424
Давление — влияние на процесс газификации 24, 43, 70
— газификация под Д. 70, 71, 134
— дутья 274
пара 292
— потери в газопроводах 243
— потери в электрофильтрах 420
Данные о газификации различных топлив 179, 180, 181
Данные о работе аппаратов для очистки газа
— от сероводорода 455,466, 469
— от смолы 412, 413, 421, 422
— от пыли 360, 403, 404, 422
Данные о работе вентиляторов 280, 282, 284
— генератора большого размера 182, 184
— генератора водяного газа 95, 97, 102, 104, 106, 108, 109, 131
— генератора высокого давления 135, 136, 137
— генератора высокой производительности 182, 184
— генератора Гиллебранда 131
— генератора двойного водяного газа 116, 118, 119, 123, 124, 126, 128, 129, 131
— генератора на пылевидном и мелкозернистом топливе 215, 220
— генератора под высоким давлением 135
— генератора с вращающейся решеткой 179, 180, 181
— генератора с выпуском жидкого шлака 141
— генератора с горизонтальной решеткой 179, 181
— генераторов с механическими шуровочными приспособлениями 210
— генератора с разложением смол 88
— генератора с решетками высокого давления 215, 216
— генератора со ступенчатой решеткой 179, 181
— генератора со швельшахтой 179, 181
— генератора тройного газа 121
— инжекторов 278
— испарителей 304
— котлов-утилизаторов 296, 298, 311
— охлаждающих кожухов 303, 311
— распылителей 381
— скрубберов 307, 397
— установок Монда 447, 449
Двойной водяной газ—генераторы—см. Генератор
— использование тепла 116, 128
— непрерывное получение 130
— подвод дополнительного тепла в швельшахту 125

Двойной водяной газ повышение теплотворной способности 129
— получение 114
— состав 4
— установки 122, 125, 127, 430
Двойной карбюрированный газ—способы карбюрации 121
— установки 122, 431
Двухзонный генератор—см. Генератор
Дезинтегратор—см.—Смолоотделители
Дисковый промыватель Штредера 414, 439
Дистанционное управление клапанами 270
Диффузия газов 15
Добавка пара к дутью —влияние 51, 59, 62
— контроль 293
Добавки неорганические—см. Катализаторы
Доменный газ 4
Древесина—выход продуктов при термической обработке 4, 323, 326
— выход уксусной кислоты 438
— данные по газификации 4, 139, 181, 294
— очистка газа из Д. 428, 469
— применение для газификации 334
— свойства 334, 338
— состав 318
— состав газа из Д. 4, 181, 294
Древесный спирт 10, 327
Древесный уголь—выход 4
— реакционная способность 26, 41, 328, 341
Дурит 316
Дутье—кислородное 61, 132
— парокислородное—см. Парокислородное дутье
— подогретое—см. Подогретое дутье
— распределение 171, 173, 177
— секционная подача 173, 177

Е

Естественная тяга 82, 273

З

Загрузочный конус 196, 197
Загрузочные приспособления—автоматические—см. Питатели
ручные с двойным гидравлическим затвором 195.
— ручные с двумя клапанами 194
— ручные с одним клапаном 193
Задвижки 102, 257, 263.
Заполнение скрубберов 376
Затворы—смотровых и шуровочных отверстий 207
— шахт 192, 339
Зола топлива—влияние каталитическое З. на реакционную способность 27
— влияние плавкости З. на процесс газификации 51, 336
— плавкость 319, 338
— при жидком шлакоудалении 137, 338
— содержание в топливах 318
— состав 318
— температура плавления 318, 337
— характеристика плавкости 319, 337
Золоудаление—влияние требуемого давления дутья на З. 176
— жидкое 137
— зависимость от свойств золы 192, 339
— механическое 169
— мокрое 168, 170
— ручное 160, 161, 165, 168
— с помощью шиберов 183
— сухое 167, 176
Зольность топлив, значение 337
Зона—восстановления 15, 52
— высота отдельных З. 52, 60, 179
— горения 52
— подсушки 9, 10
— раскаленная 60, 177
— реакционная 9, 13
— сухой перегонки 9, 10

И

Изоляция—газопроводов 233
— генераторов 186
— электрофильтров 424
Инжекторы—данные о работе 278
— к. п. д. 277
— конструкция 274
— применение 87, 274
— расчет 276
— расход пара в И. 59, 285, 293
— регулирование 59, 275
— экономичность 275
Интенсивность газификации топлива—в генераторах различных типов 102, 116, 133, 179
— влияние высоты слоя топлива 34, 60
— влияние диаметра генератора 182
— влияние свойств топлива 26, 27, 32, 41, 43
— влияние температуры реакционной зоны 34, 46, 60
— данные по И. г. т. 102, 179
Искусственное дутье 83
Испарители—Бендер и Фрембс 309
— котлы 295
— крышки 304
— регенеративные 305
Использование тепла—см. Тепло

К

К. п. д.—вентиляторов 280, 281, 284
— газовых печей 2
— генераторов 88, 102, 104, 116, 119, 128, 132
— инжектора 277
— компрессора 249
— котлов-утилизаторов 295
— процесса получения водяного газа 47, 48, 50
— процесса получения воздушного газа 36
— процесса получения смешанного газа 58
— установок 109, 126, 128, 132
— электрических печей 2
Каменный уголь—выход продуктов при термической обработке 4, 323
— данные по газификации 179, 181, 294
— интенсивность газификации 179
— классификация 314
— мокрая очистка газа из К. у. 428
— применение для газификации 335
— свойства 335, 339
— состав 318
— состав газа из К. у. 4, 181
— спекание 324
Каплеуловители 407
Каскадные холодильники—см. Скрубберы
Карбюратор 106, 121
Катализаторы—влияние на восстановление CO_2—22, 188, 329
— влияние на образование метана 10
— влияние на реакции водяного газа 40, 44, 46
Кислород—выделение из газа 471
— реакции с углеродом 13, 19, 27, 33
— содержание в газах 4, 181, 349
— содержание в отходящих газах печей 64
— содержание в топливе 318
Кислородное дутье 61, 132
Клапаны—быстродействующие 262, 270
— высокого давления 258
— для включения 249, 250
— для регулирования количества газа 249
— для чистки 260
— задвижки 102, 257, 263
— классификация 249
— обратные 249, 255, 287
— паровой трехходовый 263
— перекидные рукава 250, 253
— предохранительные 177, 249, 255, 258, 288
— с гидравлическим затвором 250
Клапаны — с электрическим приводом 270
— тарельчатые 251
— управление 265, 270
— установок водяного газа 262
— шиберы 250, 253
Кожухи генераторов—железобетонные 190
— конструкция 188
— охлаждающие 191, 300
Кокс—данные по газификации 102,294
— очистка газа из К. 399
— получение 327
— применение для газификации 104
— реакционная способность 26, 41, 43, 327, 341
— свойства 327, 335, 339
— состав 327
— состав газа из К. 4, 28, 54, 102, 181
— схемы установок для газификации 399
Коксовальный газ 4
Коксование 327
Комплекс—см. Углеродно-кислородный к.
Коллектор 231
Колосниковые решетки—вращающиеся 169, 171
— вращение 170
— высокого давления 178
— неподвижные горизонтальные 160
— неподвижные круглые 168
— неподвижные крышеобразные 166
— неподвижные наклонные 162
— неподвижные ступенчатые 162, 182
— расход энергии на вращение 171
— фрезерные 174, 178
— центральные 178
— цепные 169
— эксцентричные 171
Компенсаторы 238
Компрессоры 248
Константы равновесия реакций 11, 20, 24, 25, 38, 39, 40, 55, 73, 74
Коррозия—газопроводов 236, 242
— охлаждающих кожухов 303
— экономайзеров 311
Котлы-утилизаторы—в установках водяного газа 297
— в установках смешанного газа 295
— конструкция 295, 298
Крекер—см. Карбюратор
Кремнекислота—влияние на свойства золы 138
Крышки генераторов 187, 189, 304

Л

Летучие—влияние на качество газа 340
— выделение из топлива 10

Летучие — содержание в топливе 318, 323
Лом Вельмана 210
Лучеиспускание—газов 290
— пламени 340

М

Металлы—получение чугуна в генераторах с жидким шлакоудалением 140, 143, 146, 148, 149, 151, 155, 157
— улавливание цветных металлов 138 141, 151
Метан—взаимодействие с газами 10,11
— влияние катализаторов на условия образования—см. Катализаторы
— выделение из газа 471
— выделение из топлива 5, 10, 323
— константа равновесия реакции образования 11, 73, 74
— образование 10, 71
— равновесные концентрации 11, 71, 73, 74
— реакции образования 10, 67, 72
— содержание в газе 5, 181
Механические генераторы 210
Мешалка Чапмана 211
Молекулярный вес газов 9

Н

Насадка воздухонагревателей 291
— карбюраторов 196
— пароперегревателей 300
— скрубберов—см. Заполнение скрубберов
Нефтяной газ 3, 4

О

Объемный вес газов 9
Облагороженный газ 3
Обратные клапаны—см. Клапаны
Огнеупорный материал 74, 184, 187
Окисление угля 331
Окислы железа—влияние каталитическое 74, 188
— влияние на огнеупорный материал 188
— влияние на плавкость золы 140, 319
Окись углерода—влияние катализаторов на реакции получения 23
— выделение из топлива 5, 323
— выделение из газа 471
— образование 8, 13, 18, 21, 27, 29, 36, 38, 41, 52, 68
— содержание в газах 5, 34, 41, 68, 181, 349
Осушка газа—аппараты для О. г.—см. Охлаждение газа
Очистка газа в газопроводах 231
— данные о работе очистительных установок—см. Данные о работе
— комбинированная 452
— мокрая бессмольного газа 399
— мокрая смолистого газа 425
— от аммиака 447
— от пыли—см. Пылеуловители
— от сероводорода мокрая: способ Глууд-Шенфельдера (аммиачно-содовый) 461
— способ Пти (поташный) 464
— способ Сиборда (содовый) 465
— способ Тайлокс (мышьяковый) 462
— способ Феррокс (железо-содовый) 459
— способ Фишера 463
— от сероводорода сухая: активированным углем 457
— в башенных конструкциях 456
— в ящиках 452
— движущейся массой 457
— от смолы 405
— от углекислоты 468
— от циана 465
— сухая 358
— тонкая 360, 402, 432
— цель 356
— электрическая—см. Электрическая очистка
Очистка сточных вод от пыли 405
— от фенолов 436, 445
Охладитель тарельчатый—см. Скрубберы
Охлаждающие кожухи — водяные и пароводяные 191, 300, 338
— назначение 191
— потери тепла в О. к. 303
— съем пара 303
— тепловой баланс 303
— чистота воды для О. к. 302
Охлаждение—воды 383
— газа в газопроводах 232, 234, 236, 370
— газа в скрубберах 375
— газа в поверхностных холодильниках 370
— газа, выделяемое тепло при О. 371
— газа, протекание процесса 372, 382
— газа, расход воды 382, 397
— цель О. 356

П

Паровое хозяйство 310
Паровой затвор 208
Паровоздушная смесь—насыщение 293
Паровоздушная смесь — перегрев 293, 299

Паровоздушная смесь регулирование соотношения 293
Парокислородный газ 3, 4
Пароводяная рубашка—см. Охлаждающие кожухи
Парокислородное дутье—опыты и данные 62, 133
— расчеты 63
Пароперегреватели 299
Паросборник 301
Первичный газ 324
Перегреватели при карбюрированном газе—см. Карбюраторы
Питатели автоматические—Вельмана 198
— Газогенераторстроя 200
— генераторов водяного газа 99, 101
— Говарда 202
— для крупнокусковых топлив 201
— с промежуточным бункером 201
— Хертей и Соважон 200
— Чапмана 199
Плавкость золы—51, 318, 336
Пламя—характер 2, 340, 406
Побочные продукты—использование 1, 89, 137, 151, 340, 357, 406, 437, 439, 447, 452
Поверхностные холодильники 370
Подземная газификация —опыты 228
— способы 225
Подогретое дутье 140, 147, 152, 154
Полукокс—воздействие водяного пара 43
— получение 326
— реакционная способность 43, 44, 193, 327
— свойства 326
Полукоксовальный газ 4, 348
Полукоксование 326
Предохранительные клапаны—см. Клапаны
Предохранительные сетки 260
Привод—вентиляторов 284
— компрессоров 248
— механизма золоудаления—см. Чаша
— питателей 199, 204
— шуровочных приспособлений 199, 211
Промыватели—Бергфельда 439
— вентиляторы 403
— смоляной Фельда 407
— Штредера 307, 414, 439
Пульверизаторы,—см. Распылители
Пылевидное и мелкозернистое топливо—данные по газификации—см. Данные по работе генераторов
— преимущество применения 214
Пылеуловители—данные о работе—см. Данные о работе аппаратов для очистки от пыли
Пылеуловители—дезинтеграторы—см. Смолоотделители
— Пылеуловители камерные 359
— расчет 361, 363
— с перегородкой 359
— скрубберы—см. Скрубберы
— циклоны 363
— электрофильтры—см. Электрическая очистка
Пыль—в газе 94, 356
— в смоле 434
— в сточных водах 405
— виды 361
— влияние на процесс газификации 332
— предупреждение уноса из генераторов 206
— способы выделения 359
— теория выделения 361, 363
— тонкая очистка от П. 360, 402

Р

Разъедание—см. Коррозия
Размеры генератора—влияние 83
— наибольшие 178
— с жидким шлакоудалением 145,146
Раскаленная зона—см. Зона
Распределение статей тепла—см. Тепловые балансы
Распылители (форсунки)—данные о работе—см. Данные о работе
— Кертинга 379
— принцип действия 379
— Спиридонова 380
Расход воды в аппаратах Тейсена 404
— воды в рубашках 303
— воды на охлаждение газа 389, 397
— воды на охлаждение механического шуровочного приспособления 211
— кислорода на процесс газификации 72, 133
— пара в инжекторах—см. Инжекторы
— пара на воздуходувки—см. Вентиляторы
— пара на дутье—см. Водяной пар
— энергии на автоматические питатели 199
— энергии на вентиляторы 279, 282
— энергии на компрессоры 248
— энергии на механическое золоудаление—см. Золоудаление
— энергии на механические смолоотделители—см. Смолоотделители
— энергии на шуровочные приспособления 199
— энергии на электростатические смолоотделители—см. Электрофильтры

Реакционная зона—определение 13
— подразделение 15
— температура 15, 51
Реакционная способность топлива 26, 27, 32, 41, 43, 327, 341
Регенераторы—конструкция 289
— расчет 291
Регенерирование газа—применение 64
— расчет 65
Регенеративный газ 3, 64
Регенеративно-кислородный газ 3
Рекуператоры—конструкция 289
— расчет 290
Решетки—см. Колосниковые решетки

С

Сажа—образование 12, 75
Самовозгорание угля 331
Сапропелиты 316
Светильный газ 3, 348
Свободная энергия реакций 13, 14
Сера—поведение при газификации 331, 347, 350
— превращения под влиянием температуры 319, 347
— содержание в различных топливах 318, 347
— разновидности в угле 319
Сернистые соединения—содержание в газе 4, 348, 350
Сероводород—выделение из газа 2, 451
— образование 10, 318, 319
— содержание в газе 4, 348, 350
— способы очистки газа от С.—см. Очистка газа
Силовой газ 85
Скорость в воздухопроводах 286
— в газопроводах 238
— в генераторах 27
— в скрубберах 398
— истечения пара 277
— паровоздушной смеси 277
— связь с затратой напора 243
Скрубберы—данные о работе—см. Данные о работе
— данные о размерах 398
— двухступенчатые 307
— Дюквезена и Штейнбарта 396
— заполнение 376
— каскадные 393
— Лимна 393
— определение расхода охлаждающей воды 382
— процесс охлаждения—см. Охлаждение газа
— распределение воды 379
— расчет 384
— с насадкой 377, 384
— с пульверизаторами 389
Скрубберы — скорости в С. 398
Скруберы—смоляные 407
— сопротивление 396
— сухие 396
— тарельчатые 255
— трехступенчатые 306
— Фельда 395
Сланцы—свойства золы 339
— состав 318
Смешанный газ
— влияние давления—см. давление
— влияние температуры—см. Температура
— высота слоя топлива при газификации—см. Топливо
— выход 4, 61
— интенсивность газификации 179
— исследование процесса получения 52
— определение 8, 51
— получение 51
— расчет количества разлагаемого пара 57
— расчет состава 57
— реакции получения 52
— соображения о ходе процесса 52, 58
— состав 4, 181, 348
— тепловые балансы 180
Смола—выделение при газификации 11, 340, 405, 422
— выделение при коксовании 327
— выделение при низких температурах 324, 326
— выделение при сухой перегонке 323
— выходы 4, 315
— отделение от воды 407, 433
— первичная 324, 326
— разложение в генераторе 12, 75, 104, 121
— разложение в карбюраторе—см. Карбюратор
— улавливание—см. Очистка газа
— хранение 433
— центрофуга для отделения 435
Смолоотделители — вращающиеся фильтры Петри и Хекинга 413
— данные о работе см. Данные о работе
— каплеуловители—см. Каплеуловители
— механические аппараты Дейца 411
— механические аппараты Динглера 410
— механические аппараты Пелуз 415
— механические аппараты, принципы работы 408
— механические аппараты Теервольф 411
— механические аппараты Тейсена 403, 407, 408

Смолоотделители — механические аппараты Цшоке 410
— механические аппараты Шварца 410
— механические аппараты Хилькера 413
— промыватель Тейсена—см. Тарельчатый промыватель Тейсена
— промыватель Фельда—см. Промыватель
— промыватель Штредера (дисковый)—см. Промыватель
— расход энергии 403, 409, 412, 413
— скрубберы—см. Скрубберы смоляные
— электрические—см. Электрофильтры
Смотровые отверстия 186
Состав газа—влияние загрузки 197, 198
— влияние излишнего добавления пара 59
— влияние распределения дутья 177
— влияние свойств топлива 3, 12, 181, 334, 336, 340
— влияние температуры 34, 40, 54, 60, 68
— графическое представление 76
— данные по различным газам 4, 40, 62, 67, 135, 181, 348
— идеальный, по отдельным реакциям 34, 41, 57, 73, 74
— на различных уровнях в генераторе 28, 30, 52, 54, 55, 56
— равновесный 21, 24, 25, 41, 68, 73, 74
— теоретический расчет 34, 67, 71
Спекание угля 210, 324, 346
Сульфат аммония 323, 449
Сточные воды см. Очистка сточных вод
Сухая перегонка—зона 9, 10
— продукты 5, 9
— процесс 10, 322
— тепловой эффект процесса 330
Сухие скрубберы—см. Скрубберы

Т

Тарельчатые клапаны 251
Тарельчатый промыватель Тейсена 410
Температура—влияние на процесс газификации 29, 34, 51, 60, 346
— влияние на процесс крекирования 107
— влияние на ход реакций 22, 25, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 72
— влияние на реакционную способность кокса 328
— газа при выходе из генератора 294, 427
— газа, поступающего в смолоотделитель 427
Температура—падение в газопроводах 232, 234, 235
— реакционной зоны 15, 51
— топлива в генераторе 340
— шлакообразования 337
Тепло, использование 102, 103, 109, 110, 116, 128, 295, 305, 306, 308, 399
Тепловые балансы—генераторов 103, 117, 118, 144, 147, 180
— котлов-утилизаторов 299
— охлаждающих кожухов 303
— установок 110, 112, 124
Тепловые эфекты реакций 13, 36
Теплопередача—коэфициенты 290, 372
Теплотворная способность отдельных газов 9
— технических газов 4
— топлив 351
— углерода 13
Топливо—влажность 317
— влияние на качество газификации—влажности 336
— — выхода летучих 340
— — плавкости золы 336
— — прочности 140, 146, 335
— — размера кусков 146, 332
— — свойств коксового остатка 340, 346
— — свойств при нагревании 340
— — состава летучих 341, 347
— высота слоя в генераторе 12, 60, 96, 97, 179, 206, 335
— горючая часть 317
— зольность 318
— классификация 313
— летучие 318, 320
— мелкозернистое 188, 214
— минеральная часть 317, 318
— обозначение составных частей 353
— определение 313
— органическая часть 317
— пересчеты составов 353
применение для газификации 332
— размер кусков 332
— реакционная способность 26, 27, 32, 41, 43, 327, 341
— свойства 313, 318
— сопротивление слоя 177, 273, 332, 34
— состав 316, 318
— спекание 324
— сухая перегонка 7, 10, 322
— тепловой эфект процесса перегонки 330
— теплотворная способность высшая 351
— теплотворная способность, вычисление 352
— теплотворная способность низшая 352
— теплотворная способность, пересчеты 353

Топливо—хранение 335
— шуровка 207, 209, 346
Торф—выход продуктов при термической обработке 4, 323
— выход уксусной кислоты 438
— данные по газификации 4, 179, 181, 294
— интенсивность газификации 179
— очистка газа из Т. 428, 469
— применение для газификации 153, 155
— свойства 334, 338
— состав 318
— состав газа из Т. 181
— схемы установок для газификации 428
— реакционная способность остатка 41, 341
Транспорт—газа 2, 240
— топлива 241
Трение—потери от 244
Тройной газ 119
Трубы пусковые 261
Турбовоздуходувки—см. Центробежные вентиляторы

У

Увлажнение воздуха—см. Воздух
Углеводороды 3, 4, 10, 12, 71, 104, 160, 224, 341, 348
Углекислота — взаимодействие с углеродом 15, 21, 24, 329, 342
— влияние катализаторов на реакции образования 22
— выделение из генераторного газа 134, 468
— выделение из топлива 4, 10, 12, 323
— образование 8, 13, 18, 19, 28, 33, 36 52, 54
— регенерирование 64
— содержание в газах 4, 41, 68, 181, 349
Углерод—в золе 339
— взаимодействие с водяным паром 36
— горение 14, 19, 21, 24
— значение модификаций 19, 21, 72
— теплотворная способность 13
Углеродно-кислородный комплекс 16
Угли—азот в У. 318
— классификация 314
— окисление и самовозгорание 331
— сера в У. 318, 319
— смешение 347
— спекание 324
Уксусная кислота—выделение при сухой перегонке 10, 327, 438
— выделение из газа 437
— выходы 438
— предупреждение выделения 446
— улавливание в газогенераторных установках 439

Ф

Фенолы—выделение из газа 437
— выход 438
— улавливание в генераторных установках 439
— улавливание из сточных вод—см. Очистка сточных вод
Фиксатор—см. Карбюратор
Фильтрационные мешки 360
Фильтры—вращающиеся 413
— для пыли 360
— Зорге 416
— коксовые 405
— со стеклянной ватой 416
— электрическ.—см. Электрофильтры
Флюсы 138
Фонтана газ 9
Форсунки—см. Распылители
Фрезерные решетки 174, 178
Фузит 316
Футеровка—газопроводов 186, 232, 233
— генераторов 74, 137, 184
— кладка огнеупорная—см. Огнеупорный материал

Х

Хранение топлива 335
Холодный газ 12

Ц

Центробежные вентиляторы 279
Центробежные очистители—см. Дезинтеграторы
Центрофуга для отделения смолы 435
Циан 322, 465
Циклоны—см. Пылеуловители
Циклы—см. Водяной газ
Циркуляционный газ—для подведения тепла 113, 126

Ч

Чаша генератора 170

Ш

Шахта генератора—вращающаяся 190
— затворы 192, 339
— материал 84, 184
— охлаждение 191
— расположение 84
— устройство 84, 184
Швельгаз 4
Швельшахта—назначение 89
— отделение от основной шахты 92
— подвод дополнительного тепла 125
— с внешним обогревом 92
Шлак—вязкость 139

Шлак — грануляция 157
— использование 137, 140
— образование 51, 337
— состав 138, 154
— свойства 138, 141
— удаление 137
Шуровочные затворы 208
Шуровочные приспособления—гребок Моргана 209
— лом Вельмана 210
— мешалка Чапмана 211

Щ

Щелочные окислы—каталитическое влияние 22, 23

Э

Электрическая очистка газов 360, 4(
Электрическая энергия—использование в генераторах 113
Электрические печи 2
Электрофильтры—данные о работе см. Данные о работе
— оборудование 419
— пластинчатые 421
— применение 403, 406
— принцип работы 417
— расход энергии 423, 425
сравнение с аппаратами Тейсен 403, 425
— трубчатые 420
Этан—распад 71, 74
Этилен—выделение из топлива 4
— образование 71, 72
— содержание в газе 4

Сдано в набор 1/VIII 1935 г.
Подписано к печати 28/XII 1935 г.
Формат бумаги 62×94¼16
Количество печатн. л. 32+4 вкл. Уч. л. 41,4
Количество печат. знаков в л. 49 тыс.

Индекс С—5
Гизлегпром № 2159
Тираж 2675
Заказ № 3083
Уполн. Главлита № В-29477

-я тип. Трансжелдориздата НКПС, Москва, Каланчевский туп., д. 3/5

Таблица 64 (продолжение)

Наименование месторождения	Пласт, марка, сорт и пр.	Условное обозначение марки	Элементы характеристики: $W^a_л$ % Среднее от—до	W^p % Среднее от—до	A^c % Среднее от—до	$S^c_{об}$ % Среднее от—до	S^c_a % Среднее от—до	C^c % Среднее от—до	H^c % Среднее от—до	$S^c_к$ % Среднее от—до	$S^c_{ор}$ % Среднее от—до	N^c % Среднее от—до	O^c по разности % Среднее	$Q^c_б$ Калорий Среднее от—до	$Q^c_в$ Калорий Среднее	V^c % Среднее от—до	Характеристика кокса	Сухая масса $Q^c_б$ Калор. Среднее	Рабочая масса A^p % Среднее	$S^p_{об}$ % Среднее	$Q^p_н$ Калор. Средн. от—до	Температура плавления золы в полувосстановительной среде: Начало деформации °С Среднее от—до	Температура размягчения °С Среднее от—до	Температура жидко-плавкого состояния °С Среднее от—до
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
арагандинское . .	Пласты, Нов. Верх. Мариана Ниж. Мар.	—	**2,1** 1,0—2,5	**7,0** 3,1—12,0	**17,5** 6,0—30,5	**0,8** 0,4—1,3	—	**85,3** 80,6—87,8	**5,2** 4,4—5,8		**0,8**	**1,4** 1,0—1,7	**7,3**	**8 350** 8 230—8 680	**8 320**	**29,0** 25,0—35,0	От порошкообразного до спекш., сплавл., плотн.	**6 890**	**16,3**	**0,7**	**6 120**	>1 450	—	—
ерчогурское * . .	—	—	**1,5**	**1,7**	**33,0**	**4,4**	**0,2**	**78,5**	**6,4**		**6,3**	**8,8**		**8 240**	**8 030**	**46,0**	Спекшийся	**5 520**	**32,4**	**4,3**	**5 090**	—	—	—
енгеровское . . .	—	—	**11,0** 7,5—12,3	**22,5** 13,5—28,7	**16,5** 11,4—20,7	**3,3** 1,5—4,1	**0,5** 0,1—0,7	**73,6** 72,9—75,0	**4,2** 3,8—5,9	**2,0** 0,3—2,9	**1,4** 1,3—1,5	**1,0***	**17,8**	**6 970** 6 680—7 200	**6 880**	**40,0** 36,0—52,0	Порошкообразный	**5 820**	**12,8**	**2,6**	**4 170**	**1 020** 1 000—1 040	**1 050** 1 040—1 060	**1 110** 1 060—1 250
Анжеро-Судженские копи. . . .	—	—	**0,6** 0,4—0,7	**4,0** 2,0—6,4	**9,0** 7,0—14,6	**0,5** 0,4—1,0	—	**91,2** 89,6—92,4	**4,3** 4,1—4,6		**0,5**	**1,8** 1,6—2,1	**2,2**	**8 600** 8 510—8 720	**8 530**	**15,5** 14,0—17,0	Отслабо спекшегося до спекшегося, плотного	**7 820**	**8,6**	**0,5**	**7 280**	**1 170** 1 150—1 200	**1 370** 1250—>1450	>1 450 1 390—
Прокопьевск. копи	—	—	**1,0** 0,5—1,2	**6,0** 2,0—9,0	**7,0** 2,5—12,0	**0,5** 0,3—0,7	—	**89,1** 86,8—91,0	**4,5** 4,1—4,9		**0,5**	**2,1** 1,6—2,5	**3,8**	**8 400** 8 200—8 640	**8 380**	**18,0** 15,0—24,0	От порошкообразн. до спекшегося, спл., плотн.	**7 810**	**6,6**	**0,5**	**7 090**	1 120—1 450	1240—>1450	1 320—
Кемеровские копи	—	—	**1,0** 0,7—1,4	**8,1** 4,0—11,3	**13,7** 3,0—19,0	**0,5** 0,3—1,0	—	**86,4** 85,0—88,0	**4,8** 4,2—5,5		**0,6**	**2,0** 1,7—2,4	**6,2**	**8 200** 7 950—8 600	**8 180**	**29,0** 21,0—34,0	От слипшегося до спекшегося, сплавл., плотн.	**7 090**	**12,6**	**0,5**	**6 240**	1 060—1 300	1 130—1 430	1 240—1 540
Ленинские копи . .	Коксовый	—	**1,8** 1,5—2,5	**6,0** 3,0—8,0	**9,0** 3,0—13,0	**0,5** 0,4—0,9	—	**83,5** 82,5—84,4	**5,8** 5,7—6,0		**0,5**	**2,7** 2,4—2,9	**7,5**	**8 250** 8 100—8 430	**8 220**	**41,0** 37,0—44,0	Спекшийся, сплавлен. умеренно-плотный	**7 510**	**8,5**	**0,5**	**6 720**	**1 100** 1 040—1 140	**1 170** 1 160—1 210	**1 250** 1 200—1 260
» »	энергет	—	**3,5** 3,2—4,0	**9,0** 8,0—14,0	**9,0** 6,0—14,0	**0,3** 0,2—0,6	—	**79,1** 78,9—79,4	**5,6** 5,4—5,8		**0,3**	**2,1** 1,9—2,2	**12,9**	**7 650** 7 450—7 810	**7 630**	**43,0** 40,0—45,0	Отслипшегося до спекшегося, плотного	**6 950**	**8,2**	**0,3**	**6 010**			
Ургаличевские копи	—	—	**2,4** 1,3—3,0	**9,0** 3,5—12,0	**16,0** 13,1—26,4	**0,8** 0,3—1,4	**0,05** 0,03—0,1	**88,1** 86,3—89,8	**4,0** 3,7—4,1		**0,9**	**1,7** 1,4—2,0	**5,3**	**8 300** 8 170—8 480	**8 260**	**12,0** 9,0—24,0	Порошкообразный	**6 980**	**14,6**	**0,7**	**6 090**	1 000—1 370	1 270—1 470	1 300—1 530
Осиновские копи .	—	—	—	**8,0** 7,0—12,0	**8,0** 6,5—12,1	**0,5** 0,4—0,7	—	**86,3**	**5,5**		**0,5**	**2,4**	**5,3**	**8 250** 8 000—8 450	**8 230**	**29,0** 23,0—33,0	Спекшийся	**7 590**	**7,4**	**0,5**	**6 670**	—	—	—
Какасское[5] (Черногорские копи). . .	—	—	**3,5** 2,8—4,7	**11,0** 10,4—13,5	**14,0** 3,5—27,8	**1,0** 0,5—4,2	**0,1** 0,05—0,5	**78,9** 76,4—81,5	**5,5** 5,0—6,0		**1,0**	**2,3** 1,8—2,5	**12,3**	**7 800** 7 610—8 100	**7 760**	**43,0** 38,0—46,5	От слабо слипшегося до спекшегося	**6 700**	**12,5**	**0,9**	**5 640**	—	—	—
Ханское*	—	—	**10,0**	**10,9—23,2**	**3,7—7,7**	**0,5—1,6**	—	**68,3—70,5**	**4,3—4,7**		**0,5—1,8**	—	—	**6 180—6 620**	—	**40,0—48,0**	Порошкообразный	—	—	—	—	—	—	—
Черемховское . . .	—	—	**3,7** 2,4—8,0	**10,0** 5,0—17,0	**16,0** 4,8—33,0	**1,3** 0,5—3,1	**0,1** 0,05—0,3	**77,9** 73,7—81,5	**5,8** 5,1—6,5		**1,4**	**1,6** 1,0—2,3	**13,3**	**7 750** 7 200—7 980	**7 700**	**45,0** 41,5—52,0	От слипшегося до спекшегося, плотного	**6 510**	**14,4**	**1,2**	**5 520**	1010—>1500	1 130—	1 170—
Черновское	—	—	**11,3** 5,9—18,4	**25,6** 18,9—32,3	**11,1** 6,2—34,7	**0,5** 0,3—0,9	—	**71,9** 68,6—74,9	**5,5** 4,9—6,0		**0,4** 0,01—0,7	**1,5** 1,1—2,7	**20,7**	**7 200** 6 800—7 320	**7 170**	**41,5** 39,0—43,8	Порошкообразный	**6 580**	**5,8**	**0,5**	**4 100**	—	—	—
Чукачачинское . .	—	—	**3,8** 1,1—9,4	**11,1** 3,4—24,9	**11,1** 1,6—36,0	**0,9** 0,4—5,2	—	**79,1** 70,8—84,5	**5,0** 3,7—5,6		**0,8** 0,3—4,7	**1,0** 0,6—2,2	**14,1**	**7 760** 6 980—8 370	**7 730**	**37,0** 30,0—45,3	От порошкообразного до спекшегося	**6 900**	**10,0**	**0,8**	**5 810**	—	—	—
Ивдинское	—	—	**10,6** 7,7—21,7	**24,0** 17,2—40,0	**13,1** 7,0—21,0	**0,2** 0,1—0,4	—	**71,5** 68,8—75,7	**4,2** 3,8—4,6		**0,1** 0,01—0,2	**1,2**	**23,0**	**6 610** 6 500—6 800	**6 600**	**41,0** 34,0—45,0	Порошкообразный	**5 740**	**10,0**	**0,2**	**4 060**	—	—	—
Артемовское . . .	—	—	**11,3** 5,9—18,4	**25,6** 18,9—32,3	**11,1** 6,2—34,7	**0,5** 0,3—0,9	—	**71,9** 68,6—74,9	**5,5** 4,9—6,0		**0,4** 0,01—0,7	**1,5** 1,1—2,7	**20,7**	**7 050** 6 510—7 390	**7 030**	**48,0** 44,5—50,0	То же	**6 270**	**8,3**	**0,4**	**4 300**	**1 130** 1 120—1 150	**1 200** 1 180—1 220	**1 290** 1 230—1 330
Ючанское	—	—	**1,2** 0,3—2,0	**3,5** 1,1—5,5	**18,5** 12,3—27,0	**0,4** 0,3—0,5	—	**86,7** 85,6—88,6	**4,9** 4,4—5,6		**0,3** 0,1—0,5	**1,4** 1,0—1,7	**6,7**	**8 400** 8 260—8 770	**8 380**	**25,5** 20,8—30,0	Спекшийся, сплавленный, вспученный	**6 840**	**17,9**	**0,4**	**6 360**	—	—	—
Явричанское . . .	—	—	**8,5** 4,0—12,8	**12,0** 8,4—17,7	**10,7** 5,3—32,2	**0,5** 0,1—1,1	—	**75,2** 73,1—77,7	**5,6** 5,0—5,9		**0,4** 0,2—0,7	**1,6**	**17,2**	**7 200** 7 100—7 400	**7 280**	**44,5** 37,4—50,3	Порошкообразный	**6 520**	**9,4**	**0,4**	**5 410**	—	—	—
Октябрьское . . .	—	—	**1,7** 0,4—5,4	**5,3** 0,9—15,4	**13,3** 2,6—51,2	**0,4** 0,3—0,8	—	**85,8** 76,1—90,7	**4,4** 3,2—5,3		**0,4** 0,3—0,5	**9,4**		**8 250**	**8 230**	**19,0** 14,7—27,1	Спекшийся, сплавленный, вспученный	**7 160**	**12,6**	**0,4**	**6 530**	—	—	—
Торфовское	—	—	**12,7** 6,7—17,8	**23,2** 17,1—25,5	**17,2** 2,8—59,2	**0,5** 0,2—1,0	—	**72,0** 69,0—73,8	**4,7** 4,2—5,0		**0,2** 0,1—0,7	**1,4** 0,8—1,8	**21,7**	**6 700**	**6 680**	**47,5** 43,2—53,4	Порошкообразный	**5 540**	**13,2**	**0,4**	**3 950**	—	—	—
Тулюкта	—	—	**11,2** 9,2—13,9	**20,3** 15,4—25,5	**11,8** 7,0—17,1	**1,1** 0,5—1,9	**0,4** 0,2—0,7	**78,5** 77,2—79,8	**3,8** 3,4—4,2	**0,6** 0,2—1,3	**0,2** 0,1—0,4	**0,8** 0,7—1,0	**16,1**	**7 070** 6 950—7 170	**7 040**	**28,5** 24,0—32,5	То же	**6 240**	**9,4**	**0,9**	**4 680**	**1 130** 1 040—1 290	**1 240** 1 120—1 360	**1 270** 1 180—1 374
Тизил-Кия	—	—	**11,2** 8,3—16,0	**23,8** 14,4—32,8	**13,5** 8,9—20,1	**1,7** 1,3—2,5	**0,3** 0,1—0,7	**76,9** 73,7—79,6	**4,0** 3,4—4,2	**1,1** 0,6—1,9	**0,5** 0,4—0,7	**0,9** 0,7—1,1	**16,6**	**7 010** 6 540—7 200	**6 960**	**33,5** 29,5—38,0	То же	**6 060**	**10,3**	**1,3**	**4 300**	**1 050** 980—1 220	**1 130** 1 030—1 260	**1 170** 1 040—1 290
Чок-Янгак	—	—	**5,5** 4,2—8,8	**13,9** 8,3—15,7	**20,4** 15,2—25,6	**2,0** 1,6—2,6	**0,1** 0,05—0,1	**77,3** 75,9—78,1	**5,2** 4,9—5,3	**1,7** 0,1—2,5	**0,7** 0,4—1,0	**1,0**	**14,1**	**7 550** 7 490—7 640	**7 490**	**36,0** 34,0—38,0	Порошкообразный или слабо слипшийся	**6 010**	**17,6**	**1,7**	**4 850**		**1 140—**	**1 310—**
Шураб	—	—	**11,5** 9,1—13,8	**24,3** 13,0—30.0	**13,8** 7,3—18,5	**2,0** 1,0—2,8	**0,2** 0,1—0,3	**78,8** 78,1—79,3	**3,5** 3,2—3,7	**1,6** 0,5—2,4	**0,6** 0,5—0,7	**0,8** 0,7—0,8	**14,7**	**6 950** 6 900—7 000	**6 900**	**29,5** 26,0—33,0	Порошкообразный	**5 990**	**10,4**	**1,5**	**4 240**	1000—>1450 **1 120** 1 030—1 270	**1 320** 1 290—1 390	**1 350** 1 300—1 420
Ярым	—	—	**5,5** 4,5—6,1	**10,6** 6,7—15,1	**8,7** 2,4—17,0	**0,5** 0,3—0,6	**0,05** 0,02—0,1	**79,8** 79,0—81,1	**4,9** 4,6—5,4	**0,5** 0,3—0,7		**1,2** 1,0—1,3	**13,6**	**7 650** 7 560—7 750	**7 620**	**35,0** 32,0—35,5	То же	**6 980**	**7,8**	**0,4**	**5 940**	**1 110** 1 010—1 310	**1 180** 1 040—1 430	**1 260** 1110—>1450
Янака	—	—	**1,5**	**10,1**	**45,5**	**1,6**	**0,1**	**79,4**	**5,0**		**2,9**	**0,9**	**11,8**	**7 550**	**7 430**	**30,0**	То же	**4 040**	**41,8**	**1,4**	**3 410**	**1 260**	**>1 450**	—
Ештут-Зауранское	—	—	**5,6** 4,3—8.0	**9,9** 7,0—20,2	**15,3** 4,7—41,7	**2,8** 0,8—7,3	**0,25** 0,05—0,7	**76,6** 72,8—80,0	**4,8** 4,0—5,5		**3,0**		**15,6**	**7 416** 6 700—7 660	**7 330**	**35,5** 30,0—41,0	Порошкообразный или слабо слипшийся	**6 280**	**13,8**	**2,5**	**5 340**	**1 120** 960—>1 450	**1 160** 1 030—	**1 270** 1 050—
Типы топлива:																								
Бездубина	—	—	**9,0** 5,8—13,4	**65,8** 47,7—76,2	**7,1** 2,8—11,9	**0,2** 0,03—0,7	—	**51,7** 50,0—53,5	**5,9** 5,6—6,3		**0,2** 0,03—0,8	**0,9** 0,6—1,0	**41,3**	**4 850** 4 630—5 070	**4 830**	**76,0***	Порошкообразный	**4 510**	**2,4**	**0,1**	**1 040**	**780***	**1 370***	**1 400***
Бурага подсолнуха	—	—	**6,0** 4,4—8,2	**3,8** 9,2—17,4	**2,2** 1,9—2,8	**0,1** 0,1—0,2	—	**51,0** 0,7—51,1	**5,9** 5,8—5,9		**0,1** 0,1—0,2	**43,0**		**4 860** 4 850—4 890	**4 850**	**80,0***	Слипшийся	**4 750**	**1,9**	**0,1**	**3 740**	—	—	—
Костра льняная . .	—	—	**7,5** 6,8—8,6	**11,1** 7,5—13,4	**3,2** 1,4—5,3	**0,1** 0,04—0,15	—	**51,0** 50,3—51,8	**6,1** 6,0—6,3		**0,1** 0,04—0,15	**42,8**		**4 890** 4 820—4 980	**4 880**	**83,0**	То же	**4 730**	**2,8**	**0,1**	**3 850**	**1 120***	**1 170***	**1 200***
Луговая шелуха . .	—	—	**7,2** 6,5—8,1	**9,8** 7,7—11,1	**20,5** 20,3—20,8	**0,1**	—	**50,3** 49,8—50,6	**6,1** 6,0—6,2		**0,1**	**0,7**	**42,8**	**4 790** 4 720—4 830	**4 780**	**80,0**	Порошкообразный	**3 810**	**18,5**	**0,1**	**3 130**	—	—	—
Солома *	—	—	—	**10,5**	**4,7**	**0,1**	—	**50,5**	**6,2**		**0,1**	**43,2**		**4 750**	**4 740**	—	—	**4 530**	**4,2**	**0,1**	**3 690**	**820**	**860**	**950**

инское.

Примечание. Звездочкой отмечены данные, приведенные на основании ограниченного количества анализов (см. текст.)

№ по порядку	Район месторождения	Наименование месторождения	Пласт, марка, сорт и пр.	Условное обозначение марки	Элементы характеристики													Сухая масса	Рабочая масса			
					W^a	W^p	A^c	$S^c_{об}$	S^c_a	C^c	H^c	$S^c_к$	$S^c_{ор}$	N^c	O^c по разности	$Q^c_б$	$Q^c_в$	V^c	Характеристика кокса	$Q^c_б$	A^p	$S^p_{об}$	
					%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	Калорий	Калорий	%		Калор.	%	%	
					Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее	Среднее от—до	Среднее	Среднее от—до		Среднее	Среднее	Среднее	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
27	Казахстан	Карагандинское . .	Пласты, Нов. Верх. Мариана Ниж. Мар.	—	**2,1** 1,0—2,5	**7,0** 3,1—12,0	**17,5** 6,0—30,5	**0,8** 0,4—1,3	—	**85,3** 80,6—87,8	**5,2** 4,4—5,8		**0,8**	**1,4** 1,0—1,7	**7,3**	**8 350** 8 230—8 680	**8 320**	**29,0** 25,0—35,0	От порошкообразного до спекш., сплавл., плотн.	**6 890**	**16,3**	**0,7**	**6**
28		Берчогурское * . .	—	—	**1,5**	**1,7**	**33,0**	**4,4**	**0,2**	**78,5**	**6,4**		**6,3**											
29		Ленгеровское . . .	—	—	**11,0** 7,5—12,3	**22,5** 13,5—28,7	**16,5** 11,4—20,7	**3,3** 1,5—4,1	**0,5** 0,1—0,7	**73,6** 72,9—75,0	**4,2** 3,8—5,9	**2,0** 0,3—2,9	**1,4** 1,3—1,5	**8,8** **1,0***	**17,8**	**8 240** **6 970** 6 680—7 200	**8 030** **6 880**	**46,0** **40,0** 36,0—52,0	Спекшийся Порошкообразный	**5 520** **5 820**	**32,4** **12,8**	**4,3** **2,6**	**5** **4**
30	Кузнецкий бассейн	Анжеро-Судженские копи. . . .	—	—	**0,6** 0,4—0,7	**4,0** 2,0—6,4	**9,0** 7,0—14,6	**0,5** 0,4—1,0	—	**91,2** 89,6—92,4	**4,3** 4,1—4,6		**0,5**	**1,8** 1,6—2,1	**2,2**	**8 600** 8 510—8 720	**8 530**	**15,5** 14,0—17,0	От слабо спекшегося до спекшегося, плотного	**7 820**	**8,6**	**0,5**	**7**
31		Прокопьевск. копи	—	—	**1,0** 0,5—1,2	**6,0** 2,0—**9,0**	**7,0** 2,5—12,0	**0,5** 0,3—0,7	—	**89,1** 86,8—91,0	**4,5** 4,1—4,9		**0,5**	**2,1** 1,6—2,5	**3,8**	**8 400** 8 200—8 640	**8 380**	**18,0** 15,0—24,0	От порошкообразн. до спекшегося, спл., плотн.	**7 810**	**6,6**	**0,5**	**7**
32		Кемеровские копи	—	—	**1,0** 0,7—1,4	**3,1** 4,0—11,3	**13,7** **3,0**—19,0	**0,5** 0,3—1,0	—	**86,4** 85,0—88,0	**4,8** 4,2—5,5		**0,6**	**2,0** 1,7—2,4	**6,2**	**8 200** 7 950—8 600	**8 180**	**29,0** 21,0—34,0	От слипшегося до спекшегося, сплавл., плотн.	**7 090**	**12,6**	**0,5**	**6**
33		Ленинские копи . .	Коксовый энергет	—	**1,8** 1,5—2,5	**6,0** 3,0—8,0	**9,0** 3,0—13,0	**0,5** 0,4—0,9	—	**83,5** 82,5—84,4	**5,8** 5,7—6,0		**0,5**	**2,7** 2,4—2,9	**7,5**	**8 250** 8 100—8 430	**8 220**	**41,0** 37,0—44,0	Спекщийся, сплавлен. умеренно-плотный	**7 510**	**8,5**	**0,5**	**6**
34		» »		—	**3,5** 3,2—4,0	**9,0** 8,0—14,0	**9,0** 6,0—14,0	**0,3** 0,2—0,6	—	**79,1** 78,9—79,4	**5,6** 5,4—5,8		**0,3**	**2,1** 1,9—2,2	**12,9**	**7 650** 7 450—7 810	**7 630**	**43,0** 40,0—45,0	От слипшегося до спекшегося, плотного	**6 960**	**8,2**	**0,3**	**6**
35		Араличевские копи	—	—	**2,4** 1,3—3,0	**9,0** 3,5—12,0	**16,0** 13,1—26,4	**0,8** 0,3—1,4	**0,05** 0,03—0,1	**88,1** 86,3—89,8	**4,0** 3,7—4,1		**0,9**	**1,7** 1,4—2,0	**5,3**	**8 300** 8 170—8 480	**8 260**	**12,0** 9,0—24,0	Порошкообразный	**6 980**	**14,6**	**0,7**	**6**
36		Осиновские копи .	—	—	—	**8,0** 7,0—12,0	**8,0** 6,5—12,1	**0,5** 0,4—0,7	—	**85,3**	**5,5**		**0,5**	**2,4**	**5,3**	**8 250** 8 000—8 450	**8 230**	**29,0** 23,0—33,0	Спекшийся	**7 590**	**7,4**	**0,5**	**6**
37	Западная Сибирь	Хакасское[5] (Черногорские копи). . .	—	—	**3,5** 2,3—4,7	**11,0** 10,4—13,5	**14,0** 3,5—27,8	**1,0** 0,5—4,2	**0,1** 0,05—0,5	**78,9** 76,4—81,5	**5,5** 5,0—6,0		**1,0**	**2,3** 1,8—2,5	**12,3**	**7 800** 7 610—8 100	**7 760**	**43,0** 38,0—46,5	От слабо слипшегося до спекшегося	**6 700**	**12,5**	**0,9**	**5**
38		Канское*	—	—	**10,0**	**10,0**—23,2	**3,7—7,7**	**0,5—1,6**	—	**68,3—70,5**	**4,3—4,7**		**0,5—1,8**	—	—	**6 180—6 620**	—	**40,0—48,0**	Порошкообразный	—	—	—	—
39	Восточная Сибирь	Черемховское . . .	—	—	**3,7** 2,4—8,0	**10,0** 5,0—17,0	**16,0** 4,8—33,0	**1,3** 0,5—3,1	**0,1** 0,05—0,3	**77,9** 73,7—81,5	**5,8** 5,1—6,5		**1,4**	**1,6** 1,0—2,3	**13,3**	**7 750** 7 200—7 980	**7 700**	**45,0** 41,5—52,0	От слипшегося до спекшегося, плотного	**6 510**	**14,4**	**1,2**	**5**
40		Черновское	—	—	**11,3** 8,5—14,6	**32,0** 25,8—37,0	**8,5** 5,0—13,1	**0,7** 0,5—0,9	**0,1**	**75,8** 73,7—77,6	**5,0** 4,6—5,4		**0,7**	**18,5**		**7 200** 6 800—7 320	**7 170**	**41,5** 39,0—43,8	Порошкообразный	**6 580**	**5,8**	**0,5**	**4**
41	Дальневосточный край	Букачачинское . .	—	—	**3,8** 1,1—9,4	**11,1** 3,4—24,9	**11,1** 1,6—36,0	**0,9** 0,4—5,2	—	**79,1** 70,8—84,5	**5,0** 3,7—5,6		**0,8** 0,3—4,7	**1,0** 0,6—2,2	**14,1**	**7 760** 6 980—8 370	**7 730**	**37,0** 30,0—45,3	От порошкообразного до спекшегося	**6 900**	**10,0**	**0,8**	**5**
42		Кивдинское	—	—	**10,6** 7,7—21,7	**24,0** 17,2—40,0	**13,1** 7,0—21,0	**0,2** 0,1—0,4	—	**71,5** 68,8—75,7	**4,2** 3,8—4,6		**0,1** 0,01—0,2	**1,2**	**23,0**	**6 610** 6 500—6 800	**6 600**	**41,0** 34,0—45,0	Порошкообразный	**5 740**	**10,0**	**0,2**	**4**
43		Артемовское . . .	—	—	**11,3** 5,9—18,4	**25,6** 18,9—32,3	**11,1** 6,2—34,7	**0,5** 0,3—0,9	—	**71,9** 68,6—74,9	**5,5** 4,9—**6,0**		**0,4** 0,01—0,7	**1,5** 1,1—2,7	**20,7**	**7 050** 6 510—7 390	**7 030**	**48,0** 44,5—50,0	То же	**6 270**	**8,3**	**0,4**	**4**
44		Сучанское	—	—	**1,2** 0,3—2,0	**3,5** 1,1—5,5	**18,5** 12,3—27,0	**0,4** 0,3—0,5	—	**86,7** 85,6—88,6	**4,9** 4,4—5,6		**0,3** 0,1—0,5	**1,4** 1,0—1,7	**6,7**	**8 400** 8 260—8 770	**8 380**	**25,5** 20,8—30,0	Спекшийся, сплавленный, вспученный	**6 840**	**17,9**	**0,4**	**6**
45		Тавричанское . . .	—	—	**8,5** 4,0—12,8	**12,0** 8,4—17,7	**10,7** 5,3—32,2	**0,5** 0,1—1,1	—	**75,2** 73,1—77,7	**5,6** 5,0—5,9		**0,4** 0,2—0,7	**1,6**	**17,2**	**7 300** 7 100—7 400	**7 280**	**44,5** 37,4—50,3	Порошкообразный	**6 520**	**9,4**	**0,4**	**5**
46	Сахалин	Октябрьское . . .	—	—	**1,7** 0,4—5,4	**5,3** 0,9—15,4	**13,3** 2,6—51,2	**0,4** 0,3—0,8	—	**85,8** 76,1—90,7	**4,4** 3,2—5,3		**0,4** 0,3—0,5	**9,4**		**8 250**	**8 230**	**19,0** 14,7—27,1	Спекшийся, сплавленный, вспученный	**7 160**	**12,6**	**0,4**	**6**
47	Камчатка	Корфовское	—	—	**12,7** 6,7—17,8	**23,2** 17,1—25,5	**17,2** 2,8—59,2	**0,5** 0,2—1,0	—	**72,0** 69,0—73,8	**4,7** 4,2—5,0		**0,2** 0,1—0,7	**1,4** 0,8—1,8	**21,7**	**6 700**	**6 680**	**47,5** 43,2—53,4	Порошкообразный	**5 540**	**13,2**	**0,4**	**3**
48	Средняя Азия	Сулюкта	—	—	**11,2** 9,2—13,9	**20,3** 15,4—25,5	**11,8** 7,0—17,1	**1,1** 0,5—1,9	**0,4** 0,2—0,7	**78,5** 77,2—79,8	**3,8** 3,4—4,2	**0,6** 0,2—1,3	**0,2** 0,1—0,4	**0,8** **0,7**—1,0	**16,1**	**7 070** 6 950—7 170	**7 040**	**28,5** 24,0—32,5	То же	**6 240**	**9,4**	**0,9**	**4**
49		Кизил-Кия	—	—	**11,2** 8,3—16,0	**23,8** 14,4—32,8	**13,5** 8,9—20,1	**1,7** 1,3—2,5	**0,3** 0,1—0,7	**76,9** 73,7—79,6	**4,0** 3,4—4,2	**1,1** 0,6—1,9	**0,5** 0,4—0,7	**0,9** 0,7—1,1	**16,6**	**7 010** 6 540—7 200	**6 960**	**33,5** 29,5—38,0	То же	**6 060**	**10,3**	**1,3**	**4**
50		Кок-Янгак	—	—	**5,5** 4,2—8,8	**13,9** 8,3—15,7	**20,4** 15,2—25,6	**2,0** 1,6—2,6	**0,1** 0,05—0,1	**77,3** 75,9—78,1	**5,2** 4,9—5,3	**1,7** 0,1—2,5	**0,7** 0,4—1,0	**1,0**	**14,1**	**7 550** 7 490—7 640	**7 490**	**36,0** 34,0—38,0	Порошкообразный или слабо слипшийся	**6 010**	**17,6**	**1,7**	**4**
51		Шураб	—	—	**11,5** 9,1—13,8	**24,3** 13,0—30,0	**13,8** 7,3—18,5	**2,0** 1,0—2,8	**0,2** 0,1—0,3	**78,8** 78,1—79,3	**3,5** 3,2—3,7	**1,6** 0,5—2,4	**0,6** 0,5—0,7	**0,8** 0,7—0,8	**14,7**	**6 950** 6 900—7 000	**6 900**	**29,5** 26,0—33,0	Порошкообразный	**5 990**	**10,4**	**1,5**	**4**
52		Нарым	—	—	**5,5** 4,5—6,1	**10,6** 6,7—15,1	**8,7** 2,4—17,0	**0,5** 0,3—0,6	**0,05** 0,02—0,1	**79,8** 79,0—81,1	**4,9** 4,6—5,4		**0,5** 0,3—0,7	**1,2** 1,0—1,3	**13,6**	**7 650** 7 560—7 750	**7 620**	**35,0** 32,0—35,5	То же	**6 980**	**7,8**	**0,4**	**5**
53		Ханака	—	—	**1,5**	**10,1**	**46,5**	**1,6**	**0,1**	**79,4**	**5,0**		**2,9**	**0,9**	**11,8**	**7 550**	**7 430**	**30,0**	То же	**4 040**	**41,8**	**1,4**	**3**
54		Кштут-Зауранское	—	—	**5,6** 4,3—8.0	**9,9** 7,0—20,2	**15,3** 4,7—41,7	**2,8** 0,8—7,3	**0,25** 0,05—0,7	**76,6** 72,8—80,0	**4,8** 4,0—**5,5**		**3,0**	**15,6**		**7 416** 6 700—7 660	**7 330**	**35,5** 30,0—41,0	Порошкообразный или слабо слипшийся	**6 280**	**13,8**	**2,5**	**5**
	Д. Суррогаты топлива:																					
1		Отдубина	—	—	**9,0** 5,8—13,4	**65,8** 47,7—76,2	**7,1** 2,8—11,9	**0,2** 0,03—0,7	—	**51,7** 50,0—53,5	**5,9** 5,6—6,3		**0,2** 0,03—0,8	**0,9** 0,6—1,0	**41,3**	**4 850** 4 630—5 070	**4 830**	**76,0***	Порошкообразный	**4 510**	**2,4**	**0,1**	**1 0**
2		Лузга подсолнуха	—	—	**6,0** 4,4—8,2	**3,8** 9,2—17,4	**2,2** 1,9—2,8	**0,1** 0,1—0,2	—	**51,0** 0,7—51,1	**5,9** 5,8—5,9		**0,1** 0,1—0,2	**43,0**		**4 860** 4 850—4 890	**4 850**	**80,0***	Слипшийся	**4 750**	**1,9**	**0,1**	**3 7**
3		Костра льняная . .	—	—	**7,5** 6,8—8,6	**11,1** 7,5—13,4	**3,2** 1,4—5,3	**0,1** 0,04—0,15	—	**51,0** 50,3—51,8	**6,1** 6,0—6,3		**0,1** 0,04—0,15	**42,8**		**4 890** 4 820—4 980	**4 880**	**83,0**	То же	**4 730**	**2,8**	**0,1**	**3 8**
4		Рисовая шелуха . .	—	—	**7,2** 6,5—8,1	**9,8** 7,7—11,1	**20,5** 20,3—20,8	**0,1**	—	**50,3** 49,8—50,6	**6,1** 6,0—6,2		**0,1**	**0,7**	**42,8**	**4 790** 4 720—4 830	**4 780**	**80,0**	Порошкообразный	**3 810**	**18,5**	**0,1**	**3 1**
5		Солома *	—	—	—	**10,5**	**4,7**	**0,1**	—	**50,5**	**6,2**		**0,1**	**43,2**		**4 750**	**4 740**	—	—	**4 530**	**4,2**	**0,1**	**3 6**

[5] Оно же Минусинское.

Примечание. Звездочкой отмечены данные, приведенные на основании ограниченного количества анализов (см. текст.)

Таблица 64

…нование …ждения	Пласт, марка, сорт и пр.	Условное обозначение марки	Элементы характеристики: $W^л$ (%, Среднее от—до)	$W^р$ (%, Среднее от—до)	$A^с$ (%, Среднее от—до)	$S^с_{об}$ (%, Среднее от—до)	$S^с_а$ (%, Среднее от—до)	$C^г$ (%, Среднее от—до)	$H^г$ (%, Среднее от—до)	$S^г_к$ (%, Среднее от—до)	$S^г_{ор}$ (%, Среднее от—до)	$N^г$ (%, Среднее от—до)	$O^г$ по разности (%, Среднее)	$Q^г_б$ (Калорий, Среднее от—до)	$Q^г_в$ (Калорий, Среднее)	$V^г$ (%, Среднее от—до)	Характеристика кокса	Сухая масса: $Q^с_б$ (Калор., Среднее)	Рабочая масса: $A^р$ (%, Среднее)	$S^р_{об}$ (%, Среднее)	$Q^р_н$ (Калор., Средн. от—до)	Температура плавления золы в полувосстановительной среде: Начало деформации (°C, Среднее от—до)	Температура размягчения (°C, Среднее от—до)	Температура жидко-плавкого состояния (°C, Среднее от—до)
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	Хвойные	—	7,0 5,6—9,0	30,0	1,0 0,4—2,0	—	—	51,0 49,7—52,1	6,15 6,0—6,3	—	—	0,6	42,25	4 900 4 700—5 050	4 890	85,0	Слипшийся, рыхлый	4 850	0,7	—	2 980	—	—	—
	Лиственные	—	7,0 5,0—10,0	30,0	1,0 0,3—1,6	—	—	50,5 49,7—51,1	6,1 6,0—6,2	—	—	0,6	42,8	4 800 4 700—1 970	4 790	85,0	То же	4 750	0,7	—	2 910	—	—	—
	—	—	10,5 7,3—14,6	40,0 24,3—59.4	8,5 1,4—44,4	0,4 0,1—2,0	0,1	58,3 53,4—61,5	5,8 5,2—6,2	0,3		2,6 2,3—3,3	33,0	5 650 5 050—5 990	5 630	70,0 67,5—75,0	Порошкообразный или слабо спекшийся	5 170	5,1	0,2	2 680	800—1 410	990>1 450	1 060—
…ы …ское . . .	II и III пласты	—	2,3 0,9—4,0	15,0 7,0—30,0	46,2+12,3[1] от39,8+9,4[1] до49,3+16,2[1]	0,9 0,5—1,5	0,1	75,2 70,8—79,0	9,1 8,5—9,6	1,9		0,3*	13,5	8 100 7 430—8 800	8 040	83,0	Порошкообразный	3 360	39,3+10,5	0,8	2 560	1 110 1 060—1 150	1 170 1 130—1 200	1 190 1 140—1 230
…кое	—	—	4,3 3,2—6,5	13,0 5,8—25,0	57,3+2,9[1] от50,9+7,0[1] до61,7+12,7[1]	5,1 4,2—7,2	0,4 0,2—1,0	71,1 68,7—73,7	8,5 8,1—9,4	14,0		1,6*	4,8	7 860 7 460—8 230	7 620	79,0 73,0—84,0	То же	2 640	49,9+8,0	4,4	2 010	1 050 1 000—1 090	1 090 1 020—1 120	1 120 1 040—1 170
…о-Захарьев.	—	—	6,3	13,0	63,2+7,3[1]	3,5	0,4	68,2	8,7	10,5		1,5	11,1	7 200	7 000	—	—	2 120	55,0+6,4	3,0	1 590	990	1 090	1 140
…угли …овный бас-	—	—	8,0 5,6—12,3	32,0 20,4—42,0	26,8 22,5—38,3	3,7 2,0—5,9	0,2 0,1—1,3	69,7 64,8—71,3	4,9 4,4—5,4	5,1 1,8—3,4		1,4 0,9—1,7	18,9	6 750 5 980—7 100	6 630	45,0 40,0—51,0	То же	4 940	18,2	2,5	2 980	1 010—>1 450[2]	1 160	1 240—
…ское . . .	—	—	6,5	30,0 21,5—34,0	28,0 19,5—33,4	7,7 3,7—13,0	0,3*	68,5 65,5—73,0	5,7 5,2—6,3	10,3		1,0*	14,5	7 230 6 900—7 400	6 990	49,0 40,0—54,0	То же	5 200	19,6	5,4	3 190	—	—	—
. . . . .	—	—	2,0	6,5 2,0—10,0	40,0 35,6—46,8	3,1 0,3—6,5	0,2*	89,5 85,7—93,1	1,1 0,7—1,6	5,0		1,4*	3,0	7 600 7 450—7 760	7 480	5,0*	То же	4 560	37,4	2,9	4 120	1 080*	1 160*	1 300*
. . . . .	—	—	9,9	20,8	33,9	0,4	—	72,0	5,0	0,6		1,6	20,0	6 670	6 650	42,0	То же	4 410	26,9	0,3	3 220	1 170	1 350	1 400
. . . . .	—	—	9,0	24,2	40,1	0,9	0,03	71,5	5,0	1,5		2,2	19,8	6 670	6 630	41,0	То же	3 990	30,3	0,7	2 770	1 100	1 270	1 330
…ный . . .	—	—	9,7	21,0	31,3	0,8	0,03	74,1	5,4	1,1		19,4		7 000	6 960	41,0	Порошкообразный	4 810	24,7	0,6	3 490	1 100	1 260	1 300
…кое	—	—	1,3 1,0—1,6	6,0 4,0—12,0	11,9 6,6—24,3	0,7 0,6—1,1	0,05 0—0,2	85,6 84,5—86,6	5,3 5,1—5,5	0,7		2,4 2,2—2,7	6,0	8 440 8 270—8 600	8 410	29,0 28,0—31,0	Спекшийся, сплавленный, плотный или вспуч.	7 440	11,2	0,7	6 680	1 130 1 100—1 170	1 260 1 240—1 300	1 320 1 260—1 3
—	Длинно-пламенный	Д	5,2 3,1—7,2	13,0 7,4—21,0	11,2 8,0—26,3	3,6 1,5—6,0	0,2 0,1—0,3	77,3 74,8—78,8	5,4 5,1—5,6	3,8		1,6 1,2—2,0	11,9	7 800 7 500—8 050	7 700	44,0 42,0—48,0	Порошкообразный или слипшийся	6 930	9,7	3,1	5 640	1 050 1 950—1 260	1 150 1 040—1 400	1 230 1080—>1400
—	Газовый	Г	2,8 1,0—4,8	5,9 2,4—18,6	11,1 7,0—24,2	2,9 1,1—6,0	0,1 0,1—0,3	81,0 78,5—82,7	5,4 5,0—5,6	3,2		1,6 0,9—1,8	8,8	8 100 7 860—8 400	8 020	39,0 35,0—44,0	Спекшийся, сплавленный иногда вспученный	7 200	10,4	2,7	6 430	1 030 940—1 090	1 130 1 080—1 170	1 200 1 160—1 270
—	Паровичн. жирный	ПЖ	1,1 0,4—2,1	3,2 1,3—15,3	11,4 4,0—32,0	2,5 0,9—5,9	0,2 0,1—0,5	84,6 82,4—87,0	5,2 4,8—5,5	2,6		1,6 1,4—1,8	6,0	8 470 8 220—8 700	8 390	30,5 26,0—35,0	Спекш. сплавл., плотн. или умеренно плотный	7 500	11,0	2,4	6 940	1 090 970—>1 400	1 170 1 080—	1 250 1 170—
—	Коксовый	К	1,0	3,5 2,0—8,0	10,7 6,0—25,0	2,0 0,8—5,5	0,1	87,0	4,9	2,1		1,6	4,4	8 590 8 450—8 700	8 530	22,0 18,0—26,0	То же	7 680	10,3	1,9	7 120	1 030*	1 200*	1 300*
—	Паровичн. спекающ.	ПС	0,8 0,6—1,4	3,5 1,3—9,9	9,7 7,9—22,0	2,1 1,0—5,0	0,1	88,5 87,1—91,2	4,6 4,1—5,1	2,2		1,5 1,3—1,6	3,2	8 590 8 410—8 720	8 530	17,0 12,0—18,0	То же	7 760	9,4	2,0	7 190	1 100 1 080—1 130	1 130 1 100—1 180	1 180 1 150—1 240
—	Тощий	Т	1,0 0,4—1,8	3,4 1,4—12,1	8,5 2,0—13,7	1,5 1,0—2,5	0,1 0,03—0,1	90,6 89,4—92,4	4,3 4,0—4,6	1,6		1,6 1,3—1,9	1,9	8 620 8 500—8 730	8 570	13,0 17	Порошкообразный или слипшийся	7 890	8,2	1,4	7 350	1 070 1 020—1 150	1 160 1 060—1 220	1 210 1 130—1 280
—	Антрацит[3]	—	2,0 0,9—4,6	5,5 2,3—17,0	9,7 1,3—23,6	1,9 0,8—5,5	0,1	93,8 91,3—96,1	1,95 1,4—2,8	1,3 0,1—6,0	0,7 0,5—1,0	1,2	1,05	8 200 7 900—8 430	8 140	3,5 1,2—6,0	Порошкообразный	7 400	9,2	1,8	6 820	1 040 900—1 100	1 120 1 100—1 200	1 210 1 070—1 320
—	Антрацитовый штыб	АШ	2,0 0,8—3,5	7,4 2,0—15,4	17,3 11,5—24,6	1,8 0,8—5,5	0,15 0,04—0,6	93,2 91,1—95.4	1,85 1,5—2,9	1,3 0,2—6,0	0,7 0,5—1,0	1,2	1,75	8 100 7 720—8 310	8 040	4,0 2,9—7,3	То же	6 700	16,0	1,7	6 040	1 120 1 020—1 230	1 250 1 150—1 370	1 360 1 230—1 440
…кое[1]	—	—	2,2	2,5	41,0	2,6	0,3	76,4	5,9	2,4	1,6	1,3	12,4	7 760	7 660	44,0	Спекшийся плотный	4 580	40,0	2,5	4 210	1 110	>1 450	—
…дрийское[4] .	—	—	10,0 6,8—13,0	55,0 50,0—60,0	29,0 15,0—50,0	4,4 2,5—5,6	0,4 0,2—0,6	66,4 64,5—68,0	5,9 5,0—6,2	2,0 0,0—6,0	3,6 3,2—4,0	0,7 0,6—0,8	21,4	6 500 5 410—7 170	6 390	56,5 52,0—59,0	Порошкообразный	4 620	13,1	2,0	1 590	1 170 1 160—1 180	1 210 1 190—1 230	1 240 1 210—1 290
…вское . . .	—	—	10,0 7,5—14,0	45,0 40,0—50,0	46,0 36,5—50,0	3,1 2,5—4,4	0,6*	62,5 61,6—64,0	5,3 5,1—5,7	1,1*	3,5*	0,9	26,7	5 730 5 470—6 140	5 600	55,5	То же	3 090	25,3	1,7	1 310	1 280*	1 380*	>1 450*
…жское* . .	—	—	9,0	55,0 50,0—60,0	23,0	5,5	0,4	69,8	6,2	6,6		0,9	16,5	7 300	7 120	60,5	То же	5 620	10,4	2,5	2 030	—	—	—
…льское . . .	—	—	4,0 2,4—6,6	11,0 6,5—18,0	18,5 12,0—28,0	1,4 0,8—1,7	0,15 0,1—0,2	78,5 77,1—80,4	5,7 5,3—6,0	1,5		1,5	12,8	7 780 7 500—7 900	7 730	41,0 36,0—47,0	Слабоспекшийся или спекшийся плотный	6 340	16,5	1,2	5 310	>1 450	—	—
…льское* . .	—	—	1,0	2,0	18,0	1,0	—	77,5	5,8	1,1		1,7	13,9	7 750	7 720	37,0	Спекшийся сплавлен.	6 360	17,7	0,9	5 930	—	—	—
…ское	—	—	1,2 0,5—3,0	5,5 1,5—12,0	22,7 16,5—28,0	6,3 3,6—8,3	0,2 0,1—0,4	80,3 78,0—82,3	5,6 5,2—5,8	5,1 1,3—8,2	2,8 2,1—3,1	1,3 1,0—1,5	4,9	8 370 7 920—8 500	8 180	41,0 34,5—43,0	Спекшийся, плотный, иногда, сплавленный	6 470	21,5	6,0	5 720	1 150 990—>1 400	1 320 1130—>1450	1 390 1 220—
…ское . . .	—	—	9,0 4,0—14,5	19,0 14,0—23,6	19,2 15,0—39,0	1,2 0,6—2,4	0,05 0.01—0.07	73,6 70,9—75,6	5,2 4,9—5,4	0,8 0,1—3,0	0,7 0,5—0,8	1,8 1,7—2,3	17,9	7 150 6 680—7 240	7 100	41,0 37,5—44,0	Порошкообразный	5 780	15,2	1,0	4 350	1 030 1 000—1 070	1 130 1 080—1 170	1 210— 1 150—1 260
…вское . . .	—	—	15,0 13,5—18,0	30,0 25,0—36,0	17,5 14,1—21,0	0,5 0,4—0,7	0,1 0,05—0,1	69,5 68,6—70,4	4,4 4,2—4,9	0,5		1,5	24,1	6 250 6 100—6 500	6 230	43,0 40,0—44,5	То же	5 160	12,3	0,3	3 280	990 980—1 100	1 100 1 090—1 120	1 150 1 130—1 200
…нское . . .	—	—	1,2 0,9—1,4	5,9 2,6—10,3	19,0 13,0—27,0	0,5 0,3—0,6	0,1	91,3 90,9—92,1	3,5 3,3—3,6	0,5		0,6*	4,1	8 200 8 000—8 390	8 180	8,0 6,8—9,0	То же	6 640	17,9	0,5	6 050	>1 400	—	—
…о-Брединск.	—	—	3,0	4,0	23,0	0,9	0,02	93,4	1,7	0,3	0,8	0,8	3,0	7 900	7 870	3,0	То же	6 080	22,1	0,9	5 730	1 390	>1 450	—

…одержание золы без углекислоты карбонатов; второе—содержание углекислоты карбонатов (CO_2).
…кая температура плавления золы не характерна для подмосковного угля, обычно температура плавления >1 450°.
… марок без штыба.
…аевское.

Звездочкой отмечены данные, приведенные на основании ограниченного количества анализов (см. текст).

…новки 3083.

№ № по порядку	Район месторождения	Наименование месторождения	Пласт, марка, сорт и пр.	Условное обозначение марки	Элементы характеристики															Сухая масса	Рабочая масса			Т
					W^a	W^p	A^c	$S^c_{об}$	S^c_a	C^c	H^c	$S^c_к$	$S^c_{ор}$	N^c	O^c по разности	$Q^c_б$	$Q^c_в$	V^c	Характеристика кокса	$Q^c_б$	A^p	$S^p_{об}$	$Q^p_н$	де
					%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	Калорий	Калорий	%		Калор.	%	%	Калор.	
					Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее от—до	Среднее	Среднее от—до	Среднее	Среднее от—до		Среднее	Среднее	Среднее	Средн. от—до	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	А. Дрова		Хвойные	—	**7,0** 5,6—9,0	**30,0**	**1,0** 0,4—2,0	—	—	**51,0** 49,7—52,1	**6,15** 6,0—6,3	—	—	**0,6**	**42,25**	**4 900** 4 700—5 050	**4 890**	**85,0**	Слипшийся, рыхлый	**4 850**	**0,7**	—	**2 980**	
			Лиственные	—	**7,0** 5,0—10,0	**30,0**	**1,0** 0,3—1,6	—	—	**50,5** 49,7—51,1	**6,1** 6,0—6,2	—	—	**0,6**	**42,8**	**4 800** 4 700—1 970	**4 790**	**85,0**	То же	**4 750**	**0,7**	—	**2 910**	
	Б. Торф		—	—	**10,5** 7,3—14,6	**40,0** 24,3—59.4	**8,5** 1,4—44,4	**0,4** 0,1—2,0	**0,1**	**58,3** 53,4—61,5	**5,8** 5,2—6,2		**0,3**	**2,6** 2,3—3,3	**33,0**	**5 650** 5 050—5 990	**5 630**	**70,0** 67,5—75,0	Порошкообразный или слабо спекшийся	**5 170**	**5,1**	**0,2**	**2 630**	8
	В. Сланцы																							
1	Ленинградская область	Веймарнское . . .	II и III пласты	—	**2,3** 0,9—4,0	**15,0** 7,0—30,0	46,2+12,3[1] от39,8+9,4[1] до49,3+16,2[1]	**0,9** 0,5—1,5	**0,1**	**75,2** 70,8—79,0	**9,1** 8,5—9,6		**1,9**	**0,3***	**13,5**	**8 100** 7 430—8 800	**8 040**	**83,0**	Порошкообразный	**3 360**	**39,3+10,5**	**0,8**	**2 560**	1 0
2	Средняя Волга	Кашпирское	—	—	**4,3** 3,2—6,5	**13,0** 5,8—25,0	**57,3+2,9[1]** от50,9+7,0[1] до61,7+12,7[1]	**5,1** 4,2—7,2	**0,4** 0,2—1,0	**71,1** 68,7—73,7	**8,5** 8,1—9,4		**14,0**	**1,6***	**4,8**	**7 860** 7 460—8 230	**7 620**	**79,0** 73,0—84,0	То же	**2 640**	**49,9+8,0**	**4,4**	**2 010**	1 0
3		Ундорско-Захарьев.	—	—	**6,3**	**13,0**	**63,2+7,3[1]**	**3,5**	**0,4**	**68,2**	**8,7**		**10,5**	**1,5**	**11,1**	**7 200**	**7 000**	—	—	**2 120**	**55,0+6,4**	**3,0**	**1 590**	
	Г. Ископаемые угли																							
1	Ленинградская область	Подмосковный бассейн	—	—	**8,0** 5,6—12,3	**32,0** 20,4—42,0	**26,8** 22,5—38,3	**3,7** 2,0—5,9	**0,2** 0,1—1,3	**69,7** 64,8—71,3	**4,9** 4,4—5,4		**5,1** 1,8—3,4	**1,4** 0,9—1,7	**18,9**	**6 750** 5 980—7 100	**6 630**	**45,0** 40,0—51,0	То же	**4 940**	**18,2**	**2,5**	**2 980**	1 0
2		Боровичское . . .	—	—	**6,5**	**30,0** 21,5—34.0	**28,0** 19,5—33,4	**7,7** 3,7—13,0	**0,3***	**68,5** 65,5—73,0	**5,7** 5,2—6,3		**10,3**	**1,0***	**14,5**	**7 230** 6 900—7 400	**6 990**	**49,0** 40,0—54,0	То же	**5 200**	**19,6**	**5,4**	**3 190**	
3	Карелия	Шунгит	—	—	**2,0**	**6,5** 2,0—10,0	**40,0** 35,6—46,8	**3,1** 0,3—6,5	**0,2***	**89,5** 85,7—93,1	**1,1** 0,7—1,6		**5,0**	**1,4***	**3,0**	**7 600** 7 450—7 760	**7 480**	**5,0***	То же	**4 560**	**37,4**	**2,9**	**4 120**	
4	Печорский край	Неча	—	—	**9,9**	**20,8**	**33,9**	**0,4**	—	**72,0**	**5,0**		**0,6**	**1,6**	**20,0**	**6 670**	**6 650**	**42,0**	То же	**4 410**	**26,9**	**0,3**	**3 220**	
5		Тальбей	—	—	**9,0**	**24,2**	**40,1**	**0,9**	**0,03**	**71,5**	**5,0**		**1,5**	**2,2**	**19,8**	**6 670**	**6 630**	**41,0**	То же	**3 990**	**30,3**	**0,7**	**2 770**	
6		Заостренный . . .	—	—	**9,7**	**21,0**	**31,3**	**0,8**	**0,03**	**74,1**	**5,4**		**1,1**	**19,4**		**7 000**	**6 960**	**41,0**	Порошкообразный	**4 810**	**24,7**	**0,6**	**3 490**	
7		Варкутское	—	—	**1,3** 1,0—1,6	**6,0** 4,0—12,0	**11,9** 6,6—24,3	**0,7** 0,6—1,1	**0,05** 0—0,2	**85,6** 84,5—86,6	**5,3** 5,1—5,5		**0,7**	**2,4** 2,2—2,7	**6,0**	**8 440** 8 270—8 600	**8 410**	**29,0** 28,0—31,0	Спекшийся, сплавленный, плотный или вспуч.	**7 440**	**11,2**	**0,7**	**6 680**	1 1
8	Донецкий бассейн	—	Длиннопламенный	Д	**5,2** 3,1—7,2	**13,0** 7,4—21,0	**11,2** 8,0—26,3	**3,6** 1,5—6,0	**0,2** 0,1—0,3	**77,3** 74,8—78,8	**5,4** 5,1—5,6		**3,8**	**1,6** 1,2—2,0	**11,9**	**7 800** 7 500—8 050	**7 700**	**44,0** 42,0—48,0	Порошкообразный или слипшийся	**6 930**	**9,7**	**3,1**	**5 640**	1 9
9		—	Газовый	Г	**2,8** 1,0—4,8	**5,9** 2,4—18,6	**11,1** 7,0—24,2	**2,9** 1,1—6,0	**0,1** 0,1—0,3	**81,0** 78,5—82,7	**5,4** 5,0—5,6		**3,2**	**1,6** 0,9—1,8	**8,8**	**8 100** 7 860—8 400	**8 020**	**39,0** 35,0—44,0	Спекшийся, сплавлен. ный иногда вспученный	**7 200**	**10,4**	**2,7**	**6 430**	9 4
10		—	Паровичн. жирный	ПЖ	**1,1** 0,4—2,1	**3,2** 1,3—15,3	**11,4** 4,0—32,0	**2,5** 0,9—5,9	**0,2** 0,1—0,5	**84,6** 82,4—87,0	**5,2** 4,8—5,5		**2,6**	**1,6** 1,4—1,8	**6,0**	**8 470** 8 220—8 700	**8 390**	**30,5** 26,0—35,0	Спекш. сплавл., плотн. или умеренно плотный	**7 500**	**11,0**	**2,4**	**6 940**	9 7 0
11		—	Коксовый	К	**1,0**	**3,5** 2,0—8,0	**10,7** 6,0—25,0	**2,0** 0,8—5,5	**0,1**	**87,0**	**4,9**		**2,1**	**1,6**	**4,4**	**8 590** 8 450—8 700	**8 530**	**22,0** 18,0—26,0	То же	**7 680**	**10,3**	**1,9**	**7 120**	
12		—	Паровичн. спекающ.	ПС	**0,8** 0,6—1,4	**3,5** 1,3—9,9	**9,7** 7,9—22,0	**2,1** 1,0—5,0	**0,1**	**88,5** 87,1—91,2	**4,6** 4,1—5,1		**2,2**	**1,5** 1,3—1,6	**3,2**	**8 590** 8 410—8 720	**8 530**	**17,0** 12,0—18,0	То же	**7 760**	**9,4**	**2,0**	**7 190**	1 0
13		—	Тощий	Т	**1,0** 0,4—1,8	**3,4** 1,4—12,1	**8,5** 2,0—13,7	**1,5** 1,0—2,5	**0,1** 0,03—0,1	**90,6** 89,4—92,4	**4,3** 4,0—4,6		**1,6**	**1,6** 1,3—1,9	**1,9**	**8 620** 8 500—8 730	**8 570**	**13,0** 17	Порошкообразный или слипшийся	**7 890**	**8,2**	**1,4**	**7 350**	1 0
14		—	Антрацит[3]	—	**2,0** 0,9—4,6	**5,5** 2,3—17,0	**9,7** 1,3—23,6	**1,9** 0,8—5,5	**0,1**	**93,8** 91,3—96,1	**1,95** 1,4—2,8	**1,3** 0,1—6,0	**0,7** 0,5—1,0	**1,2**	**1,05**	**8 200** 7 900—8 430	**8 140**	**3,5** 1,2—6,0	Порошкообразный	**7 400**	**9,2**	**1,8**	**6 820**	9
15		—	Антрацитовый штыб	АШ	**2,0** 0,8—3,5	**7,4** 2,0—15,4	**17,3** 11,5—24,6	**1,8** 0,8—5,5	**0,15** 0,04—0,6	**93,2** 91,1—95.4	**1,85** 1,5—2,9	**1,3** 0,2—6,0	**0,7** 0,5—1,0	**1,2**	**1,75**	**8 100** 7 720—8 310	**8 040**	**4,0** 2,9—7,3	То же	**6 700**	**16,0**	**1,7**	**6 040**	1 0
16	Крым	Бешуйское[1]	—	—	**2,2**	**2,5**	**41,0**	**2,6**	**0,3**	**76,4**	**5,9**	**2,4**	**1,6**	**1,3**	**12,4**	**7 760**	**7 660**	**44,0**	Спекшийся плотный	**4 580**	**40,0**	**2,5**	**4 210**	
17	Украина	Александрийское[4] .	—	—	**10,0** 6,8—13,0	**55,0** 50,0—60,0	**29,0** 15,0—50,0	**4,4** 2,5—5,6	**0,4** 0,2—0,6	**66,4** 64,5—68,0	**5,9** 5,0—6,2	**2,0** 0,0—6,0	**3,6** 3,2—4,0	**0,7** 0,6—0,8	**21,4**	**6 500** 5 410—7 170	**6 390**	**56,5** 52,0—59,0	Порошкообразный	**4 620**	**13,1**	**2,0**	**1 590**	1 1
18		Зиновьевское . . .	—	—	**10,0** 7,5—14,0	**45,0** 40,0—50,0	**46,0** 36,5—50,0	**3,1** 2,5—4,4	**0,6***	**62,5** 61.6—64,0	**5,3** 5,1—5,7	**1,1***	**3,5***	**0,9**	**26,7**	**5 730** 5 470—6 140	**5 600**	**55,5**	То же	**3 090**	**25,3**	**1,7**	**1 310**	
19		Криворожское* . .	—	—	**9,0**	**55,0** 50,0—60,0	**23,0**	**5,5**	**0,4**	**69,8**	**6,2**		**6,6**	**0,9**	**16,5**	**7 300**	**7 120**	**60,5**	То же	**5 620**	**10,4**	**2,5**	**2 030**	
20	Закавказье	Ткибульское . . .	—	—	**4,0** 2,4—6,6	**11,0** 6,5—18,0	**18,5** 12,0—28,0	**1,4** 0,8—1,7	**0,15** 0,1—0,2	**78,5** 77,1—80,4	**5,7** 5,3—6,0		**1,5**	**1,5**	**12,8**	**7 780** 7 500—7 900	**7 730**	**41,0** 36,0—47,0	Слабоспекшийся или спекшийся плотный	**6 340**	**16,5**	**1,2**	**5 310**	
21		Ткварчельское* . .	—	—	**1,0**	**2,0**	**18,0**	**1,0**	—	**77,5**	**5,8**		**1,1**	**1,7**	**13,9**	**7 750**	**7 720**	**37,0**	Спекшийся сплавлен.	**6 360**	**17,7**	**0,9**	**5 930**	
22	Урал	Кизеловское	—	—	**1,2** 0,5—3,0	**5,5** 1,5—12,0	**22,7** 16,5—28,0	**6,3** 3,6—8,3	**0,2** 0,1—0,4	**80,3** 78,0—82,3	**5,6** 5,2—5,8	**5,1** 1,3—8,2	**2,8** 2,1—3,1	**1,3** 1,0—1,5	**4,9**	**8 370** 7 920—8 500	**8 180**	**41,0** 34,5—43,0	Спекшийся, плотный, иногда, сплавленный	**6 470**	**21,5**	**6,0**	**5 720**	9 9 0
23		Челябинское . . .	—	—	**9,0** 4,0—14,5	**19,0** 14,0—23,6	**19,2** 15,0—39,0	**1,2** 0,6—2,4	**0,05** 0.01—0.07	**73,6** 70,9—75,6	**5,2** 4,9—5,4	**0,8** 0,1—3,0	**0,7** 0,5—0,8	**1,8** 1,7—2,3	**17,9**	**7 150** 6 680—7 240	**7 100**	**41,0** 37,5—44,0	Порошкообразный	**5 780**	**15,2**	**1,0**	**4 350**	1 0 0
24		Богословское . . .	—	—	**15,0** 13,5—18,0	**30,0** 25,0—36,0	**17,5** [14,1—21,0	**0,5** 0,4—0,7	**0,1** 0,05—0,1	**69,5** 68,6—70,4	**4,4** 4,2—4,9		**0,5**	**1,5**	**24,1**	**6 250** 6 100—6 500	**6 230**	**43,0** 40,0—44,5	То же	**5 160**	**12,3**	**0,3**	**3 280**	
25		Егоршинское . . .	—	—	**1,2** 0,9—1,4	**5,9** 2,6—10,3	**19,0** 13,0—27,0	**0,5** 0,3—0,6	**0,1**	**91,3** 90,9—92,1	**3,5** 3,3—3,6		**0,5**	**0,6***	**4,1**	**8 200** 8 000—8 390	**8 180**	**8,0** 6,8—9,0	То же	**6 640**	**17,9**	**0,5**	**6 050**	9 8
26		Полтаво-Брелинск.	—	—	**3,0**	**4,0**	**23,0**	**0,9**	**0,02**	**93,4**	**1,7**	**0,3**	**0,8**	**0,8**	**3,0**	**7 900**	**7 870**	**3,0**	То же	**6 080**	**22,1**	**0,9**	**5 730**	

[1] Первое слагаемое—содержание золы без углекислоты карбонатов; второе—содержание углекислоты карбонатов (CO_2).
[2] Встречающаяся низкая температура плавления золы не характерна для подмосковного угля, обычно температура плавления >1 450°.
[3] В среднем для всех марок без штыба.
[4] Семеновское и Пантаевское.

Примечание. Звездочкой отмечены данные, приведенные на основании ограниченного количества анализов (см. текст).

масла со змеевиком
о периодически или
нольного масла на
ное масло. Из фе-
в котором ороша-
ивающим уксусную
ан и снабжен само-
и насосом. И в дан-
сении определенной
переработку. С тем-
з попадает в охла-
охлаждается до 30°.
роизводится едким
е фенолаты натрия.
кислоту образова-
кцией

$_2O$.

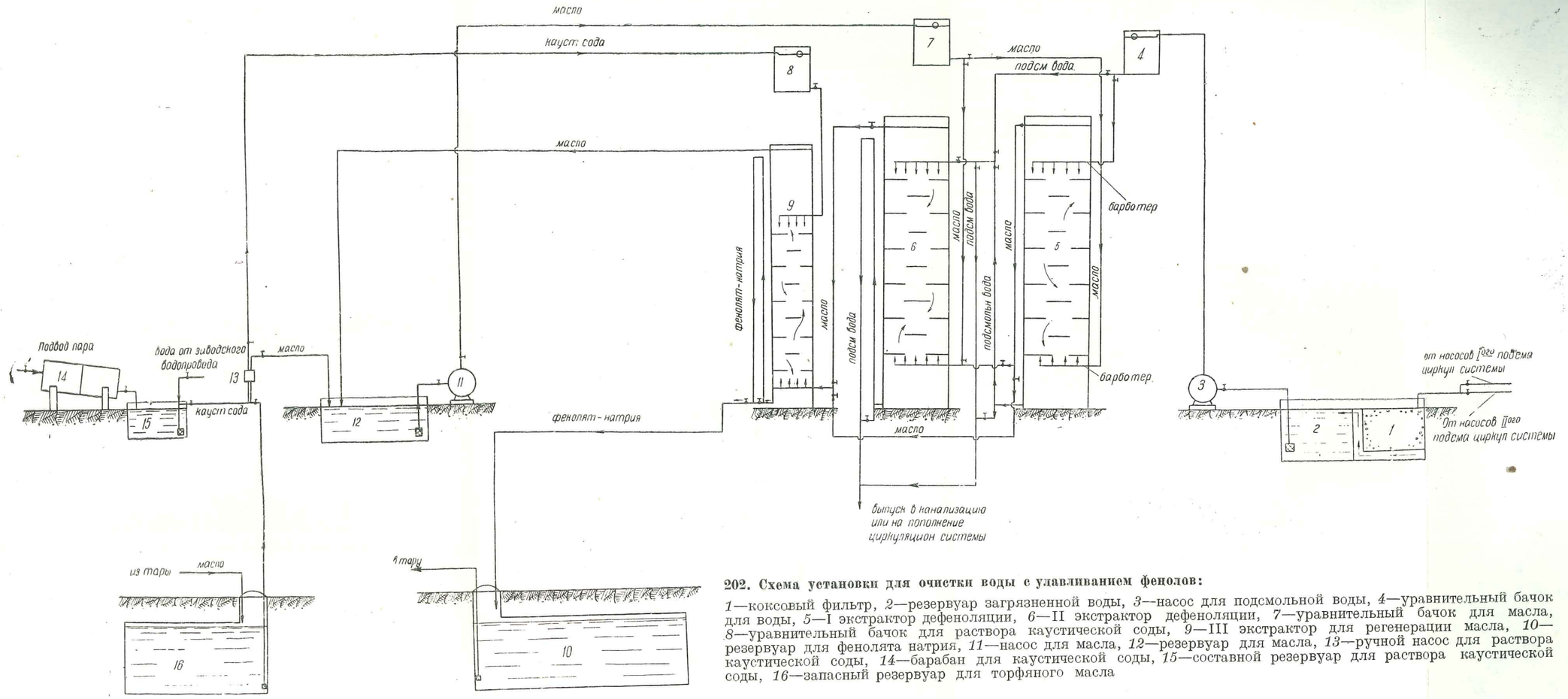
тке для выделения
уктом. Разложение
ощью углекислоты.
и нерентабельности
отка масла извест-
в виде кальциевых
служить в качестве

могут служить ме-
сти работы и малой
ротивоточные экс-

путем фракционн-

слоты водой скруб-
имерно 60°, цирку-
беры, яма для под-
избежания потери
ижении требуемой
периодически отво-
е количеству выде-
переработку.
ниже точки росы.
онцентрация воды,
ляется количеством
нужно поддержи-
овавшейся влаги не
ально возможным

обесфеноливанию
, представляющую



Вкл. 4. Газогенераторные установки 3083

202. Схема установки для очистки воды с улавливанием фенолов:

1—коксовый фильтр, *2*—резервуар загрязненной воды, *3*—насос для подсмольной воды, *4*—уравнительный бачок для воды, *5*—I экстрактор дефеноляции, *6*—II экстрактор дефеноляции, *7*—уравнительный бачок для масла, *8*—уравнительный бачок для раствора каустической соды, *9*—III экстрактор для регенерации масла, *10*—резервуар для фенолята натрия, *11*—насос для масла, *12*—резервуар для масла, *13*—ручной насос для раствора каустической соды, *14*—барабан для каустической соды, *15*—составной резервуар для раствора каустической соды, *16*—запасный резервуар для торфяного масла

станавливается при промывании его гипохлоритом натрия в при-