

Институт
Повышения Квалификации
Работников Водного
Транспорта.

ИПКВод

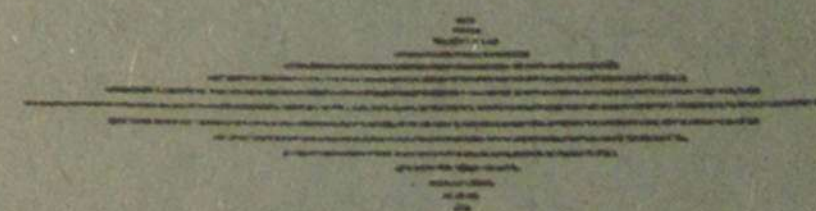
На правах рукописи

R 322
1740

А. ГЕНИН

СУДОВЫЕ
ГЕНЕРАТОРНЫЕ
УСТАНОВКИ

(КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ)



1937
ЛЕНИНГРАД

От издательства.

ИПКВод одновременно выпускает два конспекта лекций, прочитанных на центральных курсах Наркомвуда по подготовке кадров газогенераторщиков:

Конспект по судовым газогенераторным установкам инж. Генина, А.Б. - охватывает "производство" силового газа, не касаясь его применения для работы двигателей.

Работа двигателя на газе освещена в конспекте Петровского. Перевод автотракторных двигателей на генераторный газ.



37-22296

Книга имеет:

Печатных листов	Выпуск	В переплет. един. соедин. №№ вып.	Таблиц	Карт	Иллюстр.	Служеб. №	Наклад писка
2761-45	1		2			170	13 576

1937

Транспортные газогенераторы в капиталистических странах. Предпосылки, развитие и состояние.

Использование газа для промышленных целей сжигания в топках, печах, для целей освещения и т.д. насчитывает несколько сот лет. До 80-х годов прошлого столетия генераторный газ применялся исключительно для целей нагрева.

Первый двигатель на генераторном газе осуществлен в 1862 г. В стационарных условиях применение газогенератора на автомобилях относится к 1905 г. Более широкое развитие началось во время и после войны 1914 г. в связи с ростом количества автомобилей и увеличением потребления жидкого горючего. Транспортные газогенераторы впервые возникли в странах лишенных нефтяных месторождений. Наибольшее распространение они получили во Франции, Австрии, Италии и др. странах благодаря прямой поддержке и субсидиям, выдаваемым предпринимателям со стороны государства, руководствующаясь главным образом соображениями военного времени. Известный французский граф Ж. Дюпон сказал: "Чтобы получить возможность во время войны мобилизовать быстро и в неограниченном количестве топливо вспомогательного значения, необходимо еще заранее обеспечить применение этого топлива в достаточно широком

масштабе."

Итальянское правительство издало постановление, по которому все автомобили отправляемые в Абиссинию, должны быть снабжены газогенераторными установками.

Развитие транспортных газогенераторов за границей пошло главным образом по линии приложения к автомобилям, в соответствии с ростом самого автомобильного парка.

Таблица 1.

Общее количество автомобилей на земном шаре на 1931 г.

Страны	Количество автомобилей			
	Легковых	Автобусов	Грузовых	Всего
Америка /Без США/	1680567	85409	366235	2128208
С.Ш.А	23251000	99000	3413000	26763000
Европа	3774161	150601	1343000	5267161
Азия	373740	12750	143741	530231
Африка	251151	2633	66887	397625
Австралия	639588	148020	165861	953469
Итого	29970804	426068	5789155	36185527

В Германии до последних двух-трех лет мало интересовались газогенераторными автомобилями. В настоящее время имеются большие успехи. Большое внимание уделяют этому также в Швеции,

Финляндии, Ливне, Японии, Чехословакии и т.д. В настоящее время имеются не мало хороших конструкций, зарекомендовавших себя в эксплуатации как на древесине, так и на древесном угле: Умберт, Берлине, Дейц и др на дровах и Рено, Рекс, Панар-Левасор - на карбоните и древесном угле.

Транспортные газогенераторы в Советском Союзе - их значение, состояние и дальнейшее развитие.

Запасы нефти в Советском Союзе огромны, по добыче нефти Советский Союз занял 2^е место в мире. За период первой пятилетки и годы второй пятилетки у нас значительно вырос воздушный флот, который предъявляет спрос на высокосортное жидкое горючее. Рост автомобильного парка /за годы второй пятилетки/ виден из таблицы 2

Таблица 2 (**)

Годы	Наличие парка на 1 января			Проценты роста
	Легковые	Грузовые	Всего	
1933	13800	61600	75400	100,0
1934	22600	95200	117800	156,2
1935	37000	143000	180000	238,7
1936 (х)	51500	206900	258400	342,7
1937	76600	290100	366700	486,3

(х) 1936 и 1937 гг. - по плану

(**) Таблица заимствована у Згура.

Не меньше, чем автомобильный, возрос тракторный парк.

Потребность в легких погонах нефти/бензин, керосин/ значительно опережает как добычу, так и переработку нефти. Это приводит к не полному удовлетворению спроса.

По автомобильному парку спрос на бензин покрывался в 1933г. на 83,6%; в 1934г. - 72,0%; и в 1935 - 70,8%.

Неправильно было бы искать выход только за счет дальнейшего увеличения нефтедобычи. Мировые запасы нефти ограничены, поэтому увеличение добычи ускоряет истощение этих запасов. Таким образом независимо от соотношения спроса и предложения на нефтепродукты в данный момент необходимо снизить потребление нефти путем замены ее другими видами топлива.

Транспортные газогенераторные установки и призваны разрешить эту задачу.

Тракторный парк целиком, а автомобильный в значительной степени сосредоточены в сельском хозяйстве, на лесозаготовках или вблизи лесных районов. При газификации одних только отходов сельского хозяйства /соломы, отходы хлопка, кукурузы, подсолнуха и т.д./ и лесозаготовок /сучья, щепка, шишки и т.д./, полученный газ не только покрыв бы потребность в жидком горючем указанных отраслей, но и явился бы дополнительным источником энергии.

В настоящее время использование отходов незначительно, причем в качестве топлива применяются главным образом древесные турки и

древесный уголь.

СССР одна из самых богатых лесом стран в мире. В нем около 30% всей мировой площади лесов. Общая площадь лесов СССР составляет около 932 млн. га, из которых удобны для разработки около 66,0%. Не только разработка, но и даже учет лесов затруднен, так как большинство лесных массивов далеко простирается на север и восток и расположено в местах мало населенных и трудно проходимых.

Распределение части лесов удобной для освоения по отдельным республикам в млн. га следующее.

Таблица 3.

Республики	Леса государства	Особого назначения	Местного значения	Всего лесной площади
Р.С.Ф.С.Р	567,35	11,13	24,68	603,16
Белоруссия	2,25	0,09	0,42	2,76
Украина	2,34	0,08	0,89	3,31
З.С.Ф.С.Р	3,29	0,01	0,04	3,34
Туркменская ССР	2,80	—	—	2,80
Узбекская ССР	1,02	—	—	1,02
Таджикская ССР	1,05	—	—	1,05
Итого:	580,10	11,31	26,03	617,44

Однако, и эта часть далеко не полностью разрабатывается ввиду трудности механизации, доставки жидкого горючего и т.д.

Использование леса в качестве горючего

для двигателей внутреннего сгорания в этих районах явилось бы толчком для освоения и других природных богатств отдаленных окраин советского союза /дерево, рыба, уголь, руды и т.д./

В отличие от нефтедобычи правильное ведение лесного хозяйства не ведет к уменьшению количества леса.

К числу крупных потребителей жидкого топлива наряду с автотранспортом и сельским хозяйством принадлежит и водный транспорт, о чем более подробно будет сказано ниже.

В советском союзе лишь за последние 10-13 лет началась разработка и освоение транспортных газогенераторов.

Профессор В.С. Наумов, один из первых в Союзе начал эту работу с 1923 г.

Последние конструкции газогенераторов проф. Наумова У-5 и У-6 для автомашин ГАЗ-АА на древесном угле наиболее простые и надежные в работе - находят все большее распространение. Они хорошо себя показали в пробегах Москва-Ленинград-Москва, Ленинград-Тифлис и в эксплуатации на лесоразработках.

Проф В.П. Карпов работает над транспортными газогенераторами с 1925 г. Газогенераторная установка проф. Карпова на древесном угле, установленная на грузовике Я-5, получила наилучшую оценку в пробеге Москва-Ленинград-Москва.

Работы ЦНИИМЭ, известные главным образом газогенераторными системами С.Н. Декаленкова под названием „Пионер“ ведутся с 1928 г.

Несмотря на целый ряд существенных недостатков газогенераторов Декаленкова, они наиболее широко известны, до сих пор были распространены как на автомашинах, так и на тракторах. Топливом для них служат древесные турки.

Дизельный Институт /1927-1930 г./ под руководством проф В.Ю. Гиттиса, провел целый ряд исследований в области газогенераторов, влияния свойств твердого топлива на качество силового газа, применении надува и др.

НАТИ ведет работы по газогенераторам с 1930 г. В основу был принят газогенератор типа Берлие, который все время совершенствовался. Последние модели газогенераторов НАТИ очень компактны и дали хорошие показатели при работе на автомашинах.

Ленинградский Индустриальный Институт последние 2-3 года также работает в области газогенераторов. В основу взята конструкция древесно-угольного газогенератора Рено, которая несколько изменена - упрощена.

В области сухопутного транспорта работа ведется еще целым рядом институтов, учреждений и отдельными конструкторами, причем преимущественно для автомашин.

На водном транспорте применение газогенераторных установок началось лишь в последние 2-3 года, причем до 1936 года количество катеров с газогенераторами исчислялось единицами.

В 1933 г. газогенераторными установками для водного транспорта занимался Н.А.Т.И.

На катере Моссудоверфи был установлен газогенератор "НАТИ-3" автомобильного типа с двигателем ХТЗ для очистки и охлаждения газа была использована вода. В дальнейшем работа продолжалась самой верфью по линии приспособления газогенератора НАТИ к судовым условиям.

ЦНИИВТ - с конца 1934г. приступил к разработке судовых газогенераторных установок на 30, 60 и 120 л.с., работающих на древесном топливе.

О работах Моссудоверфи и ЦНИИВТ'а по газогенераторам более подробно будет сказано ниже, а также см. статьи в журналах "Водный Транспорт" и "Судостроение". В настоящее время по количеству эксплуатируемых газогенераторных установок первое место занимает Наркомлес. Отстают сельское хозяйство, а также Наркоматы и ведомства использующие водные пути - Наркомпищепром, Главсевморпуть и Наркомвод.

Транспортные газогенераторные установки в ближайшие 5-10 лет безусловно получат в Советском Союзе самое большое распространение во всех отраслях народного хозяйства.

3. Топливо. Дрова и древесный уголь.

Дальнейший рост газогенераторных установок будет зависеть от целого ряда причин /совершенства конструкций, кадров и т. д. / и

прежде всего от стоимости твердого топлива. Теоретически газифицировать можно любое горючее, однако, в транспортных установках к топливу предъявляется целый ряд условий: незначительное содержание золы, влажности и т. д. - этим и объясняется преимущественное применение древесины, как в естественном состоянии, так и в обугленном виде.

Удельный вес, удельный объем, calorificность топлива и, наконец, прочность угля образующегося при газификации зависит от пород дерева. Содержание летучих (смолы и друг.) и количество генераторного газа при одной и той же влажности и размере топлива, также зависит от рода древесины. Наиболее пригодны в этом отношении были бы твердые породы: дуб, бук, клен. Иностранные фирмы рекомендуют применять смесь твердых и мягких пород. Необходимость применения твердых пород в автотра газогенераторах разделяется и Н.А.Т.и, однако, равнение на твердые породы древесины является вредной ориентацией, способной затормозить на ближайший отрезок времени большое народнохозяйственное дело, каким являются транспортные газогенераторы.

Наиболее распространенной из древесных пород в СССР является сосна, в Европейской части - первое место занимает ель, а второе - сосна.

Из лиственных пород самые распространенные береза и осина.

Исходя из природных условий Советского

Союза первые места из древесного топлива должны занимать сосна и ель, а второе - береза. От твердых пород следует вовсе отказаться несмотря на все их преимущества.

Более дискуссионным является вопрос о том, применять ли древесные турки или древесный уголь в транспортных установках. Газифицировать древесный уголь не представляет особых затруднений, того нельзя сказать про древесину. От силового газа наряду с известной калорийностью, требуется полное отсутствие паров смолы, которые приводят к засмоливанию и остановке двигателя. Получение бессмоляного газа из дров при переменных режимах работы двигателя и влажности топлива представляет главную трудность при газификации древесины.

В капиталистических странах наибольшее распространение получил древесный уголь, который является побочным продуктом (отходом) лесохимической промышленности, что обеспечивает его повсеместное распространение в стране по очень дешевой цене.

Специальный выход угля без утилизации летучих погонов - смолы, уксусной и муравьиной кислоты, метилового спирта и др. является недопустимым, так как приводит к большим потерям энергии.

Выход угля при различных температурах его теплотворная способность даны в таблице 4.

Таблица 4.

Температура перегонки С	Выход угля в % от сухой древесины	Состав угля в %			Теплотворная способность в кол. на 1 кг.	Теплота сгорания угля из 1 кг. древесины	Вид и прочность угля
		С	Н	О+Л			
100	100	47,41	6,54	46,05	4730	4730	Сухое дерево
275	81,7	57,70	6,32	35,98	5800	4740	Твердый бурый.
290	79,1	58,14	6,02	35,84	5760	4570	
310	53,9	70,36	5,38	24,26	6870	3650	Темнобурый твердый
320	48,7	71,90	5,13	22,87	6940	3360	Темнобурый ломкий
400	38,1	76,10	4,90	19,00	7710	2850	Серый ломкий
515	31,0	88,40	3,80	7,80	8270	2570	
545	27,5	90,30	3,15	6,55	8250	2270	

Древесный уголь, очень хрупкий, при перегрузке и транспортировке сильно измельчается и дает до 10-20% угольной пыли. Хранение древесного угля также представляет известные трудности вследствие гигроскопичности. Повышенная влажность угля отражается на процессе газификации и калорийности генераторного газа.

В Советском Союзе лесохимическая промышленность недостаточно развита, поэтому

наибольшее приращение получило древесное топливо мелко накатаное в виде чурок.

На ближайший период в качестве топлива преимущественное распространение будут иметь дрова, хотя более рационально было бы разделить процессы - сначала сушка перелюшка, а затем газификация остатка.

В условиях водного транспорта, где неизбежны перегрузки и большие запасы топлива, древесный уголь найдет меньшее распространение, чем в сухопутном транспорте.

Таким образом и в Советском Союзе потребление древесного угля в газогенераторах будет зависеть от развития лесохимической промышленности.

Газогенераторные установки на водном транспорте.

Для водного транспорта газогенераторные установки имеют исключительное значение по следующим обстоятельствам:

1. На освоенной судоходной части водного пути сотни километров отделяют между собой крупные или вообще промышленные пункты. Каждые 100 км. пути это - 15-20 часов хода, считая нормальным возом такой, при котором средняя скорость буксировки составляет 5-7 км. в час.

2. Не судоходная часть пути, верховья рек или мелкие реки составляют наибольшую часть и расположены в наиболее отдаленных

окраинах Советского Союза, куда доставка жидкого топлива невозможна круглый год или осуществима только воздушным путем.

Освоение природных богатств этих районов тесно связано с освоением самих рек, при этом как правило, окраины Советского Союза находятся именно в лесистых местах.

Механический перенос автотракторной газогенераторной установки на судно не может быть признан нормальным, так как он не обеспечивает использование преимуществ водного транспорта перед сухопутным и вообще игнорировал бы специфику водного транспорта. Условия водного транспорта в отношении применения газогенераторных установок не ограничиваются только преимуществами, имеются и затруднения, которых нет в автотранспорте. Требования, предъявляемые к газогенераторным установкам вытекают целиком из специфики водного транспорта.

Особенности водного транспорта.

I Преимущества водного транспорта перед сухопутным с точки зрения использования газогенераторных установок:

- 1/ наличие воды для охлаждения и предварительной очистки газа,
- 2/ удобная площадка для размещения газогенераторной установки,
- 3/ запас топлива на 50-60 ходовых часов,
- 4/ обслуживание установки отдельным человеком (матросом).

5/ Вес судовой установки хотя и имеет значение, однако, не такое решающее, как на автомобиле или тракторе.

II Трудности, вытекающие из условий водного транспорта.

1/ Сравнительно небольшие скорости движения при больших радиусах действия.

2/ Остановки двигателя в пути не только означают потерю времени (простой), но при движении с возом или в ночное время угрожают аварией.

III Требования к газогенераторной установке.

1/ Надежность установки, как с точки зрения механической прочности, так и с точки зрения бесперебойного газообразования при переключении режима работы двигателя - пониженная мощность и малые обороты.

2/ Непрерывная работа без чистки в течение 20-25 часов при максимальной мощности двигателя.

3/ Простота изготовления /материалы и конструкции/, обслуживания, демонтажа, ремонта и замены отдельных деталей и узлов.

Достоинства газового топлива и газогенераторных установок в комплексе с авто-тракторными двигателями.

1/ Стоимость топлива при работе авто-тракторных двигателей на генераторном газе дает удешевление по сравнению с жидким горючим

в 5-10 раз в зависимости от района и организации заготовки чурок.

2. Удельный расход древесного топлива влажностью 15-20% составляет 1-1,3 кг. на л.с. в час, то есть в 3-4 раза меньше, чем на паросиловых установках малой мощности.

3. Изготовление паровых котлов требует специальных материалов и оборудования, ремонт котла также не везде может быть осуществлен, газогенераторные установки изготавливаются из сортового материала (листовое железо, уголки и т.п.), двигатели выпускаются в массовом количестве, также как и запасные части к ним, что облегчает ремонт.

4. Обслуживание газогенераторной установки легче, чем парового котла, требует меньшей квалификации и менее опасно.

Выводы - не только для Наркамвода, но и для других Наркаматов - газогенераторные установки в условиях водного транспорта чрезвычайно целесообразны, экономический эффект при их применении очевиден и будет зависеть от района и стоимости твердого топлива.

Создание колхозного и рыболовного речного флота также неразрывно связано с использованием местного топлива.

Схема транспортной газогенераторной установки.

(см. рис. 1 и 2)

В технологическом процессе всякой транспортной газогенераторной установке имеются

три фазы - получение газа, его охлаждение и очистка, которые осуществляются в специальных аппаратах.

Получение газа - Перевод твердого топлива в газообразное состояние осуществляется в газогенераторах. Газ по выходе из генератора имеет температуру порядка $500-600^{\circ}$, повышенное влагосодержание $100-200 \text{ г/м}^3$ сухого газа, в зависимости от влажности твердого топлива и загрязнен механическими примесями (мелкий уголь и зола). Поэтому он не может быть непосредственно использован для сжигания в цилиндрах двигателя.

Охлаждение газа необходимо для увеличения коэффициента подачи, а следовательно повышения мощности двигателя. В автотракторных установках оно осуществляется при помощи поверхностных теплообменников, чаще всего трубчатых. По трубкам пропускают газ, а снаружи они охлаждаются потоком воздуха. В судовых условиях охлаждение осуществляется непосредственным соприкосновением газа с водой в скрубберах с насадкой.

Очистка газа - имеет две ступени. Предварительная - грубая очистка происходит одновременно с охлаждением, а для тонкой очистки применяются различные фильтрующие материалы - трава, ткани и др.

Процессы газификации.

В газогенераторной технологии применяются

два процесса для получения газообразного топлива.

Прямой процесс применяется главным образом в стационарных установках, а обратный - обращенный в транспортных.

Изучение обратного процесса наиболее ясно, наглядно и доступно при сравнении его с прямым процессом газификации.

Прямой процесс.

Схема прямого процесса /рис. 3/. Топливо

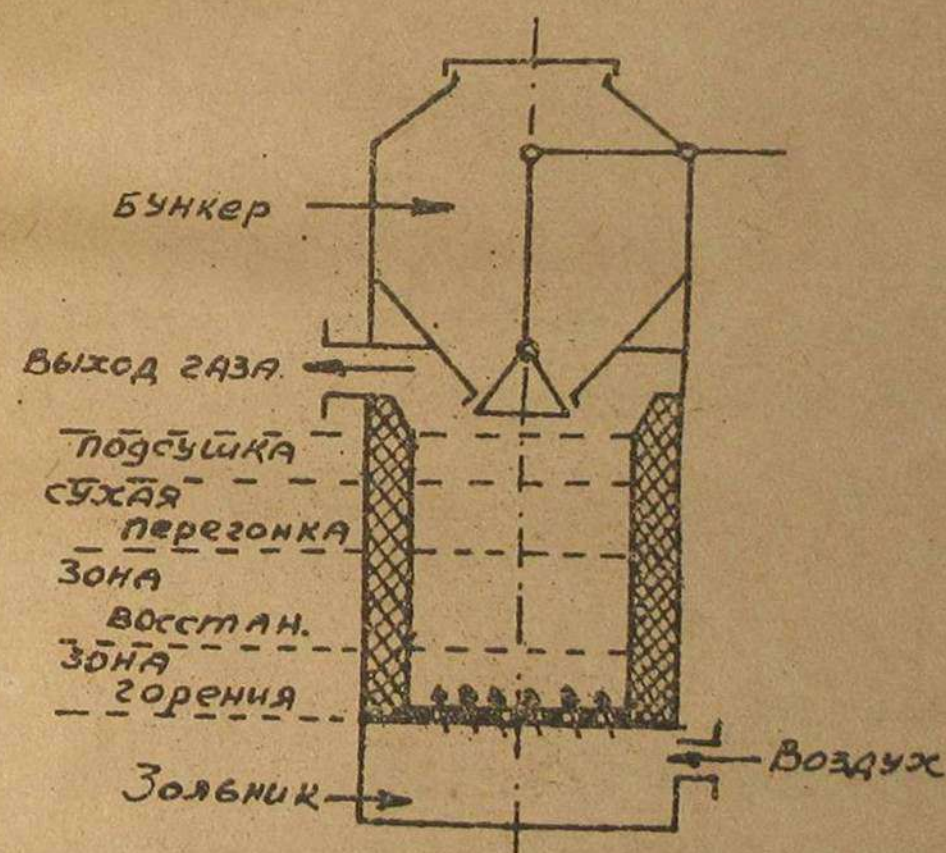


Рис. 3. Схема прямого процесса

загружается сверху в бункер через крышку и опускается постепенно вниз по мере того, как нижние слои превращаются в газообразное состояние. Воздух подается снизу под решетку, а образовавшийся газ подымается кверху, где и отсасывается через патрубок. В прямом процессе различают четыре этапа /зоны/ на пути преобразования топлива из твердого в газообразное состояние. В соответствии с физико-химическими процессами, которые при этом происходят. Загруженное

загружается сверху в бункер через крышку и опускается постепенно вниз по мере того, как нижние слои превращаются в газообразное состояние. Воздух подается снизу под решетку, а образовавшийся

сверху рабочее топливо встречает на своем пути идущий снизу горящий газ. За счет физического тепла газа топливо нагревается, при этом происходит выделение водяного пара - топливо подсушивается. Дальнейший нагрев вызывает повышение температуры и процесс разложения древесины, т.е. сухой перегонки.

Топливо богатое летучими, как торф, древесина, в момент разложения выделяют высококалорийный швель газ, пары смолы, уксусной кислоты и др. продукты сухой перегонки, которые увлекаются потоком генераторного газа и отсасываются вместе с водяными парами.

Таким образом на решетке в соприкосновении с воздухом вступает почти чистый углерод, который сгорая образует окись углерода CO и угольную кислоту CO_2 . Температура в нижней части в зоне горения порядка $1200 - 1300^\circ C$.

Теплота реакции окисления идет на нагрев газа и выше лежащих слоев угля. Угольная кислота, поднимаясь вверх соприкасается и реагирует с раскаленным углем, при этом часть ее восстанавливается до окиси углерода. Для снижения температуры на решетке, во избежание плавкости золы к воздуху добавляют водяной пар. Если дутье паровоздушное, то и водяные пары, проходя сквозь раскаленный слой угля частично разлагаются, образуя при этом окись углерода и водород. Этот участок и называется зоной

восстановления, дальше идут уже известные зоны сухой перегонки и подсушки.

Обращенный процесс.

Схема процесса, /рис. 4/. Топливо загружается

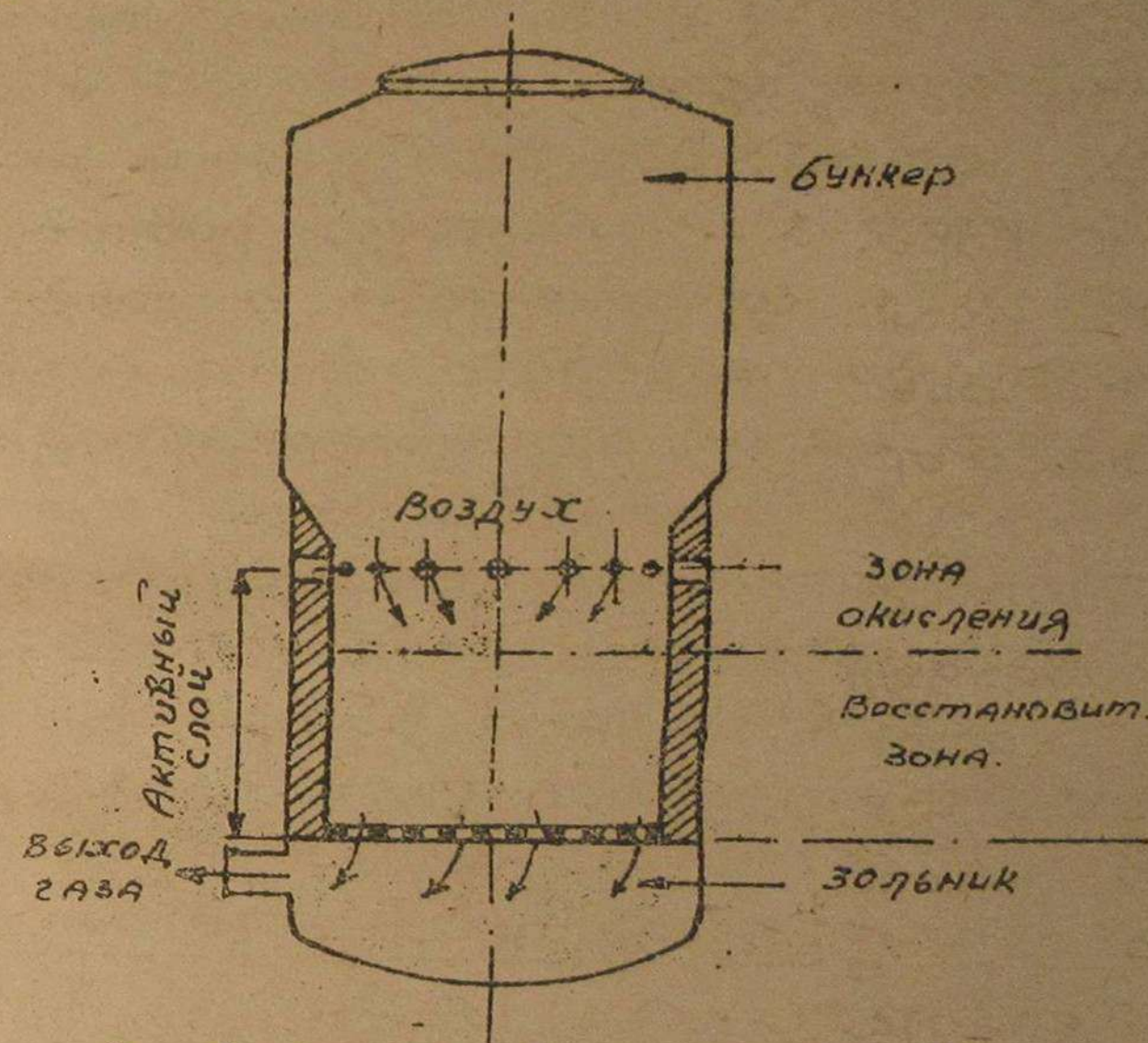


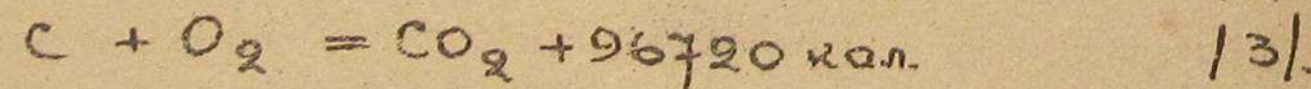
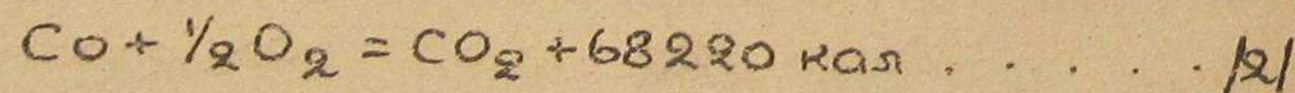
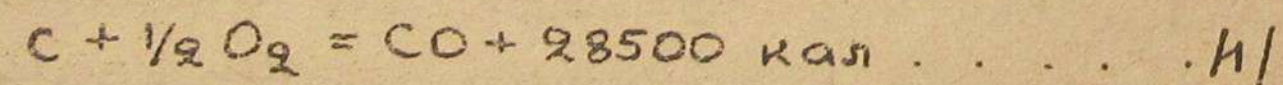
Рис. 4. Схема обращенного процесса.

сверху и также плавно спускает вниз. Воздух подводится на высоте 300-500 мм. от решетки в центре или по периферии, пройдя сквозь отверстия, фурмы или щель. Топливо во время пребывания в бункере до соприкосновения с воздухом слегка нагревается и подсушивается. Водяные пары вместе с топливом проходят зону горения, где происходит образование окиси углерода CO и угольной кислоты CO_2 .

Кроме того в зоне окисления происходит частичное разложение водяного пара с образованием CO и водорода H_2 , разложение и частичное сгорание продуктов сухой перегонки. Полученные газообразные продукты вместе с водяным паром направляются вниз, проходя сквозь слой раскаленного угля, который служит для восстановления части углекислоты в окись углерода. Состав газа, выходящего из генератора, определяется химическим равновесием между отдельными компонентами в соответствии с температурой газового потока. Газ вместе с водяным паром отсасывается над или под горизонтальной решеткой и направляется в очистительную систему. Высоту от уровня подвода воздуха до выхода газа из слоя угля, зона окисления плюс зона восстановления — называют высотой активного слоя.

Реакции протекающие в газогенераторе.

Главными исходными являются экзотермические реакции взаимодействия углерода с кислородом воздуха



Существуют два мнения по вопросу горения углерода. Одни считают, что углерод горит сначала в окись по реакции 1, а окись догорает

уже в углекислоту по реакции 2, другие допускают, что углекислота образуется только по реакции 3. Независимо от пути образования углекислоты количество ее изменяется в зависимости от температуры и находится в равновесии с количеством CO.

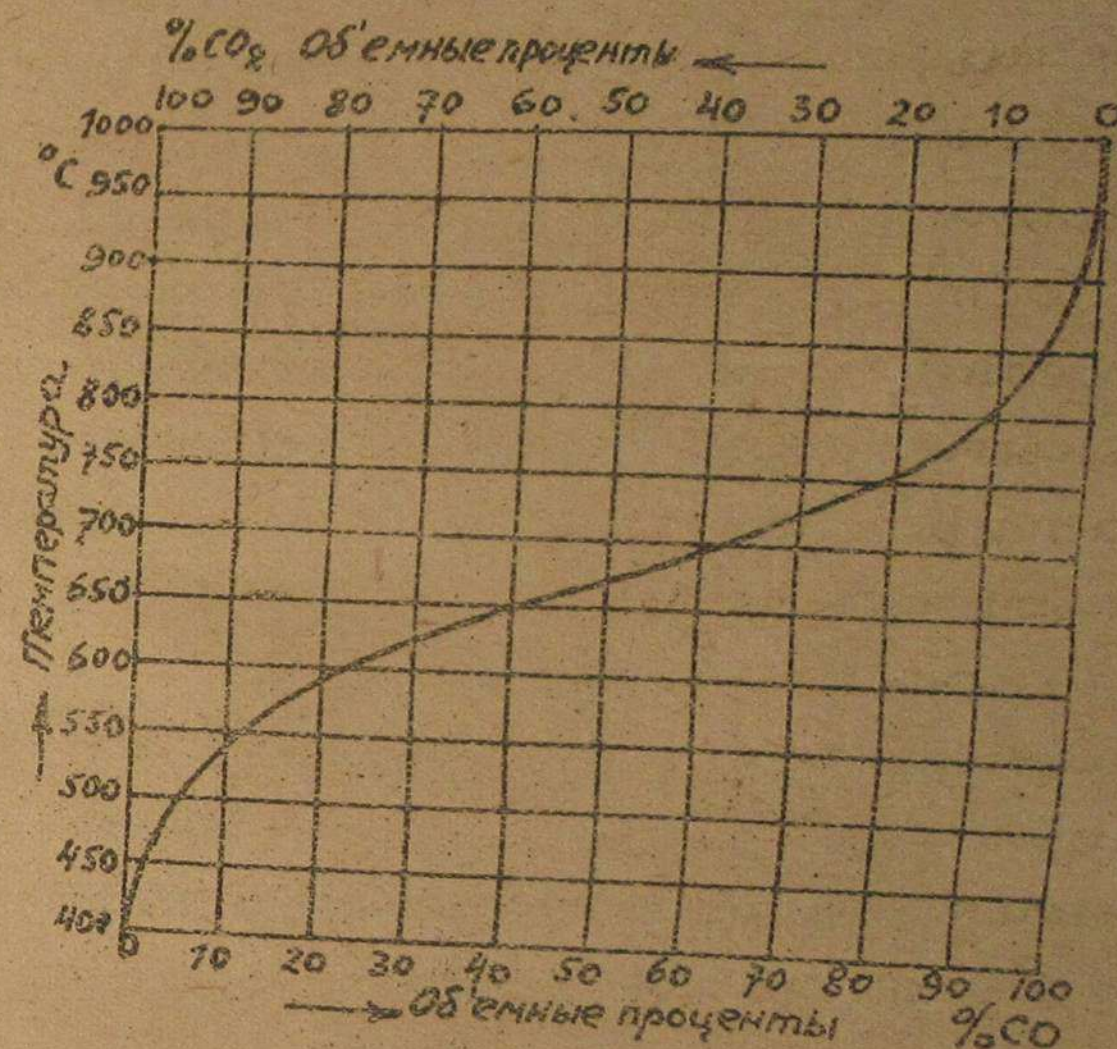
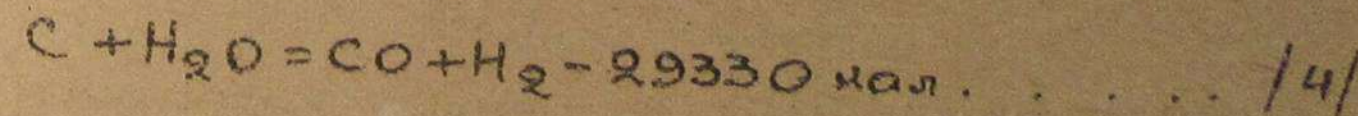


Рис. 5.
Равновесие CO_2 и CO в зависимости от температуры.

Одновременно с этим при обратном процессе или при паровоздушном дутье в прямом процессе протекают эндотермические реакции образования водяного газа — разложения водяного пара углеродом



Равновесие водяного пара и водорода изображено на рис. 6.

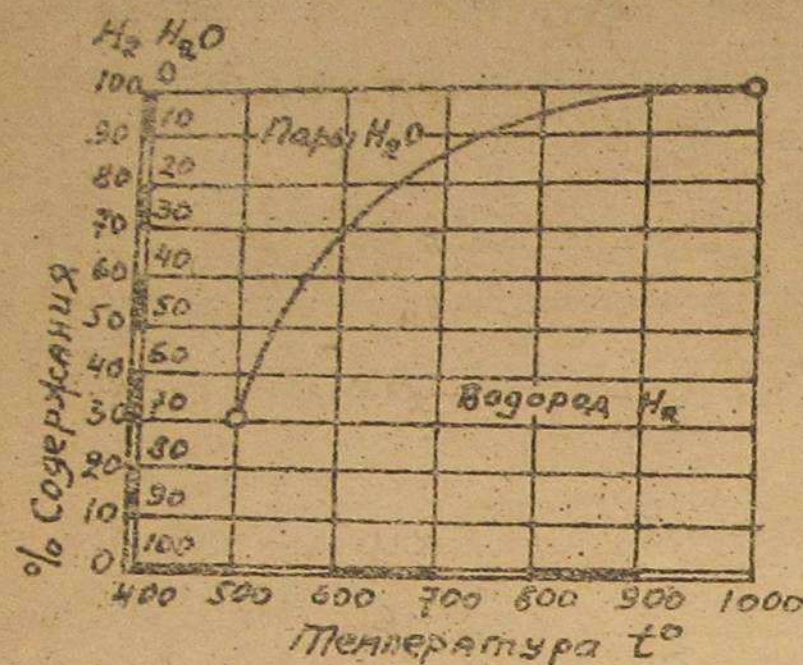
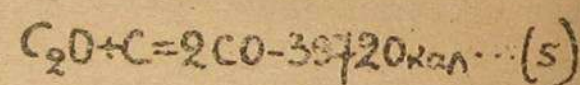


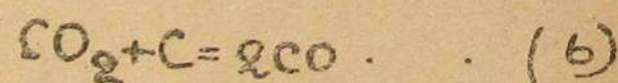
Рис. 6

Равновесие H_2O и H_2 как функция температуры

В зоне восстановления, где свободного кислорода очень незначительно или совсем нет, протекают обратные реакции, из которых наиболее важной является восстановление углекислоты до окиси.



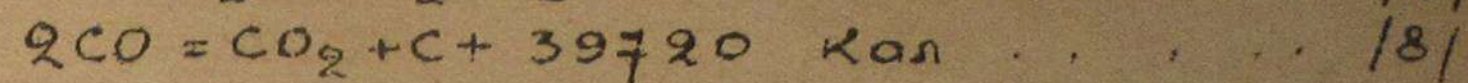
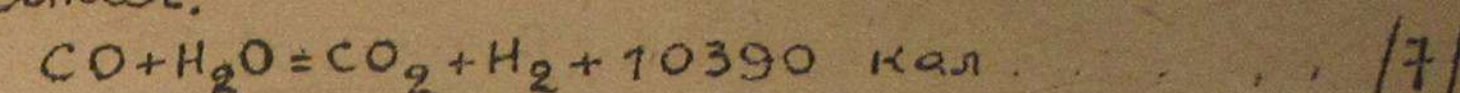
Реакция 5 обратимая, поэтому более правильно изображать ее не равенством, а стрелками



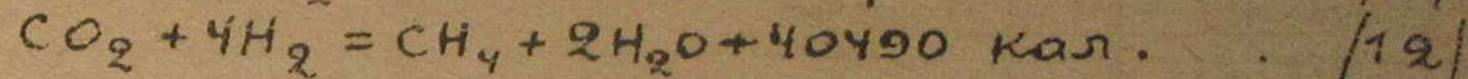
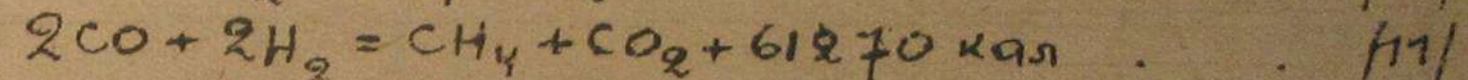
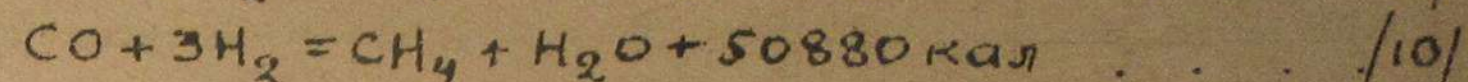
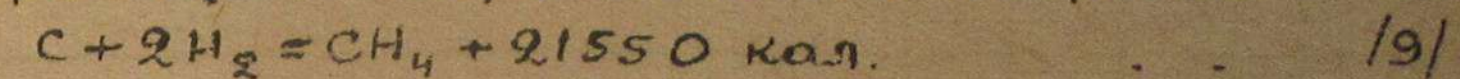
при этом тепловой эффект будет как положительный, так и отрицательный. Эндотермические реакции вызывают падение температуры в шахте генератора, что в свою очередь возбуждает реакции идущие с выделением тепла. Принцип Ле-Шателье гласит, что „всякое изменение величины определяющей равновесие системы вызывает такое изменение в ней, которое стремится препятствовать изменению этой величины”

К числу реакций, которые сопровождаются выделением тепла и препятствуют падению температуры

относятся:



и все реакции образования метана



Образование метана по реакции 10, 11 и 12 идет примерно при 400° . Указанные реакции, обратимые и при высоких температурах метан образовавшийся в процессе сухой перегонки разлагается на свои составные части, углерод и водород и сопровождается поглощением тепла. Равновесие метана и водорода в зависимости от температуры по данным Майера и Альтмейера изображено на рис. 7 и в таблицах 5 и 6.

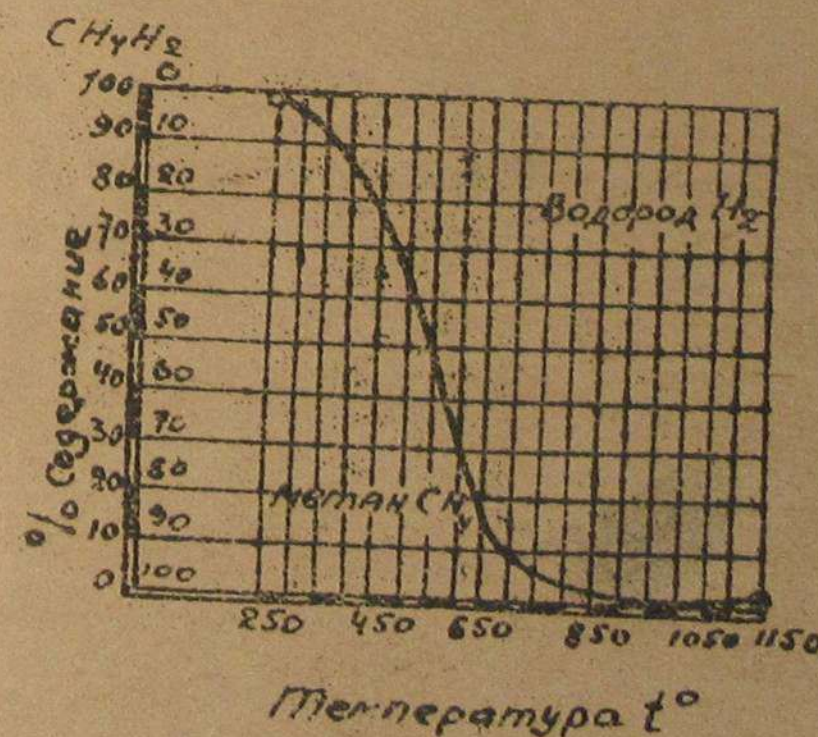


Рис. 7

Равновесие CH_4 и H_2 в зависимости от температуры.

Таблица 5.

Равновесие по реакции $\text{CH}_4 \rightleftharpoons \text{C} + 2\text{H}_2$

Температура		Состав газа в объемных процентах	
по Цельсию	Абсолютная	CH_4	H_2
250	523	98,79	1,21
300	579	96,90	3,10
350	623	93,12	6,88
400	673	86,16	13,84
450	723	76,80	23,20
500	773	62,53	37,47
550	823	46,59	53,41
600	873	31,78	68,22
650	923	19,03	80,97
700	973	11,07	88,93
750	1023	6,08	93,92
800	1073	4,41	95,59
850	1123	1,59	98,41
1000	1273	0,5	99,5
1100	1373	0,2	99,8
1150	1423	0,1	99,9

Таблица 6.

Равновесие по реакции $2\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{CH}_4$

Температура абсолютная	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
1000	43,06	43,06	6,94	6,94
1100	48,10	48,10	1,90	1,90

Граф. Доброхотов принимает величину константы равновесия реакции водяного газа [7] для нормального режима генератора равной

$$K = \frac{\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}}{\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2} = 1,7 \sim 2,5$$

Ган дает следующую таблицу.

Таблица 7.

Равновесие $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Температура по Цельсию	$K = \frac{\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}}{\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2}$	K, вычислен- ное при константе $= 2,4506$	Процентное содержание, отвечающее равновесию, найденному из опыта			
			CO_2	CO	H_2	H_2O
686	0,53	0,57	49,3	18,7	13,3	18,7
786	0,84	0,86	42,3	22,1	13,5	22,1
886	1,20	1,19	11,6	23,8	40,8	23,8
986	1,57	1,55	22,0	21,4	22,0	34,5
1005	1,62	1,62	-	-	-	-
1086	1,95	1,92	20,6	35,6	20,8	35,6
1205	2,13	2,33	21,4	29,6	19,4	29,6
1405	2,49	2,96	28,5	29,5	12,5	29,5

Преимущества прямого процесса.

Наличие противотока горячего газа и твердого топлива теоретически позволяет использовать для целей газификации топливо любой влажности и больших размеров. Практически влажность топлива редко превышает 50%. Размеры кусков определяются характером топлива и необходимостью избежать заклинивания в генераторе. Подвод воздуха под решетку обеспечивает равномерную работу по сечению генератора. Высота зоны окисления и восстановления переменная, изменяющаяся в соответствии с производительностью установки в данный момент, что обеспечивает устойчивость процесса и незначительные изменения состава и калорийности газа. Выходящий из генератора газ, проходя сквозь слой топлива вверх, теряет значительную часть метановых примесей; при этом гидравлическое сопротивление самого слоя сравнительно не большое. В стационарных установках прямой процесс применяется для газификации любого топлива: торфа, каменного угля, дров и т.д. при этом как правило очистка газа сопровождается выделением и утилизацией побочных продуктов, образовавшихся при процессе сухой перегонки: смолы, уксусной кислоты, фенолов и др., что значительно снижает стоимость самого газа. В условиях транспорта, где единственным продуктом должен быть газ, применение прямого процесса для газификации смолистых топлив - торф, дрова не может

иметь место, так как очистка газа потребовала бы дополнительных агрегатов, не гарантируя при этом полного отделения смолы.

В транспортных установках прямой процесс применяется для газификации хорошо обожженного древесного угля или кокса. Во избежание остановок двигателя, вследствие засоса воздуха, при загрузке топлива бункер должен иметь второй затвор (рис. 3).

Особенности обратного процесса.

Впервые принцип „обратного горения“ был применен Эбелманом в 1842 г. в Австрии. Основное назначение обратного процесса - обеспечить полное разложение твердого топлива и в особенности всех жидких погонов (смолы и др.). Разрешение задачи - получения бессмольного газа, вызывает не мало трудностей и при обратном процессе в особенности при повышенной влажности топлива 20-30% и пониженных мощностях и малых оборотах двигателя.

Так как влага топлива проходит через зону окисления, то повышенное ее содержание снижает температуры, а тем самым не обеспечивает полное разложение смолы. Понижение температуры в зоне окисления и, как следствие, опасность засмоления двигателя, возможно при длительной работе двигателя на холостом ходу или при небольших оборотах.

Ограничение влажности применяемого топлива до 20-25% есть первый существенный

недостаток обратного процесса.

Высокие температуры в зоне окисления могут быть обеспечены высокой форсировкой. Обычно форсировка в транспортных генераторах для древесного топлива колеблется от 300-900 кг/м² час.

Это в свою очередь приводит при установках малых мощностей в 30-60 л.с. к небольшим размерам шахты-топливника. Краткое время пребывания топлива в зоне высоких температур в виду малых размеров шахты и больших форсировок, требует высокой активности самого твердого топлива. Нагрев топлива, подсушка и термическое разложение, а также реакции окисления, восстановления и разложения водяного пара происходит на поверхности куска. Тем больше отношение поверхности к объему, тем активнее топливо. Мелкое топливо обладает большей относительной поверхностью, чем крупное. Почти полной поверхности топлива в слое следует разложить "свободную" поверхность, омываемую воздухом-газом.

Ребристое топливо склонно к слеживанию своими гранями, что приводит к уменьшению свободной поверхности по сравнению с полной. На правильный ход генератора одинаково вредно влияет как слеживание так и заклинивание топлива, приводящее к образованию пустот в слое, а следовательно и к неравномерной работе по сечению. С этой точки зрения наилучшей формой топлива было бы шарообразное, хотя шар имеет наименьшую поверхность при одном

и тем же объеме по сравнению с другими геометрическими фигурами. У шаровидного слоя топлива вся поверхность является "свободной", т.к. соприкосновение шаров происходит только в отдельных точках, при этом промежутки между шарами постоянны, что обеспечивает нормальное и равномерное движение газа по всему сечению.

На рис. 8 изображен слой топлива из шаров равных диаметров

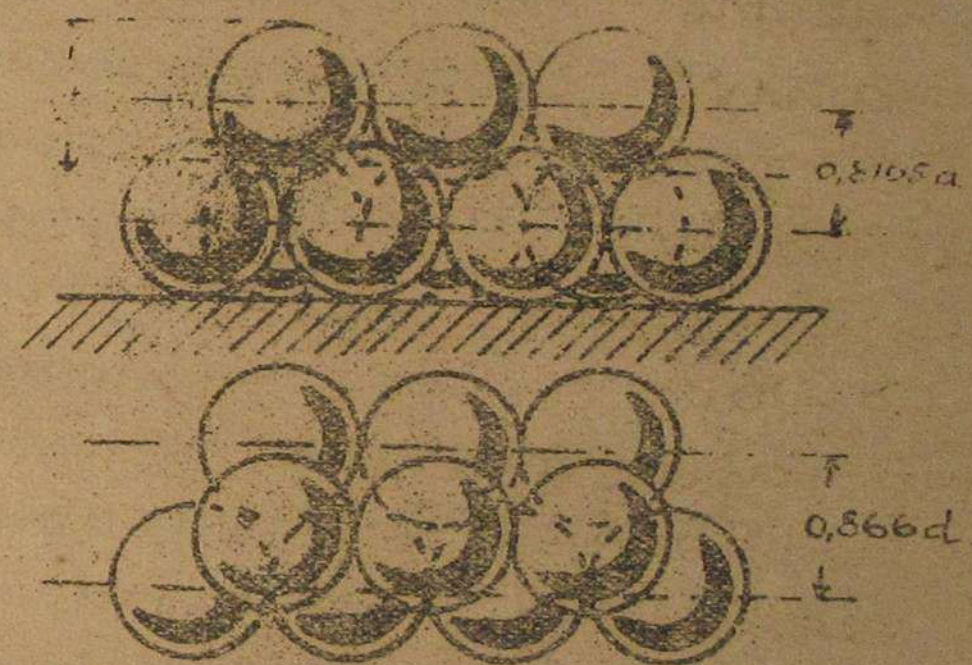


Рис. 8.

Расположение слоя шаров равных диаметров.

На практике приходится применять топливо в виде кубиков, призм, цилиндров, или частей цилиндров. Увеличение поверхности куска топлива не обеспечивает при этом большей свободной поверхности слоя. Однако тем мельче топливо, тем равномерней оно укладывается в слое и различные формы меньше сказываются. Применение древесных чурок небольших размеров - 60-110 мм в длину и 20x30 - 50x60 мм по сечению второй

недостаток обратного процесса.

В отличие от прямого процесса - в газогенераторах с обратным процессом высота активного слоя строго фиксирована, что отражается на составе и калорийности газа при изменениях режима работы двигателя.

Подарка воздуха по периферии или в центре сквозь слой топлива - не обеспечивает равномерное распределение его по всему сечению.

Движение газа и топлива в одном направлении ведет к слеживанию слоя мелкого угля с золой и повышению гидравлического сопротивления, что отражается на общем разряжении в системе и на мощности двигателя. Открывание крышки для загрузки топлива в газогенератор на ходу, как правило не отражается на работе двигателя, так как попавший воздух все равно должен пройти активный слой. Недостатки обратного процесса и трудности их преодоления не исключают его применения при газификации смолистых топлив - древесины. Правильно сконструированный газогенератор в значительной степени уменьшает последствия недостатков обратного процесса и обеспечивает нормальную работу двигателя.

Высокоскоростная газификация.

Работы Института азота особенно ценны тем, что вносят известную ясность в вопрос о том, как горит углерод при известных условиях - температуры и скорости - можно

добиться получения непосредственно CO, что исключает необходимость иметь высокий слой топлива для восстановления углекислоты. Полученный газ из активированного древесного угля содержал около 30-32% CO и около 1,5% CO₂. Лабораторные работы по высокоскоростной газификации открывают большие перспективы перед газогенераторной техникой. Требование более высокой активности топлива потребует дальнейшего уменьшения размеров куска.

Конструкции газогенераторов транспортного типа.

Известные несколько десятков конструкций газогенераторов имеют много общего между собой, что облегчает их изучение и позволяет распределить по нескольким группам в соответствии с их главными характерными особенностями.

Рассматривая древесные и древесно-угольные газогенераторы мы можем распределить их на группы по следующим признакам:

- 1/ По топливу и процессу газификации:
 - а) Древесный уголь. Прямой и обратный процесс газификации;
 - б) Древесина. Обратный процесс газификации.

2/ По форме и конфигурации шахты-топливника

- а) Призматическая с незначительным умень-

меньше сечения (выступом) в нижней части. Сюда относятся газогенераторы Шарль Ру, ОКБ-8.

б) В виде усеченной четырехгранной пирамиды с меньшим сечением книзу для газификации швырка. Конструкция ЦНИИ Лесосплава - Кузнецова.

в) Цилиндрическая. Газогенераторы конструкции проф. Наумова для древесного угля У-5, У-6 и для древесины - НАУ-6, газогенераторы Рекс, Сагам, ЦНИИВТ.

г) В виде усеченного конуса с меньшим сечением книзу. Для древесного угля газогенераторы системы проф. Карпова, Рено, Ленингр. Индустриального Института и для древесины - газогенераторы Дейц, Кромаг-Сагам, НАТИ-4, "Пионер" - Декаленкова.

д) Специальной формы. Газогенераторы Имберт, Берлие, Автодор-2, НАТИ, Автодор-1 или М.С.В-84 - Моссудоверфи.

3/ По материалу шахты-топливника:

а) Металлические литые. Из специальной жароупорной стали - газогенераторы Рено, Имберт, Берлие, Дейц, Кромаг-Сагам, НАТИ-3 и из чугуна "Пионер" - Д-6, Д-8.

б) Металлические стальные сварные. Газогенераторы Ленингр. Индустриального Ин-та, ЦНИИМЭ - проф. Ветшинкина.

в) Керамические. Специальные в виде готовых колец, газогенераторы проф. Наумова.

У-5, У-6, НАУ-6, В-4 - Введенского. Отдельными кирпичиками специальной формы - Автодор-1 или МСВ-84. Обмуровка топливника специальным составом - газогенераторы Рекс, Сагам проф. Карпова и огнеупорным кирпичем - ЦНИИВТ.

4/ По способу воздуха в шахту:

а) Периферийный подвод посредством щели - газогенераторы "Пионер" - Декаленкова, В-4 Введенского. Подвод при помощи одного ряда фурм - газогенераторы НАТИ, Автодор, ЦНИИВТ, Берлие, Имберт, Рекс, НАУ-6 и по двум рядам фурм - Сагам, ЦНИИМЭ - Ветшинкина.

б) Центральный подвод - газогенераторы Рено, Ленингр. Индустр. Ин-та, Кромаг-Сагам.

в) Комбинированный подвод - периферийный и центральный - газогенератор Дейц.

5/ По подогреву воздуха:

а) Интенсивный подогрев генераторным газом - газогенераторы Берлие, Имберт, Кромаг-Сагам, ЦНИИВТ, НАТИ-4, ЦНИИМЭ - Ветшинкина, Рекс, Автодор-2.

б) Слабый подогрев за счет охлаждения шахты - газогенераторы Сагам, У-5, У-6, НАУ-6, "Пионер", Д-6, Д-8 и проф. Карпова.

Детальное рассмотрение конструкций отдельных узлов потребовало бы терпеливой газогенераторов и не представляет особых затруднений даже для мало опытного работника в деле газификации. Более важным, поэтому, является

рассмотрение конструкции с точки зрения Технологии самого процесса газификации в газогенераторах транспортного типа. Технологический разбор возможен лишь после выявления основных расходных коэффициентов - удельный расход топлива, воздуха или других показателей скорости воздуха-газа и температуры в различных точках. Указанные величины могут быть получены посредством, правда приближенного, расчета процесса, однако вполне достаточного для практических целей.

Технологический расчет

Для лучшего сравнения и использования полученных величин при разборе различных конструкций материальный расчет произведем на единицу. Наиболее распространенной в практике измерения древесины единицей может служить 1 кг. рабочего топлива.

Топливом является смесь: 50% сосны и 50% ели.

Размер древесных турок $120 \times 40 \times 50$ мм.

Влажность рабочего топлива $W = 20\%$

Зольность топлива (по таблицам)

по отношению к рабочему составу $A = 1\%$

Состав органической массы разных пород дров

Таблица 8.

Порода дров	Содержание в %		
	С	Н	О+Л
Дуб	50,0	6,05	43,95
Береза	49,4	6,3	44,3
Липа	49,4	6,8	43,8
Осина	50,3	6,3	43,4
Ива	50,3	6,27	43,43
Сосна	50,2	6,0	43,8
Ель	49,6	6,4	44,0

Средний состав органической массы смеси принимаем следующий:

Углерода С - 50,0 %

Водорода Н - 6,2 %

Кислорода О - 42,8 %

Азота Л - 1,0 %

100,0 %

Балласт - вода и зола составляют в сумме 21% следовательно на долю органической массы падает:

$$100 - 21 = 79\%$$

Умножая органический состав на 0,79, находим содержание углерода, кислорода, азота и водорода в рабочем топливе.

Рабочий состав топлива

Углерода	С _p	- 39,5 %
Водорода	H _p	- 4,9 %
Кислорода	O _p	- 33,8 %
Азота	N _p	- 0,8 %
Золы	A	- 1,0 %
Влаги	W	- 20,0 %
		<u>100,0 %</u>

Низшую теплотворную способность рабочего топлива определяем по ф-ле Менделеева:

$$Q_H = 81 \cdot C_p + 246 \cdot H_p - 26 O_p - 6 W$$

подставляя вместо букв процентные значения имеем

$$Q_H = 81 \cdot 39,5 + 246 \cdot 4,9 - 26 \cdot 33,8 - 6 \cdot 20 \approx 3430 \text{ кал/кг}$$

Прежде чем перейти к дальнейшему расчету необходимо сделать два допущения:

1. Принимаем, что древесина нацело газифицировалась
 2. Влагосодержанием воздуха пренебрегаем.
- Средний объемный состав сухого газа по данным ЦНИИВТ'а следующий:

Окись углерода	CO	- 19,05 %
Метан	CH ₄	- 1,95 %
Водород	H ₂	- 14,62 %
Углекислота	CO ₂	- 11,93 %
Кислород	O ₂	- 0,48 %
Азот	N ₂	- 51,97 %
		<u>100,00 %</u>

Низшая теплотворная способность 1 м³ газа (при 0° и 760 мм.рт.ст.) составляет:

Окись углерода CO - 3045 кал.

Водород - H₂ - 2580 кал

Метан - CH₄ - 8517 кал.

Теплотворная способность полученного генераторного газа будет:

$$Q_p = 3045 \text{ CO} + 2580 \text{ H}_2 + 8517 \text{ CH}_4 = 3045 \cdot 0,1905 + 2580 \cdot 0,1462 + 8517 \cdot 0,0195 \approx 1125 \text{ кал/м}^3$$

Выход газа с 1 кг. рабочего топлива определяем по углеродному балансу.

Находим весовое содержание углерода в 1 м³ сухого газа

$$C_r = \frac{12}{22,4} / 0,1905 + 0,0195 + 0,1193 / \approx 0,176 \text{ кг.}$$

В скобках объемное содержание углерода в 1 м³ сух. газа

12 - атомный вес углерода

22,4 - молекулярный объем.

Отношение содержания углерода в рабочем топливе к углероду в газе определяет выход сухого газа

$$E = \frac{C_p}{C_r} = \frac{0,395}{0,176} \approx 2,25 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Аналогично предыдущему по азоту находим теоретический расход воздуха для газификации 1 кг. рабочего топлива.

В 1 м³ сухого газа содержится азота

$$N = \frac{28}{22,4} \cdot 0,5197 \approx 0,65 \text{ кг.}$$

28 - молекулярный вес азота

0,5197 - объемное содержание азота в 1 м³ сух. газа.

Содержание азота, считая на 1 кг. рабочего топлива будет / умножая на выход газа /
 $N_r = N \cdot E = 0,65 \cdot 2,25 \approx 1,463 \text{ кг.}$

По разности азота в газе и в рабочем топливе находим:

Количество азота поступившего из воздуха
 $N_g = N_r - N_p = 1,463 - 0,008 = 1,455 \text{ кг. или } 1,16 \text{ м}^3$

Соответственно кислорода из воздуха поступило

$$O_g = \frac{23}{77} \quad N_g = \frac{23}{77} \cdot 1,455 \approx 0,435 \text{ кг. или } 0,3 \text{ м}^3$$

Таким образом расход воздуха на 1 кг. рабочего топлива составит

$$V_g = 1,455 + 0,435 = 1,89 \text{ кг.}$$

или

$$V = 1,16 + 0,30 = 1,46 \text{ м}^3 / 0^\circ \text{ и } 760 \text{ мм.}$$

Влажность генераторного газа.

Содержание влаги в газе определяем по водородному балансу

В газ и во влагу газа поступает водород:

1. Из сухой части топлива - $H_p = 0,049 \text{ кг.}$

2. Из влаги топлива (0,2:9) - $0,022 \text{ кг.}$

Всего $H_r = 0,071 \text{ кг.}$

В 1 м³ сухого газа содержится водорода

$$H = \frac{2}{22,4} (0,1462 + 2 \cdot 0,0195) \approx 0,017 \text{ кг.}$$

2 - молекулярный вес водорода.

Что составляет на 1 кг. рабочего топлива

$$H_r = E \cdot H = 2,25 \cdot 0,017 \approx 0,042 \text{ кг.}$$

По разности общего количества водорода поступившего в генератор и его содержанию в газе находим сколько водорода перешло во влагу газа

$$H_b = H_r - H_g = 0,071 - 0,042 = 0,029 \text{ кг.}$$

Откуда самой влаги в газе будет в 9 раз больше

$$V_1 = 9 \cdot H_b = 9 \cdot 0,029 = 0,261 \text{ кг. / кг. Р.Т.}$$

Что составляет на 1 м³ сухого газа

$$V_2 = V_1 : E = 0,261 : 2,25 = 0,116 \text{ кг. / м}^3 \text{ сух. газа}$$

или

$$V_3 = V_2 : \gamma = 0,116 : 0,804 = 0,144 \text{ м}^3 / \text{м}^3 \text{ сух. газа}$$

Точка росы водяного пара $\sim 51^\circ \text{C.}$

/см. приложение 2 таблица 16/

Аналогично ранее произведенным подсчетам находим содержание кислорода в газе.

В 1 м³ сухого газа кислорода

$$O = \frac{32}{22,4} (0,0048 + 0,1193 + 0,5 \cdot 0,1905) \approx 0,314 \text{ кг.}$$

32 - молекулярный вес кислорода, что составляет на 1 кг. рабочего топлива

$$O_r = O \cdot E = 0,314 \cdot 2,25 \approx 0,707 \text{ кг.}$$

Правильность произведенных подсчетов проверяем составлением сводного материального баланса на 1 кг. рабочего топлива

Наименование статей	С	Н	О	Ж	А	Всего
<u>Приход</u>						
Сухая часть топлива	0,395	0,049	0,338	0,008	0,010	0,80
Влага топлива	—	0,022	0,178	—	—	0,20
Воздух	—	—	0,435	1,455	—	1,89
Итого	0,395	0,071	0,951	1,463	0,010	2,89
<u>Расход</u>						
Сухой газ	0,395	0,042	0,707	1,463	—	2,607
Влага газа	—	0,029	0,232	—	—	0,261
Зола	—	—	—	—	0,010	0,010
Итого	0,395	0,071	0,939	1,463	0,010	2,878

Неувязка только по кислороду на 0,012 кг или 0,37%, что вполне приемлемо для точности практического подсчета

Удельный расход генераторного газа определяется по ф-ле

$$V_r = \frac{632}{\eta_{эф} Q_r} = \frac{632}{0,2 \cdot 1125} = 2,8 \text{ м}^3/\text{э.л.с.г.}$$

632 кал. эквиваленты 1 л.с.г.

$\eta_{эф}$ — эффективный к.п.д. двигателей работающих на генераторном газе 0,18-0,2.

Теоретический расход рабочего топлива при этом будет

$$q = \frac{V_r}{E} = \frac{2,8}{2,25} \approx 1,25 \text{ кг/э.л.с.г.}$$

Практический расход топлива легко определить, приняв недожог и механический унос порядка 1,5-2%

Расход топлива на 1 л.с. для различных топлив ориентировочно можно принимать следующий

Дрова 1,0-1,3 кг.

Древесный уголь — 0,55-0,7 кг.

Карбонит 0,45-0,5 кг.

Каменный уголь — 0,5-0,6 кг.

Мелкозернистый антрацит — 0,3-0,4 кг.

Памятка для критического разбора газогенератора транспортного типа, работающего на дровах.

Суждение о том или ином газогенераторе можно представить, рассмотрев и ответив на 12 основных вопросов, соблюдая рекомендацию ниже последовательность.

1/ По мощности развиваемой данным двигателем на генераторном газе и удельному расходу топлива определяется часовой расход топлива на установку.

2/ По диаметру зеркала горения /уровень подвода воздуха/ и расходу топлива находят форсировку — напряжение зеркала горения. Обычно в практике она изменяется для древесных тупок от 300 до 900 кг/м² час. форсировка дает возможность судить о температурах в зонах окисления и восстановления.

3/ Скорость подвода воздуха в шахту



зависит от суммарного сечения отверстий фурм или щели и от степени подогрева воздуха. Средний объемный расход воздуха для топлива влажностью 20-25% может быть принят равным $1,5 \text{ м}^3/\text{кг}$. / 0° и 760 мм /.

Скорость воздуха и способ подвода его позволяет судить о равномерности распределения по сечению шахты, а также о наличии не прогорающих мест. Рекомендуется принимать скорость воздуха порядка 30-45 м/сек.

4/ Производительность генератора по холодному газу / 0° и 760 мм / легко установить по расходу топлива и выходу сухого газа.

Выход газа обычно колеблется для средней влажности топлива от 2,0 до 2,3 $\text{м}^3/\text{кг}$ рабочего топлива.

5/ Общее влагосодержание генераторного газа зависит от влажности исходного топлива и температурного режима генератора. Для топлива влажностью 15-25% содержание влаги колеблется от 80 до 150 г/м³ сухого газа.

6/ Для определения времени пребывания газа в активном слое в соприкосновении с углем необходимо найти:

- а/ объем самой шахты
- б/ объем газового пространства /приняв коэффициент наполнения шахты углем - 0,5 /.
- в/ суммарный объем сухого газа и водяного пара при средней температуре в шахте.

О пределах колебания времени пребывания будет сказано ниже.

7/ Температура выхода газового потока 500-700 $^\circ\text{C}$ и диаметр отсасывающего патрубка определяют скорость, а расположение патрубка позволяет судить о степени уноса механических примесей - засорения газа. Скорость в патрубке рекомендуется порядка 20-25 м/сек.

8/ Время между загрузками определяют по емкости бункера, насыпному весу и расходу топлива. Практически период между загрузками принимают 1-2 часа.

9/ Емкость зольника позволяет судить о времени возможной работы генератора без чистки. Наполнение зольника зависит от способа отсоса газа и живого сечения решетки.

10/ Большое практическое значение имеют вопросы из какого материала сделан топливник, трудность изготовления, крепления и наконец стойкость его при высоких и переменных температурах в соприкосновении с раскаленным углем.

11/ Для эксплуатации имеет не малое значение легкость демонтажа и замены или ремонта отдельных частей.

12/ В условиях водного транспорта особое значение приобретает аккумуляция тепла шахтой или подогревом воздуха, что обеспечивает нормальную работу двигателя при пониженных мощностях, малых оборотах и повышенной влажности топлива.

Судовые газогенераторные установки

ЦНИИВТ'а и Моссудоверфи.

Справка о работе ЦНИИВТ'а по газогенераторам.

По заданию Наркомввода ЦНИИВТ в ноябре 1934 г. приступил к разработке типовых газогенераторных установок на 30, 60 и 120 л.с., работающих на дровах, применительно к двигателям Х.Т.З и Г.Т.З.

В начале 1935 г. были построены и испытаны газогенераторы на 30 и 60 л.с. с целью проверки правильности выбора основных параметров - форсировки и высоты активного слоя. Газогенераторы отличались только габаритами в соответствии с производительностью.

Подробное описание и снимок газогенератора первого варианта имеется в журнале "Судостроение" №5 за 1936 г.

Проведенные лабораторные испытания подтвердили в основном правильность выбранной форсировки 500-600 кг. в час на кв.м. сечения шахты и позволили уточнить высоту активного слоя.

При работе на топливе повышенной влажности значительно снижалась мощность двигателя. Лабораторные испытания были использованы при конструировании второго варианта газогенератора с интенсивным

подогревом воздуха за счет физического тепла генераторного газа. Такие газогенераторы участвовали в пробеге газохранилищ по маршруту Москва - Ленинград в 1935 г. Описание и снимок газогенератора ЦНИИВТ-2 имеется в журнале "Водный Транспорт" №8 - 1935 г.

При общей вполне удовлетворительной работе газогенераторов ЦНИИВТ'а в пробеге были выявлены и отдельные дефекты, которые были устранены в последней конструкции ЦНИИВТ-3. Недостатки, выявленные в пробеге, их устранение, а так же описание и снимок последнего типа газогенератора помещены в журнале "Водный Транспорт" №3 и "Судостроение" №5 за 1936 г.

Произведем разбор газогенератора ЦНИИВТ-3 в разрезе выше приведенной "памятки". Для этого приведем основные размеры, согласно рабочего чертежа.

Бункер.

Полная высота	1385 мм.
Высота цилиндрической части	1060 мм.
Высота конической части	325 мм.
Диаметр цилиндрической части	820 мм.

Шахта - цилиндрическая.

Диаметр наружный	640 мм.
Диаметр внутренний	370 мм.
Высота полная	800 мм.
Высота активного слоя	560 мм.
по средней линии вертикальной решетки	

Зольник

Диаметр 640 мм.

Высота 250 мм.

Общая высота газогенератора 2500 мм.

Вес около 370 кг.

Генератор предназначен для питания газом двигателя УТЗ конвертированного на газ. При сжатии сжатия 5,8 двигатель УТЗ развивает на газе в среднем 52 л.с., которые и примем для продолжения расчета.

Количество топлива газифицируемое в час

$$G = g \cdot N = 1,25 \cdot 52 = 65 \text{ кг.}$$

Практический расход, принимая потери - 2% составит $65 \cdot 1,02 = 66,3 \text{ кг/час.}$

Форсировка - напряжение генератора будет равна

$$G = \frac{g}{S} = \frac{65}{0,785 \cdot 0,37^2} \approx 605 \text{ кг/м}^2 \text{ час,}$$

что относит его к группе генераторов со средней форсировкой.

Подвод воздуха периферийный посредством фурм

число фурм $n = 12$

диаметр фурм $\phi = 10 \text{ мм.}$

Расход воздуха для газификации на всю установку составит

$$V_0 = B \cdot G = 1,46 \cdot 65 = 95 \text{ м}^3/\text{час} / 0^\circ \text{ и } 760 \text{ мм.}$$

Фактический секундный объем воздуха, принятая температура нагрева 150°C будет:

$$V_t = \frac{95 \cdot (273 + 150)}{3600 \cdot 273} \approx 0,041 \text{ м}^3$$

сечение всех фурм $S_n = 0,00095 \text{ м}^2$

Скорость воздуха в фурмах

$$\frac{V_t}{S_n} = \frac{0,041}{0,00095} \approx 43 \text{ м/сек.}$$

Указанная скорость обеспечивает достаточно равномерное распределение воздуха по сечению шахты.

Производительность генератора по холодному газу $/ 0^\circ \text{ и } 760 \text{ мм.}$ будет равна

$$W_0 = G \cdot E = 65 \cdot 2,25 = 146 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Содержание влаги составляет $0,144 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ сух. газа.}$

Всего влаги в газе:

$$B_0 = 146 \cdot 0,144 \approx 21 \text{ м}^3/\text{час} / 0^\circ \text{ и } 760 \text{ мм.}$$

Суммарный объем газа и водяного пара при 0°C.

$$W_0 + B_0 = 146 + 21 = 167 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Среднюю температуру в шахте можно принять равной 750°C . Секундный объем газа и водяного пара при этой температуре будет:

$$W_{t_1} + B_{t_1} = \frac{167 \cdot (750 + 273)}{3600 \cdot 273} \approx 0,174 \text{ м}^3$$

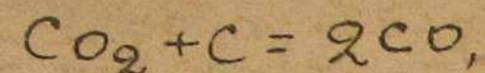
Объем шахты по высоте активного слоя $\sim 0,06 \text{ м}^3$, коэффициент заполнения углем колеблется около 0,5, тогда газовое пространство будет равно: $0,03 \text{ м}^3$. В этом пространстве генераторный газ с водяным паром будет находиться:

$$\Theta_1 = \frac{0,03}{0,174} \approx 0,172 \text{ сек.}$$

Достаточно ли это время для восстановления необходимого количества углекислоты в окис углерода, на этот вопрос сразу ответить трудно.

Однако, проверочный приближенный расчет произвести возможно.

Содержание CO в газе составляет 19,05%. Допустим, что все количество CO образовалось по реакции:



тогда выходит, что один объем углекислоты при восстановлении дает два объема окиси углерода. Таким образом всего углекислоты восстановилось:

$$\frac{0,1905 \cdot 146 \cdot 1000}{2 \cdot 3600} = 3,85 \text{ лит./сек.}$$

Скорость восстановления CO₂ в CO для условий газогенератора принимаем 6,6 лит/сек^{х)}

Время, необходимое для восстановления при этом будет равно:

$$\frac{3,85}{6,6} \approx 0,58 \text{ сек.}$$

Расхождение в 0,58 : 0,172 $\approx$ 3,4 раза. Это следует объяснить: во первых тем, что очевидно не вся окись углерода проходит путь восстановления из CO₂, известный процент образуется в зоне окислений при непосредственном соединении с кислородом воздуха; во вторых недостаточной точностью принятой скорости восстановления углекислоты в окись углерода.

Скорость газового потока в отсасываемой патрубке принимается порядка 25-30 м/сек.

х) Мезин, Черномордик, Седов. Легкие газогенераторы автотранспортного типа стр. 227.

Принимаем температуру выхода газа - 500°С. Тогда секундный объем при данной температуре:

$$W_{t_2} + B_{t_2} = \frac{167(500+273)}{3600 \cdot 273} \approx 0,13 \text{ м}^3$$

Диаметр патрубка принят 3" следовательно его сечение 0,00442 м², а скорость равна:

$$\frac{0,13}{0,00442} \approx 29,4 \text{ м/сек.}$$

В эксплуатации имеет значение вопрос, как часто надо загружать топливо. Очень высокий бункер делать не рекомендуется, так как это затрудняет загрузку, способствует образованию сводов, а следовательно ведет к частым шумовкам. Высота бункера связана с общей конфигурацией надстройки катера. Стремление все же удлинить промежутки между загрузками приводит к увеличению диаметра бункера по сравнению с наружным диаметром шахты. Объем бункера около 0,73 м³

Насыпной вес принимаем по таблице 9, учитывая влажность угля 20% равным 250 кг/м³.

Таблица 9

Род топлива	Насыпной вес в кг/м³	Влажность в %	Приблизительные размеры в мм.
Древесные турки:			
Сосна	220	12%	40x50x60
Ель	230		
Береза	270		
Бук	275		
Дуб	290		
Антрацит	700		Размеры применяемые в газогенераторах легкого типа
Бурый уголь	650-700		
Каменный уголь	700-750		
Карбонит	700-800		
Кокс газовый	300-400		
Торф сухой	300-350		
Торф сырой	400-500	16%	60x60x30
Торф брикетированный у. низинный	470		
Торфяной кокс	310		
Торфяной мусор у. пресованный	200-250	6%	50x40x40
Торф-брикет (орешек)	422	17%	Овал 34x20
Древесный уголь		6-8%	
Еловый	131		
Сосновый	148		
Березовый	190		

Запас топлива в бункере составляет:

$$250 \cdot 0,73 \approx 183 \text{ кг.}$$

Это обеспечивает работу установки при средней мощности в 52 л.с. с учетом потерь топлива на $183 : 66,3 = 2,76$ часа. Так как возможна работа двигателя в это время и на пониженной мощности, что соответственно увеличивает время между загрузками. Однако допускать до полного прогара нельзя, поэтому загрузка в данном случае может производиться через 1,5-2,0 часа.

В зольник попадает часть непрогазифицированного угля и зола, другая часть потерь уносится с газом в очистительную систему. О характере древесной золы дает представление таблица 10, которая показывает соотношение растворимой и нерастворимой частей золы и их состав.

Таблица 10

Состав золы	Сосна %	Ель %	Липа %	Береза %
Растворимая часть золы:				
Углекислые соли	2,80	7,76	2,96	2,72
Сернокислые соли	1,67	0,80	0,81	0,37
Хлористые соли	0,92	0,08	0,19	0,03
Кремнекислые соли	0,18	0,20	0,17	0,16
Поташ	4,41	16,80	6,55	12,72
Сода	3,53			
Всего:	13,51	25,64	10,68	16,00
Нерастворимая часть золы				
Углекислые соли	32,77	17,17	35,75	26,04
Фосфорнокислые соли	0,91	3,14	2,51	3,61
Кремнекислые соли	4,19	5,97	1,80	4,62
Известь	38,51	29,72	46,53	43,85
Окись магния	9,50	3,28	1,97	2,52
Окись железа	0,09	10,53	0,09	0,42
Окись марганца	0,36	4,48	0,54	2,94
Всего	86,33	74,29	89,19	84,00

Объем зольника необходимо рассматривать из условий непрерывной работы двигателя на газе с максимальной мощностью в течение 20-24 часов. Унос золы и угля газом сильно колеблется в зависимости от скоростей, устройства и расположения газоотсоса. Для упрощения расчета можно

допустить, что все механические примеси выделяются в зольнике. В течение 20 часов работы двигателя, согласно ранее приведенному расчету имеем:

1. Расход топлива на установку составит

$$20 \cdot 66,3 = 1326 \text{ кг.}$$

2. Золы выделится 1% - 13,26 кг.

3. Огачовых остатков 2% - 26,52 кг.

Всего - 39,78 кг.

Принимая средний удельный вес смеси золы и огачовых остатков равным 1,0 тогда необходимый объем зольника составит $\sim 0,04 \text{ м}^3$. Фактический объем зольника газогенератора ЦНИИВТ-3 равен $0,08 \text{ м}^3$, что в два раза превышает необходимый для 20 часовой работы.

Последние три пункта „памятки“ охватывают вопросы изготовления, монтажа и эксплуатации.

Наиболее ответственная часть газогенератора - шахта изнутри выкладывается огнеупорным кирпичем. Для этого требуется 22 кирпича. В остальной части газогенератор изготовлен из листового железа толщиной 2-3 мм. при помощи сварки. Вертикальная и горизонтальная решетки в газогенераторах, уластвовавших в пробе были изготовлены из железных прутков. По истечении 280 часов работы было отмечено обгорание и тенденция к прогибу. В связи с этим перешли на изготовление литых решеток из чугуна.

Два отсоса газа несколько усложняют установку; зато обеспечивают более равно-

мерную работу генератора по сечению. В генераторах участвовавших в пробеге газоотсасывающие патрубки ввинчивались в специально приваренные к среднему кожуху фланцы. Вследствие неправильного изготовления фланцы были приварены очень близко к внутреннему кожуху, что особенно сказалось на 30 сильной установке, в связи с тем проход газа был сильно затруднен. Применение резьбы при высоких температурах также не может быть признано желательным. В газогенераторе ЦНИИ ВТ-3 патрубки приварены к среднему кожуху и направлены по касательной, что увеличивает сечение в месте входа газа по сравнению с радиальным отсосом. Стремление обеспечить демонтаж, замену и ремонт диктует необходимость устройства вырезов в наружном кожухе под патрубками. Количество швов омываемых с одной стороны горячим газом, а с другой воздухом значительно уменьшено в последней конструкции. Внутренний кожух свободно одевается на вертикальную решетку, что обеспечивает возможность его удлинения, а также легкую замену решетки, если в этом будет необходимость.

Средний кожух под влиянием повышения температуры может удлиняться кверху, что предотвращает коробление. Горизонтальная решетка крепится к плите на шарнирах и опирается болтами в зольнике. Это позволяет легко и быстро очистить газогенератор от шлаков даже в горячем состоянии.

Вертикальная решетка свободно стоит на плите и служит опорой для футеровки. Основное назначение вертикальной решетки обеспечить переменную высоту между нижним концом футеровки и горизонтальной решеткой. Расстояние между решеткой и минимальной высотой слоя имеется во многих газогенераторах, оно несколько снижает дефект транспортных газогенераторов - постоянство активного слоя при переменной нагрузке. Попутно решетка уменьшает унос угля.

Газ отсасывается по периферии и увлекает механические примеси, часть которых выделяется из газового потока в связи с уменьшением скорости и высоким расположением патрубков. Выделившиеся механические примеси сквозь вырезы в плите попадают в зольник. Работа на повышенной влажности топлива и пониженных форсировках не опасна в виду большой аккумуляции тепла футеровкой и интенсивным подогревом воздуха. Главным образом из противопожарных соображений газогенератор снаружи изолируется слоем асбестита толщиной 20-30 мм.

Критический разбор газогенератора будет более полон, если определить к.п.д. Для этого необходимо составить тепловой баланс.

Избегая лишних арифметических подсчетов, ограничимся составлением баланса на 1 кг. рабочего топлива.

Тепловой баланс на 1 кг. рабочего топлива.

Приход.

1. Химическое тепло топлива	3430 кал.
2. Физическое тепло топлива и влаги при 20°C	3 "
3. Физическое тепло воздуха /считая нагрев до 150°C/	67 "
Итого	3500 кал.

Расход

1. Химическое тепло газа $1125 \cdot 2,25 =$	2531 кал.
2. Физическое тепло сухого газа при 500°C	383 "
3. Физическое тепло водяного пара при 500°C	216 "
4. Потери тепла в окружающую среду, на нагрев золы и пр. по разности.	370 "
Итого	3500 кал.

Термический коэффициент полезного действия газогенератора по холодному газу - 0°C.

$$\eta_T = \frac{Q_{г.Е}}{Q_H} = \frac{1125 \cdot 2,25}{3430} \approx 0,74.$$

Потери при этом составляют всего 10,6%.

Справка о работе Моссудоверфи по газогенераторам.

Впервые газогенераторными установками для Наркомвода занимался НАТИ. В 1933 г. на катере Моссудоверфи был установлен газогенератор

"НАТИ-3" автомобильного типа с двигателем ХТЗ. Для охлаждения и предварительной очистки применялись скруббера с коксовой насадкой. Вскоре работа целиком перешла в ведение самой верфи, которая продолжала приспособление газогенератора НАТИ к судовым условиям. Скруббер был заменен инжектором типа Кертинга.

Металлические шахты как литые из стали или чугуна, так и сварные не выдерживали высоких и переменных температур. Чугун после кратковременной работы покрывался трещинами и лопался, а стальные шахты прогорали. Сварные чаще всего давали трещины в швах. Опыт почти трехлетней работы Моссудоверфи показал, какая высокая огнестойкость требуется от материала, применяемого для топливника, и что в настоящее время нельзя ориентироваться на массовое внедрение газогенераторов, изготавливаемых из специальной стали.

В 1935 г. Моссудоверфь начала применять керамические ^{топливники}, однако конфигурация их сохранилась почти прежняя.

Первые образцы керамики, как показал пробег, оказались непрочными - покрывались трещинами и выкрашивались, в то время как шахта из огнеупорного кирпича покрывалась стекловидной массой и годна была для длительной работы.

Последний тип - газогенератор М.С.В.-84 по конфигурации шахты мало чем отличается от газогенератора известного под названием "Автодор-1".

Газогенератор МСВ-84 - Основные размеры.

Бункер.

Полная высота	-	1850 мм.
Высота цилиндрической части	-	1275 мм.
Высота конической части	-	575 мм.
Диаметр цилиндрической части	-	730 мм.

Шахта.

Диаметр на уровне фурм нижней части	-	300 мм.
Диаметр цилиндрической части	-	400 мм.
Высота полная	-	630 мм.
Высота активного слоя	-	570 мм.

Зольник.

Диаметр	-	730 мм.
Высота	-	200 мм.
Общая высота газогенератора около	-	2800 мм.
Вес газогенератора /согласно чертежа/	-	760 кг.

Избегая повторения предыдущего, воспользуемся ранее определенными основными расходными коэффициентами для критического разбора газогенератора МСВ-84.

Форсировка.

1. На уровне оси фурм:

$$G_1 = \frac{G}{S_1} = \frac{65}{0,785 \cdot 0,32} \approx 920 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

так как высота конусности равна всего 75 мм. с довольно резким переходом на цилиндр,

то полученное напряжение зеркала горения должно быть дополнено определением форсировки по отношению к большому сечению:

$$G_2 = \frac{G}{S_2} = \frac{65}{0,785 \cdot 0,42} \approx 515 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$$

Подвод воздуха - периферийный при помощи 16 фурм, из которых 4 направлены кверху под углом 10°. Диаметр фурм 8 мм. Воздух предварительно не подогревается, поэтому его температуру можно принять равной ~ 30°С.

Секундный объем воздуха при $t=30^\circ\text{C}$

будет

$$V_t = \frac{95 \cdot 1273 + 30}{3600 \cdot 273} \approx 0,029 \text{ м}^3$$

Сечение всех фурм

$$S_n = 0,0008 \text{ м}^2$$

скорость воздуха в фурмах.

$$\frac{V_t}{S_n} = \frac{0,029}{0,0008} \approx 36 \text{ м/сек.}$$

При диаметре шахты 300 мм. эта скорость может быть признана нормальной для равномерного распределения воздуха по сечению.

Объем шахты по высоте активного слоя составляет около 0,057 м³, аналогично предыдущему при той же производительности и средних температур время пребывания газа и водяного пара в соприкосновении с раскаленным углем будет равно:

$$\Theta_1 = \frac{0,0275}{0,174} = 0,158 \text{ сек.}$$

несколько меньше чем в газогенераторе ЦНИИВТ/а. Пересчета по скорости реакции восстановления углекислоты в окись углерода производить не будем, так как порядок величин тот же, что и

ранее полученный

Скорость газа в выходящем патрубке.

Диаметр патрубка - 4", сечение = $0,00785 \text{ м}^2$

При температуре выхода газа 500° и том же влагосодержании объем будет = $0,13 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Скорость $\frac{0,13}{0,00785} \approx 16,6 \text{ м/сек.}$

Емкость бункера и время между загрузками топлива.

Объем бункера $\sim 0,65 \text{ м}^3$

Запас топлива в нем $250 \cdot 0,65 = 162,5 \text{ кг}$, что обеспечивает работу двигателя примерно на 2-2,5 часа. Однако загрузки следует производить через каждые 1,5-2 часа

Объем зольника $\sim 0,08 \text{ м}^3$ такой же как в газогенераторе ЦНИИВТ'а

Шахта выложена из отдельных кирпичиков - три ряда. Сверху и снизу фасонные, а в середине по цилиндру. Толщина керамики в цилиндрической части составляет 30 мм. В остальном газогенератор состоит из простых материалов - листовое железо, уголки и др. Горизонтальная решетка тугоплавкая и состоит из отдельных частей отлитых по 2-3 колосника вместе.

Отсутствие подогрева воздуха позволяет значительно проще конструктивно оформить газогенератор тем то имеет место в данном случае. Переменная высота между минимальной высотой активного слоя и горизонтальной решеткой обеспечивается подвеской шахты.

Газ отсасывается через патрубок, расположенный примерно на 380 мм. над горизонтальной решеткой, но должно несколько уменьшить унос угля.

Назначение других деталей понятно из чертёжа и не требует пояснений.

Охлаждение, осушка и очистка генераторного газа в судовых условиях.

Охлаждение газа кроме увеличения коэффициента подачи должно содействовать его осушке, т.е. уменьшению влагосодержания, а следовательно еще большему повышению мощности двигателя. Осушка газа возможна лишь в том случае если его конечная температура будет ниже точки росы водяного пара, содержащегося в газе при выходе из генератора. Начальное влагосодержание газа колеблется около $0,1-0,25 \text{ кг/м}^3$, что соответствует насыщенному состоянию при $48-64^\circ\text{C}$. (таблица 16, приложение 2). Тем ниже будет температура газа, тем меньше его влагосодержание и следовательно тем меньше влаги поступит в цилиндры двигателя.

Охлаждение газа может быть осуществлено при помощи трубчатых теплообменников или непосредственным соприкосновением с водой. О воздушном охлаждении газа при наличии воды говорить не приходится.

Охлаждение газа в поверхностных холодильниках.

Наличие среды, отделяющей горячий газ от воды, вызовет уменьшение коэффициента теплопередачи, а тем самым потребуются повышенный расход воды, чтобы достигнуть более низкой температуры.

Горячий загрязненный газ, проходя по трубкам, будет выделять угольную пыль и золу и тем самым значительно повысит термическое сопротивление, которое вряд ли может быть полностью компенсировано повышенным расходом воды, протекающей между трубками. Изготовление холодильников и систематическая очистка труб также встречают трудности и неудобства.

Охлаждение газа непосредственным соприкосновением с водой, устраняет полностью указанные выше недостатки поверхностных холодильников. Вода, соприкасаясь с газом не только охлаждает, но и очищает его от более крупных частиц. Промывка газа водой ведет к частичному растворению всех его компонентов, причем растворимость углекислого газа во много раз больше других веществ входящих в состав генераторного газа, что видно из рис. 9 и 10.

Уменьшение количества CO_2 в газе способствует повышению калорийности рабочей смеси, а следовательно и мощности двигателя. Таким образом наряду с очисткой и охлаждением происходит и обогащение газа благодаря абсорбции углекислоты водой.

В стационарных газогенераторных установках и в коксохимической промышленности наиболее широко применяются для охлаждения и очистки газа скрубберы, которые одновременно выполняют роль абсорберов. До сих пор нет полного расчета скрубберов. Конструирование

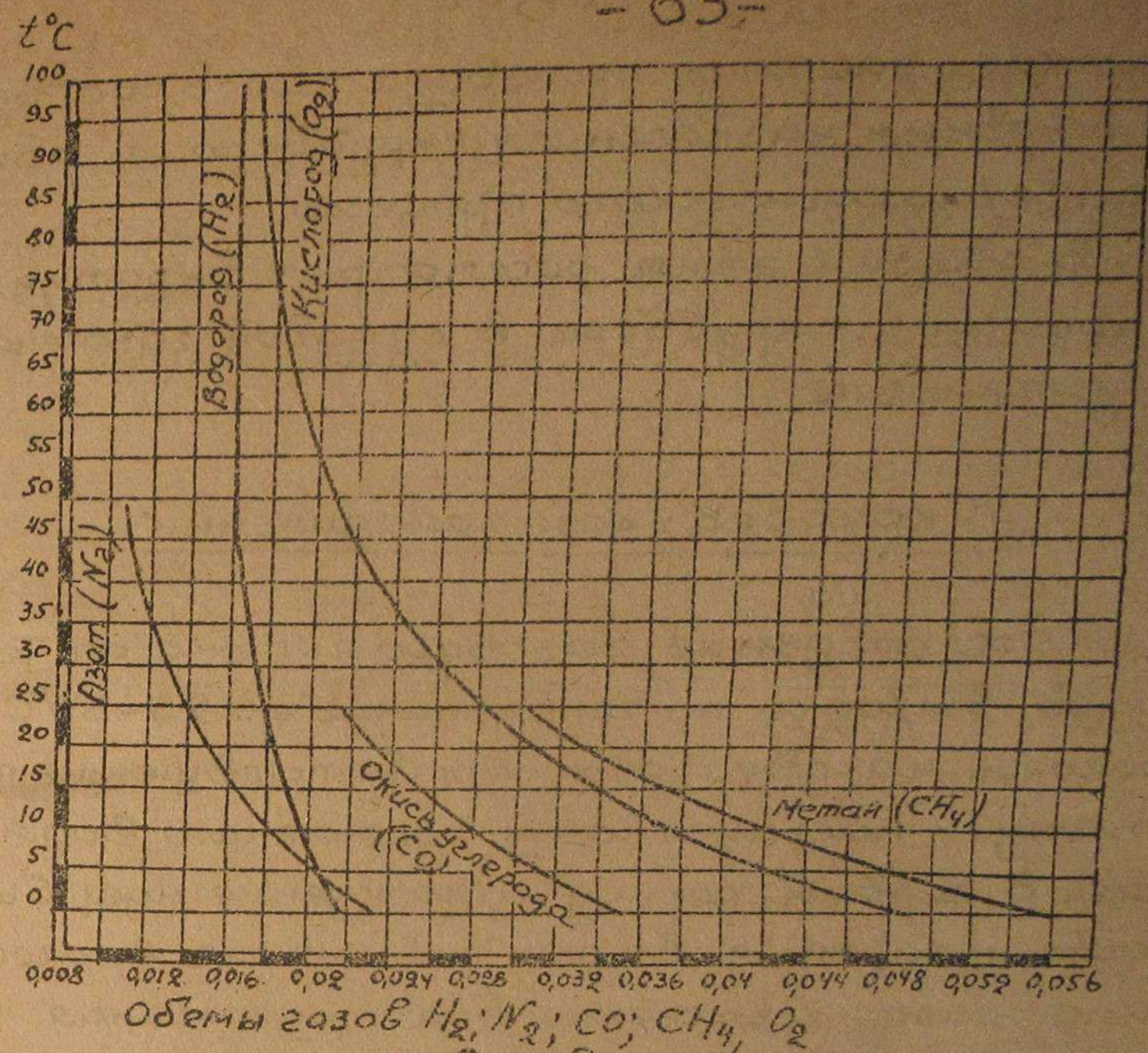


Рис. 9
Растворимость газов при парциальном давлении 760 мм. рт. ст.

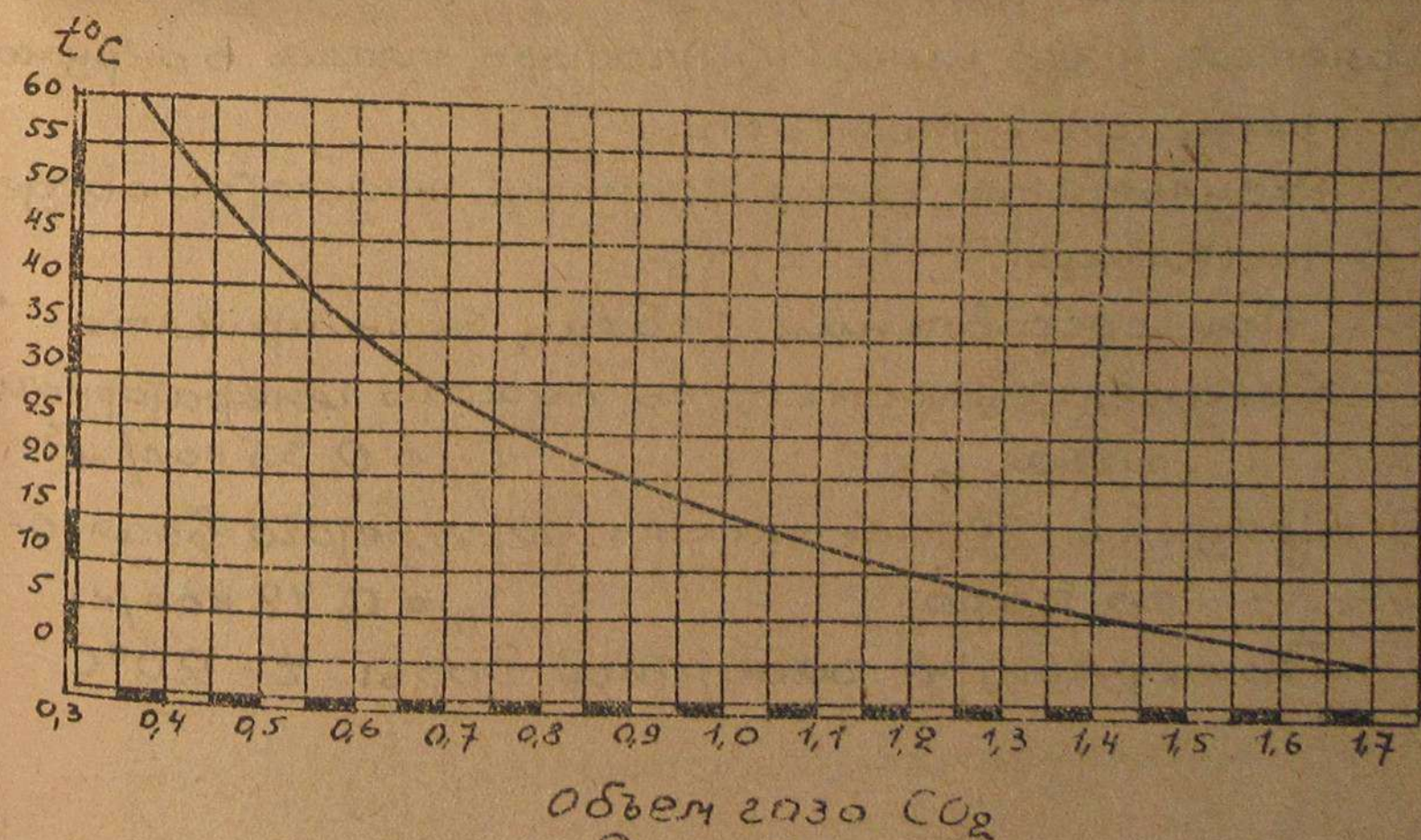


Рис. 10
Растворимость углекислого газа при парциальном давлении 760 мм. рт. ст.

и краткие расчеты производятся в соответствии с основным назначением скруббера в общей схеме технологического процесса.

В связи с этим рассмотрим вкратце все три функции скруббера в судовой газогенераторной установке.

Скруббер - как холодильник.

Охлаждение газового потока от температуры выхода из генератора до 25-30°C разбивается на две фазы, соответствующие перегретому и насыщенному состоянию водяного пара. В первый период охлаждения идет быстро за счет испарения воды и повышения влагосодержания газа. Изменение влагосодержания генераторного газа легко проследить, разбив весь интервал температур на несколько участков, допустив, что вся подведенная вода целиком испаряется и что никаких потерь тепла в окружающую среду при этом нет.

Результаты произведенных подсчетов сведены в таблицы 11, 12, 13.

При составлении таблиц было принято

1. Средняя теплоемкость сухого генераторного газа $C_r = 0,35 \text{ кал/м}^3$
2. Средняя теплоемкость перегретого водяного пара $C_p = 0,48 \text{ кал/кг}$
3. Температура заборной воды $t = 20^\circ\text{C}$.

Таблица 11

Увеличение влагосодержания газа при охлаждении от 550°C до точки росы водяного пара. Начальное содержание влаги 0,1 кг/м³.

Теплосодержание 1 кг. водяного пара при 70°C - 626,8 кал.

Охлаждение до температуры °C	при охлаждении необходимо отнять тепла - кал.			Испарится влаги в кг.	Конечное влагосодержание кг/м ³ .
	от 1 м ³ сухого газа	от влаги газа 0,1 кг/м ³	Всего		
500°	17,5	2,4	19,9	0,0327	0,1327
450	35,0	4,8	39,8	0,0656	0,1656
400	52,5	7,2	59,7	0,0983	0,1983
350	70,0	9,6	79,6	0,1311	0,2311
300	87,5	12,0	99,5	0,1639	0,2639
250	105,0	14,4	119,4	0,1967	0,2967
200	122,5	16,8	139,3	0,2295	0,3295
150	140,0	19,2	159,2	0,2623	0,3623
100	157,5	21,6	179,1	0,2951	0,3951
90	161,0	22,08	183,08	0,3017	0,4017
80	164,5	22,56	187,06	0,3082	0,4082
70	168,0	23,04	191,04	0,3148	0,4148

0,4148 кг/м³ фактически соответствует насыщению при -72°C.

Таблица 12

Изменение влагосодержания газа при охлаждении от 550°C до точки росы водяного пара, при начальном влагосодержании $0,15 \text{ кг/м}^3$ и $0,2 \text{ кг/м}^3$. Теплосодержание 1 кг водяного пара при 75°C — 629 кал .

Охлаждение температуры t, °C	При охлаждении необходимо отнять тепла кал.			Испарится влаги кг.	Конечное влагосодержание кг/м³
	от 1 м³ сухого газа	от влаги газа 0,15 кг/м³	Всего		
500	17,5	3,6	21,1	0,0346	0,1846
450	35,0	7,2	42,2	0,0692	0,2192
400	52,5	10,8	63,3	0,1039	0,2539
350	70,0	14,4	84,4	0,1385	0,2885
300	87,5	18,0	105,5	0,1732	0,3232
250	105,0	21,6	126,6	0,2078	0,3578
200	122,5	25,2	147,7	0,2425	0,3925
150	140,0	28,8	168,8	0,2771	0,4271
100	157,5	32,4	189,9	0,3118	0,4618
90	161,0	33,1	194,1	0,3187	0,4687
80	164,5	33,8	198,3	0,3257	0,4757
75	166,3	34,2	200,5	0,3289	0,4789

0,4789 кг/м³ фактически соответствует насыщению при ~74°C
0,5481 кг/м³ фактически соответствует насыщению при ~76,5°C

Таблица 13

увеличение влагосодержания газа при охлаждении от 550°C до точки росы водяного пара. Начальное влагосодержание $0,25 \text{ кг/м}^3$. Теплосодержание 1 кг водяного пара при 80°C — 631 кал .

Охлаждение до температуры $^{\circ}\text{C}$	При охлаждении необходимо отнять тепла кал.			Испарится влаги кг	Конечное влагосодержание кг/м^3
	от 1 м^3 сухого газа	от влаги газа $0,25 \text{ кг/м}^3$	Всего		
500	17,5	6,0	23,5	0,0384	0,2884
450	35,0	12,0	47,0	0,0769	0,3269
400	52,5	18,0	70,5	0,1153	0,3653
350	70,0	24,0	94,0	0,1538	0,4038
300	87,5	30,0	117,5	0,1923	0,4423
250	105,0	36,0	141,0	0,2307	0,4807
200	122,5	42,0	164,5	0,2682	0,5192
150	140,0	48,0	188,0	0,3076	0,5576
100	157,5	54,0	211,5	0,3461	0,5961
90	161,0	55,2	216,2	0,3538	0,7038
80	164,5	56,4	220,9	0,3615	0,6115

0,6115 — фактически соответствует насыщению при $\sim 78^{\circ}\text{C}$

Таким образом в первый период газ впитывает влагу - увлажняется. Это происходит до известного предела. Переход из перегретого состояния в насыщенное колеблется как видно из таблиц в пределах температур 70-80°C.

Охлаждение газа насыщенного водяным паром происходит значительно медленнее.

Для увеличения поверхности соприкосновения газа с водой в скрубберах применяют различные насадки, рейки, кольца Рашига, кокс и т.д. В зависимости от конструкции скрубберов холодильников и интенсивности орошений газа водой зависит практический расход воды на охлаждение газа. Однако для сравнений рационального использования воды необходимо установить каков минимальный расход воды на охлаждение 1 м³ сухого газа и содержащихся в нем водяных паров.

Для расчета принимаем средние теплоемкости при 500°C по Шюле:

$$\text{CO}_2 \dots \dots 0,472 \text{ кал/м}^3$$

$$\text{CO, O}_2 \text{ и } \text{N}_2 \dots \dots 0,317 \text{ кал/м}^3$$

$$\text{H}_2\text{O} \dots \dots 0,383 \text{ кал/м}^3$$

По Павлову и Ле-Шателье:

$$\text{H}_2 \dots \dots 0,320 \text{ кал/м}^3$$

$$\text{CH}_4 \dots \dots 0,561 \text{ кал/м}^3$$

Средняя теплоемкость 1 м³ сухого газа выше принятого состава будет определена по средним теплоемкостям его составляющих:

$$\text{CO}_2 \dots \dots 0,472 \cdot 0,1193 \approx 0,056$$

$$\text{CO+O}_2+\text{N}_2 \dots \dots 0,317(0,1905+0,0048+0,5197) \approx 0,026$$

$$\text{H}_2 \dots \dots 0,320 \cdot 0,1462 \approx 0,047$$

$$\text{CH}_4 \dots \dots 0,561 \cdot 0,0195 \approx 0,011$$

$$0,340 \text{ кал/м}^3$$

Влажностное содержание генераторного газа составляет:

$$V_2 = 0,116 \text{ кг/м}^3 \text{ сухого газа}$$

$$\text{или } V_3 = 0,144 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ " "}$$

Точка росы водяного пара ~ 51°C.

Принимаем температуру газового потока:

$$1. \text{ при входе в скруббер } \dots \dots 500^\circ\text{C}$$

$$2. \text{ при выходе из скруббера } \dots \dots 30^\circ\text{C}$$

При охлаждении сухого газа выделится тепла:

$$Q_1 = 0,34(500-30) \approx 160 \text{ кал/м}^3$$

Охлаждение газа до 30°C понизит его влажностное содержание до 0,035 кг/м³ - 0,044 м³/м³ сух. газа. При этом выделится конденсата:

$$0,116 - 0,035 = 0,081 \text{ кг/м}^3$$

Теплота охлаждения всей влаги газа до точки росы - 51°C составит:

$$Q_2 = 9383 \cdot 500 - 51 / 0,144 \approx 25 \text{ кал.}$$

Теплота конденсации

$$Q_3 = 568 \cdot 0,081 = 46 \text{ кал.}$$

где 568 - теплота испарения при 51°C.

Температуру воды принимаем для летних условий:

$$1. \text{ При входе в скруббер } - 20^\circ\text{C}$$

$$2. \text{ При выходе из скруббера } - 40^\circ\text{C}$$

Теплота охлаждения конденсата до температуры сточной воды

$$Q_4 = 0,081 \cdot |51 - 40| \approx 1,0 \text{ кал.}$$

Итого выделится тепла

$$Q = 160 + 25 + 46 + 1 = 232 \text{ кал/м}^3$$

Воды потребуется

$$\frac{232}{40 - 20} = 11,6 \text{ лит/м}^3 \text{ сухого газа.}$$

В эксплуатации расход воды будет изменяться в зависимости от начальной температуры газа, его влагосодержания и температуры заборной воды. Практический расход воды колеблется от 15 до 20 лит/м³ сухого газа.

Коэффициент теплопередачи зависит от температур газа и воды, скоростей, характера насадки и т.д. Приблизженные данные по коэффициентам теплопередачи в скрубберах получены главным образом для хордовой насадки в виде реек.

При отсутствии коэффициента теплопередачи проверку можно производить по разности температур, скорости газа относительно воды и расход воды на м² поверхности насадки.

Скруббер - очиститель

Газ со скоростью 20-30 м/сек. подводится к скрубберу. При входе в скруббер скорость резко падает, вследствие увеличения пространства и уменьшению объема самого газа. Уменьшение скоростей вызывает выделение наиболее крупных и тяжелых механических частиц из газового потока.

Насадка скруббера предназначенная для увеличения поверхности теплообмена выполняет

одновременно роль фильтра. Таким образом дальнейшая очистка газа от механических примесей происходит в насадке. Выделившаяся зола и мелкий уголь смывается водой и уносится из скруббера за борт.

Скруббер - абсорбер.

Вопросы абсорбции газа водой выпадают обычно из поля зрения конструкторов и практиков газогенераторщиков, между тем как уменьшение содержания углекислоты на 4-6 % может повысить мощность двигателя примерно на 1,5-20%.

Эффект хотя и не такой большой, однако, пренебрегать им ни в коем случае нельзя. Уменьшение расхода мощности на обслуживание самой газогенераторной установки позволит увеличить тяговое усилие.

Таблица 14.

Растворимость углекислого газа в воде в зависимости от температуры по данным Бора и Бокка из Ландольт-Бернштейна.

Температура	α	q	Температура	α	q
0	1,713	0,3347	19	0,902	0,1789
1	1,646	0,3214	20	0,878	0,1736
2	1,584	0,3091	21	0,854	0,1689
3	1,527	0,2979	22	0,829	0,1641
4	1,473	0,2872	23	0,804	0,1591
5	1,424	0,2774	24	0,781	0,1541
6	1,377	0,2681	25	0,759	0,1494
7	1,331	0,2590	26	0,738	0,1450
8	1,282	0,2494	27	0,718	0,1407
9	1,237	0,2404	28	0,699	0,1367
10	1,194	0,2319	29	0,682	0,1328
11	1,154	0,2240	30	0,665	0,1293
12	1,117	0,2166	35	0,592	0,1257
13	1,083	0,2099	40	0,530	0,1106
14	1,050	0,2033	45	0,479	0,0974
15	1,019	0,1971	50	0,436	0,0762
16	0,985	0,1904	60	0,359	0,0577
17	0,956	0,1845			
18	0,928	0,1789			

α - коэффициент растворимости в м³ газа на м³ растворителя отнесенный к 0° и 760 мм. при парциальном давлении 760 мм. рт. ст.

q - количество граммов CO₂ поглощенное 100 гр растворителя при общем давлении 760 мм. рт. ст.

Приведенные в таблице 14 показатели растворимости углекислого газа следует рассматривать, как предельные значения, которые достигаются не при всяких условиях. Тем больше поверхность и время соприкосновения газа с водой, тем больше углекислоты успеет раствориться. И в данном случае также как и при охлаждении противоток дает больший эффект чем прямоток.

Количество абсорбируемого вещества растет с увеличением интенсивности орошения. С уменьшением скорости газа коэффициент абсорбции убывает. Для увеличения абсорбции газа при промывке водой скруббер должен быть возможно меньший по диаметру, но больший по высоте.

Основные положения изложенные выше позволяют судить о работоспособности любой конструкции, не прибегая при этом к длительным испытаниям.

Скруббер ЦНИИВТ'а - для 60 сильной установки.

Спущенный для внедрения в 1936г. скруббер целиком сохраняет преимущества, выявленные в пробеге газопроводов на катере ЦНИИВТ'а.

При сохранении прежней высоты - несколько уменьшен диаметр. Кроме того произведены дополнительные упрощения и улучшения более мелкие. Радиальный подвод газа заменен тангенциальным, взамен болтов в крышке даны барашки, днище сделано коническое с грязевым люком и т.д.

Газ по трубе диаметром 3" из газогенератора входит во внутренний палый конус и направляется вниз. Тангенциальный подвод газа сообщает потоку вращательное движение и отбрасывает частицы к стенке, с которой они смываются водой, разбрызгивающейся из лейки. Значительно очищенный и охлажденный газ попадает в коксовую насадку и подымаясь вверх, вторично промывается водой. Механически увлеченная вода отбивается в сухой насадке в подвесной корзине. Газ выходит из скруббера через патрубок диаметром $2\frac{1}{2}$ " в фильтр.

Двойное орошение более надежно и улучшает использование воды путем регулировки.

Характеристикой скруббера может служить следующее: температура сточной воды, как правило на $10-15^\circ$ выше температуры выходящего газа, сопротивление незначительное 50-70 мм. водяного столба и при длительной работе почти не возрастает.

Посадка катеров на мель, имевшая место в пробеге, приводила к засорению оросительных устройств. Для лучшего доступа к ним и устройству подвеска сухой насадки, которую легко и быстро можно вынуть. Для выгреба кокса устройства лотки. Остальные детали понятны из чертежа и без пояснений. Основные габариты: наружный диаметр 400 мм. и высота около 1500 мм. Вес скруббера 65 кг.

Очиститель М.С.В.

Для охлаждения генераторного газа Моссудоверфь применяет аппарат использующий принцип инжекции газа водой во многом сходный с конденсаторами водяного пара. В верхней части находится водяное пространство, из которого вода под давлением 1-1,5 атмосферы с большой скоростью выходит через 12 футорок диаметром 4 мм. Футорки сосредоточены в трех местах по 4 шт. и расположены над находящимся внизу соплами.

Газовое пространство находится ниже водяного. Подведенный по трубе 4" газ увлекается струей воды вниз в сопла, которые на 52 мм. погружены в воду гидравлического затвора. Вода пополняющаяся из сопел в гидравлический затвор, стекает сверху и уходит за борт, увлекая часть механических примесей. Более тяжелые частицы оседают в самом гидравлическом затворе.

Газ пройдя совместно с водой через сопла пробулькивает сквозь воду и по трубе расположенной в середине уходит к фильтру. Для отделения механически унесенной влаги, газ до попадания в газоотводящую трубу три раза меняет свое направление.

Каковы особенности этого очистителя?

1 Газовое пространство засоряется золой и мелким углем и требует систематической чистки вручную, для чего и предусмотрены люки

против газоподводящего патрубка

2. Повышенный расход воды при давлении 1-1,5 мм. увеличивает потребляемую мощность примерно в 3-4 раза против нормального в скрубберах.

3. Прямоток и малая поверхность соприкосновения газа с водой.

Вопросы изготовления и монтажа ясны из чертежа и дополнительно разработаны в инструкции.

Габариты очистителя:

Диаметр - 500 мм.

Высота - 1155 мм.

Тонкая очистка.

Очистка газа, которая происходит при его охлаждении является недостаточной, так как часть летучей золы и сажи уносится газом из скруббера или очистителя М.С.В. Для дополнительной очистки газа применяются различные фильтрующие материалы, металлические стружки, травы и т.д.

Удар струи газа о поверхность масла улучшает очистку, так как частицы прилипают к маслу.

Очиститель ЦНИИВТ'а

Газ подводится сбоку в нижней части, получает винтовое движение вниз и ударяется о поверхность масла. Изменив направление газ

проходит сначала слой металлических стружек, в которых выделяются увлеченные капли масла, а затем слой травы-кенафа и отсасывается двигателем.

Габариты очистителя.

Диаметр - 400 мм.

Высота - 790 мм.

Сухой фильтр М.С.В.

Газ подводится в него снизу, по трубе с отверстиями до середины. По выходе из отверстий газ направляется вниз, изменив направление проходит сначала слой кокса, а затем слой травы. Из верхней части газ по второй трубе отсасывается к двигателю. Применение кокса в сухих фильтрах крайне нежелательно, так как кокс под влиянием движущегося газового потока выкрашивается, выветривается, при этом мелкие частицы будут увлекаться в двигатель.

Габариты фильтра:

Диаметр - 345 мм.

Высота - 700 мм.

Контрольная аппаратура

Новый тип судна-газоход, внедряемый на водном транспорте, может привести к „новым“ видам аварий, в особенности в первый момент, если эксплуатация будет производиться вслепую.

Перебой в работе и наконец полная остановка двигателя при нормальном топливе может быть

при засорении установки. Наиболее опасные моменты при этом:

1. Плохая фильтрация засасываемой насосом воды может привести к засорению разбрызгивающего устройства или футорок М.С.В. Это в свою очередь вызывает уменьшение расходуемой воды и ее неравномерную подачу по сечению, следовательно, может быть слабое охлаждение и недостаточная очистка газа.

2. Засорение газогенератора при длительной работе вызовет повышение сопротивления в системе и может привести в случае неправильного монтажа, к попаданию воды в генератор. В этом отношении нежелателен отсос газа снизу, а также нижний подвод к скрубберу.

3. Засорение сточной трубы в скруббере приводит к попаданию воды в сухой фильтр и в двигатель.

Все это может быть устранено если во время замечено. Для этого должны быть установлены пьезометры после каждого агрегата - газогенератора, скруббера и фильтра.

Повышению сопротивления агрегатов - увеличение разряжения в системе сигнализирует о переборах в работе. Колебания в показаниях пьезометров происходят при перемене режима работы двигателя, так как изменяется количество проходящего газа. Незначительное повышение сопротивления может быть и временным явлением, которое вскоре в самом агрегате устраняется - шуровка, сползание топлива, встряска и т.д.

Нормальное сопротивление в газогенераторных установках при мощности двигателя 52-54 л.с. характеризуется следующими величинами:

Наименование установок	Разряжение в м.м. водяного столба		
	После газогенератора	После скруббера-очистителя	После фильтра
ЦНИИВТ	90-130	120-160	220-270
М.С.В.	90-160	150-250	220-300

Пути дальнейшего развития судовых газогенераторных установок.

В отношении применения древесного топлива в настоящее время намечаются два направления:

1. По линии дальнейшего повышения форсировки и созданию компактного газогенератора, что приведет к еще большему уменьшению размеров.

2. Работ по газификации швырка длиной 330-500 мм. связана большими трудностями и сохранению довольно больших габаритов газогенератора.

Кроме древесного топлива необходимо приступить к внедрению кокса и каменного угля и созданию установок больших мощностей.

Условия и возможности водного транспорта для газогенераторных установок используются в настоящее время недостаточно. Дальнейшая работа в этом направлении приведет к созданию действительно судовой установки во многом отличной от тех, которые имеются в настоящее время.

Инженер А. Генин.

Таблица 15.

Состав сухого генераторного газа для разных пород и влажности топлива в различных типах газогенераторов

Приложение 1

Порода древесины	Относительная влажность в %	Размер кусков в мм.	М и н		Состав газа - объемные %							Низшая теплотворность кал/м³ при 0 и 760 мм.рт.ст.	
			Газогенераторы	Двигатель	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂	сух. газа	Работа смеси при α=1	
Смесь разных пород	35	40x40x100	ЦНИИВТ-1-30	ХТ-3	17,66	15,0	0,71	12,2	0,4	54,03	984	539	
Сосна	28	45x45x70	ЦНИИВТ-1-30	ХТЗ	16,7	16,87	0,65	12,3	0,6	52,47	996	543	
Сосна	20	40x40x100	ЦНИИВТ-1-60	ЧТЗ	12,05	14,62	1,95	11,93	0,48	51,97	1124	572	
Сосна	21	40x40x100	ЦНИИВТ-1-60	ЧТЗ	13,09	15,20	1,87	12,60	0,52	51,72	1105	562	
Береза	23,3	40x40x100	ЦНИИВТ-2-60	ЧТЗ	14,54	13,45	1,76	18,84	0,1	56,30	960	512	
Береза	20	30x30x70	Плюмер Д-6	СТЗ	12,1	11,1	3,95	13,6	0,3	58,95	1015	530	
Береза	29,3	60x60x60	НАТИ III	насос	18,0	14,4	3,6	9,0	1,0	54,0	1226	594	
Береза	28,9	60x60x60	НАТИ III	Мерседес	13,6	17,6	3,0	11,0	0,4	54,4	1125	560	
Дуб	15,5	40x40x60	НАТИ III	СТЗ	18,4	16,4	3,0	11,4	0,6	50,5	1240	595	
Сосна иель	32,5	100-120x40x20	Берлине	Тракторный трактор	14,55	11,85	6,55	13,24	0,73	53,08	1306	589	
Сосна иель	32,5	100-120x40x20	ЦНИИВТ-2-60	ЧТЗ	14,94	15,90	1,76	12,99	0,0	54,41	1015	534	
Смесь	20,3	80x60x60	ЦНИИВТ-2-60	ЧТЗ	13,13	14,55	3,03	17,45	0,0	54,84	1036	532	
			МСВ-84	ЧТЗ	18,4	17,0	1,0	8,8	0,6	54,2	1121	587	

Таблица 16

Упругость водяных паров и влажность газов при насыщении водяными парами.

Температура в °C	Упругость насыщенного пара в мм. рт. ст.	Влагосодержание в гр		
		в 1 м ³ газа		на 1 нормаль- ный м ³ сухого газа
		при темпер. t °C	при 0° C и 760 мм. рт. столб.	
1	2	3	4	5
0	4,58	4,8	4,8	4,9
1	4,93	5,2	5,2	5,2
2	5,29	5,6	5,6	5,6
3	5,69	6,0	6,0	6,1
4	6,10	6,4	6,4	6,5
5	6,54	6,8	6,8	7,0
6	7,01	7,3	7,4	7,5
7	7,51	7,7	7,9	8,0
8	8,05	8,3	8,5	8,6
9	8,61	8,8	9,1	9,2
10	9,21	9,4	9,7	9,9
11	9,84	10,0	10,4	10,5
12	10,52	10,7	11,1	11,3
13	11,23	11,3	11,9	12,1
14	11,99	12,0	12,7	12,9
15	12,79	12,8	13,5	13,8
16	13,63	13,6	14,4	14,7
17	14,53	14,5	15,4	15,7
18	15,48	15,4	16,4	16,7
19	16,48	16,3	17,4	17,8
20	17,54	17,3	18,5	19,0

1	2	3	4	5
21	18,65	18,3	19,7	20,2
22	19,83	19,4	21,0	21,5
23	21,07	20,5	22,3	22,9
24	22,38	21,8	23,7	24,4
25	23,76	23,0	25,1	26,0
26	25,21	24,3	26,7	27,6
27	26,74	25,7	28,3	29,3
28	28,35	27,2	30,0	31,1
29	30,04	28,7	31,8	33,1
30	31,82	30,3	33,6	35,1
31	33,70	32,0	35,6	37,3
32	35,66	33,7	37,7	39,6
33	37,73	35,6	39,9	42,0
34	39,90	37,5	42,2	44,5
35	42,18	39,5	44,6	47,3
36	44,56	41,6	47,1	50,1
37	47,07	43,8	49,8	53,1
38	49,69	46,1	52,5	56,2
39	52,44	48,5	55,4	59,6
40	55,32	51,0	58,5	63,1
41	58,34	53,6	61,7	66,8
42	61,50	56,4	65,0	70,8
43	64,80	59,2	68,5	74,9
44	68,26	62,2	72,2	79,3
45	71,88	65,2	76,0	84,0
46	75,65	68,5	80,0	88,8
47	79,60	71,8	84,2	94,0
48	83,71	75,3	88,5	99,5
49	88,02	78,9	93,1	105

1	2	3	4	5.
50	92,51	82,7	97,8	111
51	97,20	86,6	103	118
52	102,1	90,7	108	125
53	107,2	94,9	113	132
54	112,5	99,3	119	140
55	118,0	104	125	148
56	123,8	109	131	156
57	129,8	114	137	166
58	136,1	119	144	175
59	142,6	124	151	186
60	149,4	130	158	197
61	156,4	135	165	208
62	163,8	141	173	221
63	171,4	147	181	234
64	179,3	154	190	248
65	187,5	160	198	263
66	196,1	167	207	280
67	205,0	174	217	297
68	214,2	181	226	315
69	223,7	189	236	335
70	233,7	197	247	357
71	243,9	205	258	380
72	254,6	213	269	405
73	265,7	222	281	432
74	277,2	231	293	461
75	289,1	240	306	493
76	301,4	249	319	528
77	314,1	259	332	566

1	2	3	4	5
78	327,3	269	346	608
79	341,0	280	361	654
80	355,1	290	375	705
81	369,7	301	391	761
82	384,9	313	407	825
83	400,6	325	424	896
84	416,8	337	441	976
85	433,6	350	458	1070
86	450,9	363	477	1170
87	468,7	376	496	1290
88	487,1	389	515	1440
89	506,1	404	535	1600
90	525,8	418	556	1800
91	546,1	433	577	2050
92	567,0	448	600	2360
93	588,6	464	622	2760
94	610,9	480	646	3290
95	633,9	497	670	4040
96	657,6	514	695	5160
97	682,1	532	721	7040
98	707,3	550	748	10800
99	733,2	569	775	22000
100	760,0	588	804	—

-87-

Таблица 17 *

Тирозоксиде 3

Физические величины газов.

Газы	Формула	Число атомов	Молекулярный вес		Вес 1 м ³ в кг.		Плотн. к воздуху при 0° принятому за единицу	Газовая постоянная	Удельн. теплота для 1 кг.		Удельн. теплота для 1 м ³ при 150 ат.		$\frac{d}{U}$
			приблизит.	точный	при 150 ат.	при 0° и 760 мм рт.			Ср	Ср	Ср	Сv	
Воздух сухой	-	1	29	28,95	1,188	1,293	1,000	29,26	0,238	0,170	0,282	0,200	1,405
Кислород	O ₂	2	32	32	1,312	1,429	1,105	26,5	0,217	0,155	0,285	0,204	1,400
Азот	N ₂	2	28	28,02	1,151	1,251	0,970	30,2	0,217	0,176	0,281	0,200	1,408
Водород	H ₂	2	2	2,016	0,0897	0,0899	0,0696	42,0	3,41	2,42	0,282	0,200	1,405
Водяной пар	H ₂ O	3	18	18,02	0,739	0,84	0,622	47,0	0,48	0,37	0,35	0,27	1,30
Углекислота	CO ₂	3	44	44,00	1,804	1,977	1,528	19,25	0,21	0,16	0,37	0,29	1,28
Аммиак	NH ₃	4	17	17,06	0,700	0,771	0,590	49,6	0,53	0,41	0,37	0,29	1,28
Ацетилен	C ₂ H ₂	4	26	26,02	1,066	1,176	0,899	32,5	0,35	0,27	0,37	0,29	1,28
Этилен	C ₂ H ₄	6	28	28,03	1,149	1,250	0,959	30,2	0,40	0,33	0,46	0,38	1,25
Метан	CH ₄	5	16	16,03	0,657	0,717	0,554	52,8	0,59	0,46	0,39	0,31	1,28
Оксид углерода	CO	2	28	28,00	1,148	1,250	0,968	30,25	0,242	0,172	0,279	0,197	1,410
Углерод	C	1	12										

*) Таблица заимствована из курса проф. Н.Р. Бриллиана. Данные внутреннего строения

Указатель литературы по
газогенераторам и скрубберам.

- 1 Г.Р. Тренклер. - Газогенераторы О.Н.Т.И. Энергоиздат, 1933 г.
- 2 Н.С. Мезин, С.А. Сегов, Б.И. Черноморский. Легкие газогенераторы автотракторного типа: ОНТИ - Госмашметиздат, 1934 г.
- 3 Н.Р. Каралан, А.А. Введенский - Газогенераторы на автомобилях и тракторах - Библиотека "За рулем" Журналы. газетное объединение, 1934 г. Выпуск 7-12.
- 4 В.Ю. Гитлис - Транспортные газогенераторы Гострансиздат, 1931 г.
- 5 Пробег газогенераторных автомобилей Москва - Ленинград - Москва. Под редакцией Ю.А. Степанова, Гострансиздат 1936 г.
- 6 Б.Р. Ребок - Материалы по изучению влияния свойств твердого топлива на качество силового газа транспортных генераторов. - Энергоиздат, 1932 г.
- 7 Д.А. Тазеев. - Газофикация отходов лесосеменной и лесотильной древесины - Гослестехиздат, 1933 г.
- 8 В.Н. Згура. - Газогенераторные установки на автотранспорте - Гострансиздат, 1935 г.

- 9 С.И. Декаленков - Дровяной газогенератор "Пионер" в лесной промышленности. - Гослестехиздат, 1935 г.
10. Исследование газогенератора Берли на древесном топливе. Уральский Научно-Исследов. Лесопромышленный Институт.
11. Журнал "Водный Транспорт", №8 и 9 на 1935 г.
Н. Бычков. Работы ЦНИИВТ по газогенерации.
Гусенико. Газогенераторные установки на речных катерах.
С. Бударин. Газогенераторные судовые установки для мелких рек.
Шимко и Лаврентьев. Испытания газогенераторной установки катера-газохода "МСВ-30"
12. Известия Н.А.Т.и, №5-1934 г. и №4-1935 г.
Семенов-Жуков - Газогенераторные работы в Н.А.Т.и.
- 13 Журнал "Водный транспорт", №3-1936 г.
А.Б. Генин - Газогенератор ЦНИИВТ-З.
С.П. Фролов. Мощное газогенераторное судно
14. Журнал "Социалистическая реконструкция и наука".
М.К. Гроздовский и Э.Ф. Чуханов - Проблема горения углерода в современной технике.
15. Газета "Техника" №73 9 Августа 1935 г.
М. Гроздовский и Э.Ф. Чуханов. Высокоскоростная газификация.

- 16 Журнал "Мотор" №3 и 4 1936 г.
В.И. Володин - Газогенераторы для автотранспорта.
И.Р. Карачан - Твердое топливо для Транспортных газогенераторов.
В. Наумов - Транспортные газогенераторные установки типа У-5 и У-6
17. Журнал "Судостроение" №5, 1936 г.
А. Генин - Газогенераторные установки на водном транспорте.
- 18 Журнал "Кокс и Угли" №5, 1934 г.
Пейсахов и Сосновский. К расчету скрубберов.
- 19 Журнал "Химическое машиностроение" №2, 1936 г.
Н.И. Таганов - Новая формула для определения коэффициента теплопередачи в скрубберах с хордовой насадкой.
- 20 В. Бэджер и В. Мак-Кэб. - Основные процессы и аппараты химических производств - Госхимтехиздат, 1933 г.

Ленинградский 23-ХII. 36. Зак. №374.

Тираж 100 экз.

Стеклограф ЛНИИВТ'а Л-9 Фонтанка 117.

