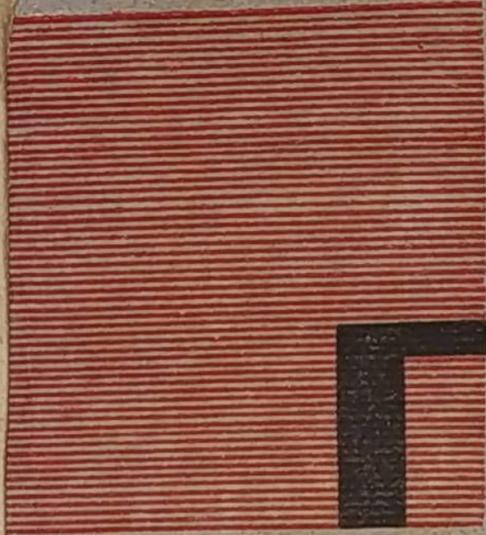


ПРОФ. Д. Л. ТАГЕЕВ



**Газофикация  
отходов**

*Лесосечной  
и лесопильной*

**древесины**

ГОСЛЕСТЕХИЗДАТ

1933

2

К. О.

Проф. Д. Л. ТАГЕЕВ

Не выдается  
до дому

**ГАЗОФИКАЦИЯ ОТХОДОВ  
лесосечной и лесопильной  
ДРЕВЕСИНЫ  
И  
РАБОТА ДВИГАТЕЛЯ  
НА ГАЗЕ ИЗ ОТХОДОВ**

С 25 фигурами в тексте

649649

№ 324592  
19 4 33 р.  
111



Газофикация, которую легко описать на бумаге, весьма трудно осуществима на деле надлежащим образом.  
*Le Chatelier.*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие лесной промышленности требует прежде всего механизации лесозаготовительных процессов. Применение механических средств на лесоразработках, в условиях громадных лесных площадей Советского союза, возможно только при создании сети лесомашинных станций, которые явятся местными центрами распределения энергии по лесозаготовкам и по вывозке древесины.

При создании лесомашинных станций, которые должны снабжать энергией лесорубочные районы, необходимо применить те энергетические ресурсы, которые в изобилии имеются на месте — лесосечные отходы. Запасы этих отходов настолько велики, что использование их должно привлечь к себе всеобщее внимание. Отходы, обычно гниющие в лесу и вредящие молодым порослям, или сжигаемые на лесосеках, представляют ценное топливо, которое должно быть учтено, использовано и внесено в энергетический баланс СССР.

Предлагаемая вниманию читателей работа имеет целью показать, что газофикация лесосечных и лесопильных отходов дает силовой газ, который с успехом может быть применен в двигателях внутреннего горения. Лесомашинные станции в отходах лесоразработок получают неисчерпаемый источник энергии.

Вступительная фраза, взятая из известной книги „Chaufage industriel“ характеризует все трудности, которые стоят на пути исследования газогенераторного процесса. Осуществить газогенераторный процесс на деле весьма трудно, еще труднее дать исчерпывающее толкование всего того, что происходит в газогенераторе, — это дело длительной исследовательской работы.

Общепринятое объяснение газогенераторного процесса слишком схематично и упрощенно. Только усилиями ряда исследователей можно выяснить газогенераторный процесс так, чтобы им можно было управлять по желанию.

Настоящая работа дает представление о процессе газофикации отходов и опилок; на ряду с этим в этой работе отражены те изменения в общепринятых взглядах

на газогенераторный процесс, которые сложились во время проведения настоящего исследования.

Предлагаемая работа освещает первую попытку в СССР применить отходы для газификации. Пусть газ из отходов получился сравнительно с газом из дров—беднее, но возможность использования этого вида топлива-отходов, которые у нас ранее совершенно не использовались,—дает нам право полагать, что применение отходов для получения силового газа сократит нерациональное употребление самой древесины на топливо, которое практикуется в настоящее время. Пробное испытание обогащения отходов продуктами сухой перегонки указывает на возможность сделать в дальнейшем очень много для повышения теплоценности газа из отходов.

На ряду с исследованием газогенераторного процесса в настоящей работе освещены те практические приемы, которые следует соблюдать при ведении газогенератора на отходах.

В заключительной части работы сделан примерный подсчет энергетических запасов в отходах от лесозаготовок по Ленинградской области применительно к лесозаготовительному плану на 1932 г. Далее произведен подсчет стоимости энергии из отходов, и затем определены размеры газогенераторных установок, которые могут быть предусмотрены на лесосеках нашей области в зависимости от их размеров. Эти подсчеты носят, конечно, приближенный характер и нуждаются в уточнении.

Настоящая работа, задуманная автором еще в 1930 г., привлекла к себе внимание после доклада „об использовании лесосечных отходов в энергетических целях“,<sup>1</sup> сделанного в Лесотехнической академии 12 мая 1931 г.

В непосредственном исполнении работы приняли участие: инженеры А. Н. Померанский, П. П. Акимов, С. И. Сухановский и А. П. Егорова, студентка О. Л. Мацко и механик Ф. А. Скобкин.

Материальные средства для осуществления намеченных опытов и ряда исследований были выделены Лесотехнической академией и Управлением учебных лес. пром. хозяйств, которым автор и приносит свою благодарность.

Проф. Д. Тагеев.

Лесотехническая академия

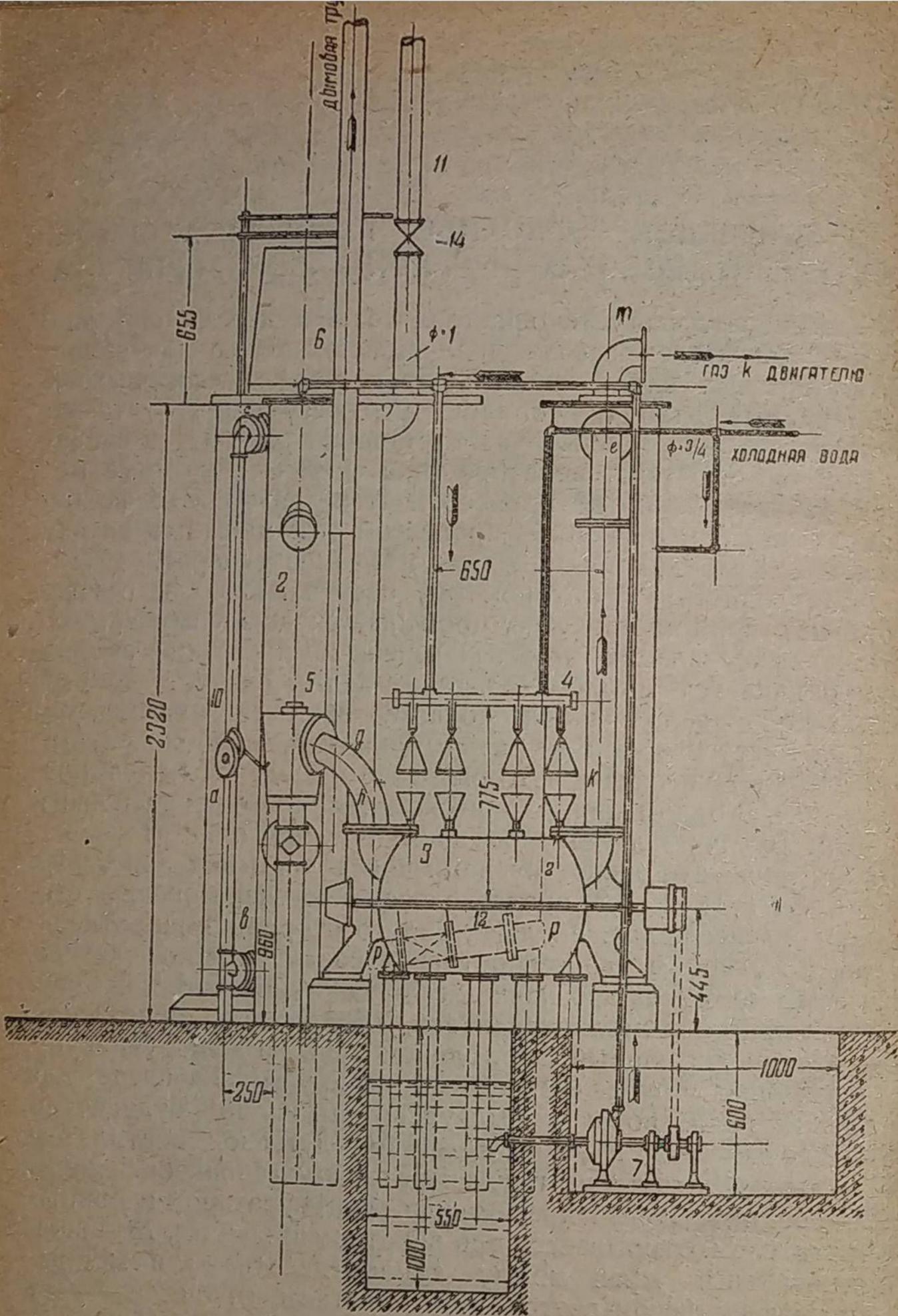
1933 г.

<sup>1</sup> „Лесное хозяйство и лесная промышленность“, № 5—6, 1931 г.

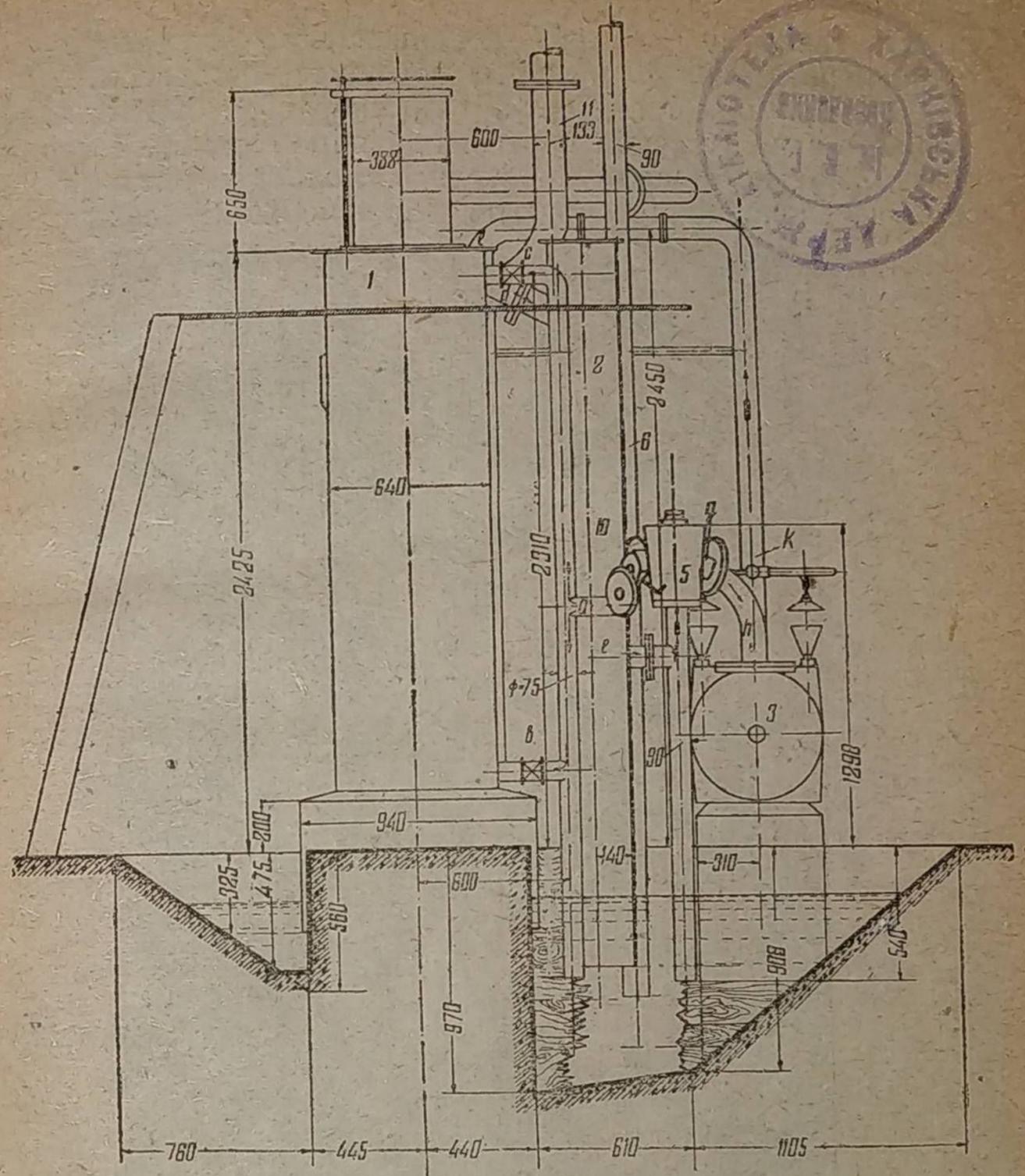
## 1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ЛТА

Газогенераторная установка теплотехнической лаборатории ЛТА с двигателем завода Дейц приспособлена для самых разнообразных видов топлива: дров, торфа, лесосечных и лесопильных отходов—опилок, стружек, щепы, а также бурого угля. Газогенераторная установка состоит из следующих частей: газогенератора типа „Н—U“, который может работать прямым процессом (газ движется от колосников вверх) и обратным процессом (газ движется сверху вниз под колосниковую решетку). Газ из генератора идет в пылеуловитель, в котором газ, поступающий из генератора при прямом процессе, промывается дождевым устройством, для удаления крупных взвешенных частиц; за ним присоединяется смолоотделитель, далее следует мокрый очиститель, заполненный коксом, где газ охлаждается и промывается водой из разбрызгивателя, освобождаясь от тех смолистых частиц, которые не были удалены в самоотделителе. В одном цилиндрическом теле в его верхней части с мокрым очистителем помещается сухой очиститель, который также заполняют кусками кокса для отделения влаги.

На фиг. 1, 2 и 3 представлена газогенераторная установка в трех видах: в плане, вид со стороны смолоотделителя, со стороны газогенератора и сбоку смолоотделителя. На этих чертежах обозначены: 1—газогенератор, 2—пылеуловитель, 3—смолоотделитель, 4—мокрый очиститель, 5—переключительный 3-х ходовой кран на дымовую трубу, 6—дымовая труба (устроенная заводом), 7—насос для перекачивания воды в пылеуловитель и смолоотделитель, 8—газовый бак, 9—двигатель, 10—дутьевой вентилятор, 11—дымовая труба на газогенераторе (установленная нами), 12—соединительный кран между газогенератором и мокрым очистителем (открывается при обратном процессе), 13—разъединительный кран между смолоотделителем и мокрым очистителем (закрывается при обратном процессе—установлен нами), 14—запорный кран на дымовой трубе.



Фиг. 2.

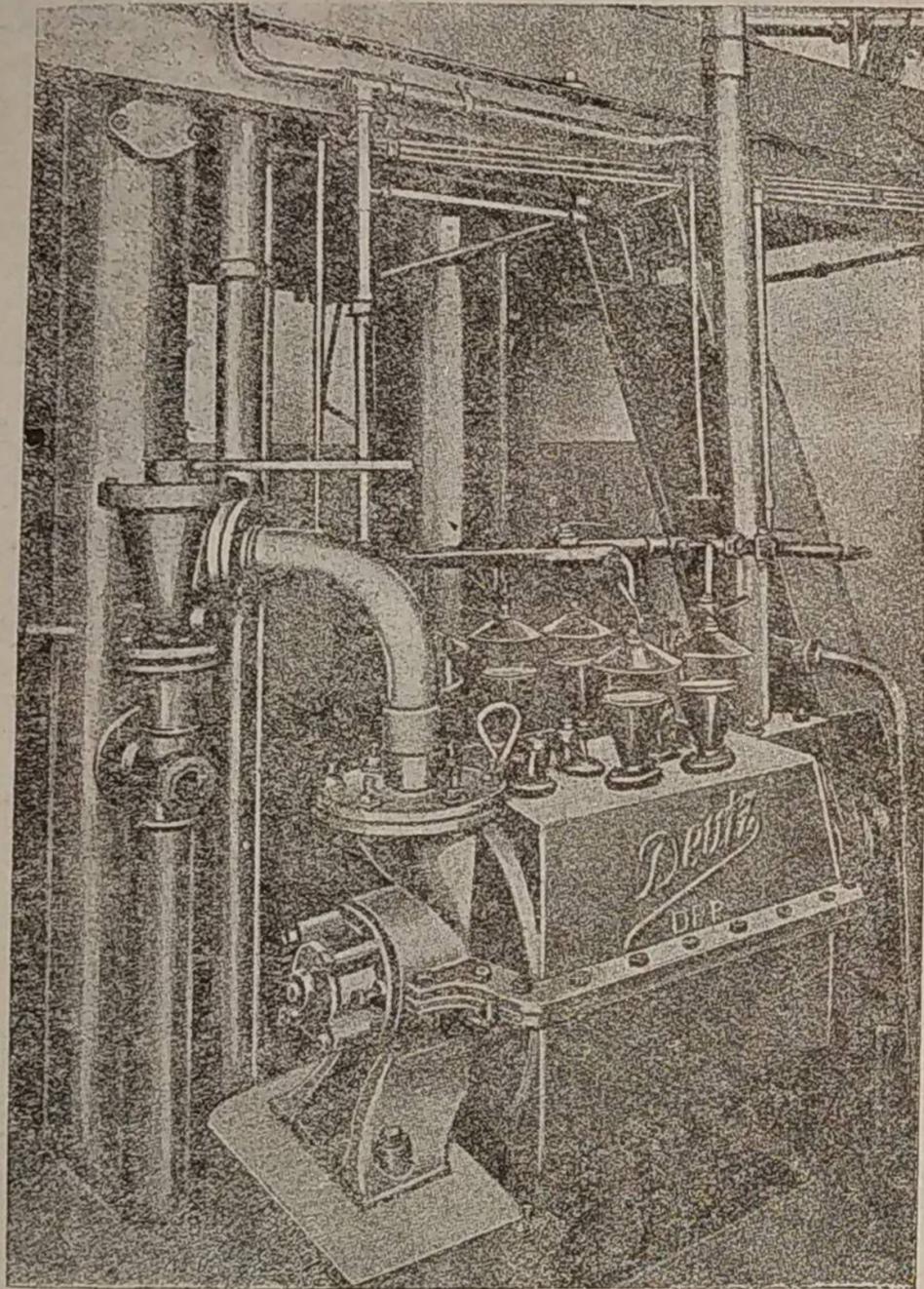


Фиг. 3.

Там же на рисунках показаны трубопроводы для газа: для прямого процесса — воздушное дутье по трубопроводу *ab*, *b* — запорный кран; воздушное дутье для обратного процесса по трубопроводу *ac*; *c* — запорный кран; труба *d* — соединение газогенератора с пылеуловителем; *ef* — соединение пылеуловителя с трехходовым краном; *gh* — соединение трехходового крана с смолоотделителем; *kl* — трубопровод от смолоотделителя к мокрому очистителю; *mn* — трубопро-

вод к газовому баку; *pq* — соединение газогенератора с мокрым очистителем для работы обратным процессом.

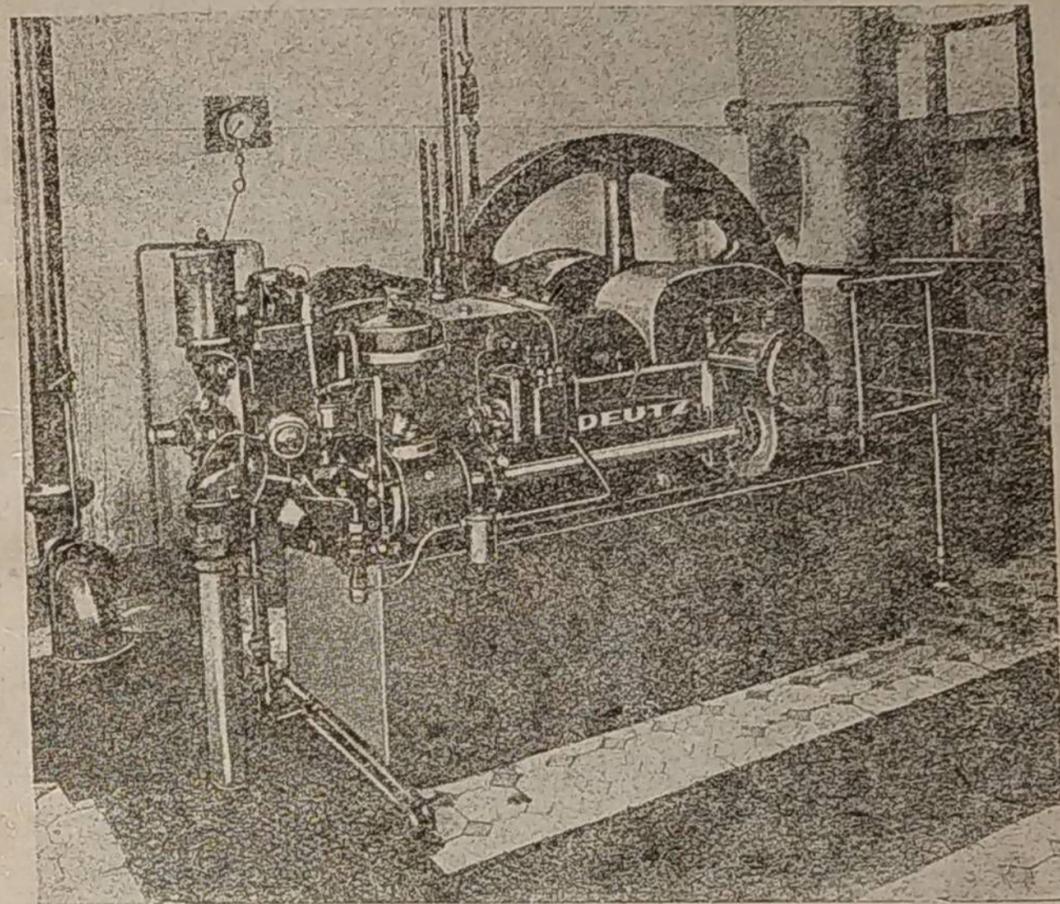
При прямом процессе в газогенераторе смолы, получающиеся в поясе сухой перегонки в парообразном состоянии поступают после пылеуловителя в смолоотделитель, в котором частично конденсируются под влиянием охлаждающего



Фиг. 4.

действия воды, подаваемой в смолоотделитель. Смолоотделитель завода Дейц представлен на фиг. 4, он состоит из четырех камер, в которых помещены центробежные промыватели. В левые промыватели (фиг. 4) подается для промывки газа горячая вода центробежным насосом (см. фиг. 2), а в правые промыватели подается холодная вода из водопровода, в них происходит охлаждение газа. Каждый промыватель предста-

вляет металлический диск, сидящий на валу с укрепленными на плоскости диска ребрами; поступающий газ увлекается дисками и ребра придают ему вихревое движение, причем тяжелые взвешенные частицы и промываемые горя-



Фиг. 5.

чей водой растворимые смолы стекают с водой вниз, а газ, получая вращательное движение у поверхности диска в промывателе, подводится к оси смолоотделителя и поступает в следующий промыватель. Отделившаяся смола стекает по особым трубам в водяные колодцы. Легко растворимые смолы стекают в тех первых двух промывателях, куда подается подогретая вода, а более тяжелые смолы под влиянием холодной воды стекают в двух следующих промывателях. На фиг. 1, 2 и 3 показаны колодцы под всем газогенераторным устройством. Под пылеуловителем (3) имеется особый колодезь, в нем собираются с водой все механические взвешенные частицы, уносимые из генератора газом (зола, частицы угля и грязь), и наиболее легкие смолы с выделенной влагой топлива. Эта влага частично уносится из генератора в пылеуловитель во взвешенном состоянии.

Под смолоотделителем фиг. 2 имеется, как сказано выше, свой колодезь, куда стекает вода также и из мокрого очистителя

теля; под газогенератором находится также колодезь (гидравлический затвор), куда стекает часть воды из мокрого очистителя по соединению *pq*. В колодце под смолоотделителем и мокрым очистителем установлены перегородки для задержки пены и легких смол, во избежание качания насосом загрязненной воды.

Тяжелые смолы опускаются на дно колодца, а оттуда перепускаются по трубам с кранами в особый колодезь (см. фиг. 1).

После прохода через смолоотделитель, газ идет в мокрый очиститель по трубе *kl*. В мокром очистителе водоразбрызгивающим устройством газ освобождается от неотделившихся смол в смолоотделителе; в верхней части очистителя находится на деревянной решетке кокс, который отделяет влагу, унесенную газом.

После очистителя газ по трубе *mn* идет в газовый бак — уравниватель давления перед двигателем. За баком идет труба к смесительному клапану двигателя. Двигатель представлен на фиг. 5.

При обратном процессе пылеуловитель и смолоотделитель выключаются, и газ прямо из генератора идет по соединительной трубе *pq* в мокрый очиститель, для чего открывается кран *13* и предварительно закрывается дутьевой кран *c*.

## 2. УХОД ЗА ГАЗОГЕНЕРАТОРОМ

Все перечисленные виды древесного топлива должны быть перед загрузкой в генератор предварительно подготовлены. Дрова должны быть разрублены на куски не более следующих размеров— $60 \times 60 \times 100$  мм; лесосечные отходы следует изрубить на куски длиной не более 10 см; щепка должна быть малых размеров. При прямом процессе в газогенераторе для сжигания опилок надо их перемешивать с нарубленным кусковым топливом в пропорции 1:1. Влажность древесных отходов и других видов топлива не имеет значения, так как опыты показали, что топливо с влажностью даже в 60% дало газ хотя и бедный по теплотворности, но все же пригодный для использования в энергетических целях.

Произведенные испытания газогенератора обнаружили некоторые недочеты в устройстве, которые и были устранены. Так выяснилось, что дымовая труба, в том виде как она установлена заводом, создает недостаточную тягу при растопке газогенератора. Проход газа из генератора через пылеотделитель и далее через трехходовый кран в трубу соз-

дает настолько большие сопротивления и тяга при этом настолько плоха, что растопка генератора при таком устройстве занимала от 8 до 12 ч. и все же не удавалось получить достаточный накал обмуровки шахты. После переноса дымовой трубы на самый газогенератор, как показано на фигурах, (где наша труба отмечена *11*), длительность растопки сократилась до 2 ч., и требующийся накал шахты, особенно необходимый для обратного процесса, достигался за это время свободно.

Кроме того при работе газогенератора обратным процессом выяснилось, что при выключении смолоотделителя, при разряжении в трубопроводе за мокрым очистителем, что бывает при большой нагрузке, через водяные насадки на смолоотделителе засасывается воздух снаружи в систему мокрого очистителя по трубе *kl* (фиг. 1), отсюда воздух проходит через очистители в трубопровод к двигателю. На верхнем колене этой трубы был поставлен запорный кран *12*, при помощи которого отделяется смолоотделитель при работе газогенератора обратным процессом. Прорыв воздуха был обнаружен во время одного из испытаний, когда удалось по резкому хрипящему звуку прорывающегося воздуха в смолоотделителе установить его присутствие в указанном выше трубопроводе. После установки крана *13* поступление воздуха в трубопровод за смолоотделителем не наблюдалось, о чем можно было судить по уменьшившемуся количеству кислорода в газе перед двигателем.

Отсылая интересующихся подробностями обслуживания газогенератора к инструкции, которую дает завод Дейц, считаю необходимым остановиться на некоторых моментах ухода за генератором при растопке и пуске двигателя.

При пуске двигателя, после загрузки шахты генератора и соответствующего раскала, после производства дутья для наполнения газом системы газогенератора с трубопроводами и после получения полного пламени без прорывов воздуха у пробного крана на выводной трубе из газового бака, необходимо вторично загрузить генератор порцией топлива, тщательно прошуровать в нижних штуцерных отверстиях и возобновить кратковременно дутье. После пробы газа у крана на головке двигателя и получения полного и достаточно длинного пламени, можно пустить двигатель. Необходимость вторичного накачивания газа в систему и повторного раздувания генератора объясняется тем, что двигатель при пуске быстро расходует газ, а поступление новых порций может запоздать вследствие затруднения прохода

воздуха и образования газа, который должен пройти через всю высоту шахты от поддувала до выходного отверстия в генераторе.

Хотя инструкция и рекомендует закрывать дверцу зольника во время работы генератора, оставляя открытым лишь нижний кран для дутья, но наша практика показала, что поступление воздуха в зольник только через кран *b* для дутья недостаточно и следует немного приоткрывать дверцу поддувала.

При пуске двигателя выяснилось, что нагнетание дутьевым вентилятором воздуха через нижний кран *b* в генератор и далее газа в газовый бак происходит чрезвычайно медленно. Это объясняется тем, что удаление воздуха из этого бака по трубопроводу в смесительную головку двигателя, откуда для воздуха и накапливающегося газа имеется выход через один пробный кран на головке двигателя с весьма малым поперечным сечением, затруднительно. Сопротивление прохождению газа при этом настолько велико, что приходится наблюдать прорывы генераторного газа вверху генератора у загрузочного приспособления в пазах запорной крышки. После устройства особой отводной трубки из газового бака, непосредственное заполнение всей системы газогенератора, смолоотделителя, очистителей, трубопроводов и газового бака происходило в течение нескольких минут.

Установка дымовой трубы из генератора, устройство выводной трубы из газового бака перед двигателем для воздуха и газа весьма сократили время, необходимое для разводки и пуска газогенераторной установки в действие. Существенным улучшением явилась установка крана для выключения смолоотделителя при обратном процессе.

Прокалывание массы топлива и шурование через штуцерные отверстия необходимо производить быстро, без малейшего промедления, так как иначе в газогенератор засасывается воздух, что грозит ухудшением состава газа—его обеднением.

При работе на древесном топливе, малозольном вообще, нет необходимости открывать топочную дверцу для удаления золы, так как ее настолько мало, что она легко удаляется при потряхивании колосниковой решетки. Продолжительное открытие топочной дверцы настолько понизит температуру в топке, что грозит вызвать остановку двигателя. И только при зольном и богатом примесями топливе, образующим шлаки, такая очистка является необходимой, но она требует быстроты и сноровки кочегара.

Особенное внимание необходимо обратить при пуске ге-

нератора как после длительной остановки, так и после перерывов в работе, на накал шахты, поэтому, в случае вторичного пуска, нужно прежде всего соединить генератор с дымовой трубой для обеспечения быстрого разогрева топлива и подсушки свежесыпанного. Убедившись, что нижняя часть шахты генератора накалена, можно закрыть дымовую трубу и начать дутье для получения доброкачественного газа, который может быть опробован из крана на головке двигателя.

При желании перейти на работу в генераторе обратным процессом необходимо газогенератор отделить от мокрого очистителя, при помощи поворота крана (13), закрыть соединительный кран между газогенератором и смолоотделителем, затем сообщить газогенератор с дымовой трубой и открыть кран (12). При подготовке генератора для обратного процесса необходимо на колосниковую решетку положить фильтрующий слой золы для удержания на нем несгорающих смол. Насыпка слоя золы в 6 см недостаточна, более надежен слой в 7 см, но при значительной толщине этого слоя и высоких температурах в топке является опасность сплавления золы. Но даже и при таком слое все же замечается в смесительном клапане легкий налет жидкой смолы. Более действительной является фильтрация при укладке на колосниках слоя мелкого кокса, а затем золы слоем в 5—6 см. Но самым надежным средством для удержания смолы является *фильтр-слой из асбеста*, который укладывается на колосники, а на него слой золы толщиной в 6 см.

При таком фильтр-слое после испытания не наблюдалось никакого загрязнения смолами смесительного клапана в головке двигателя. Необходимо отметить, что фильтр-слой из кокса и золы создает большое сопротивление при засасывании газа, что отражается на мощности двигателя. При подстилке из асбеста спекания золы на колосниковой решетке не происходило, хотя температура в топке была выше 1100°.

Так как при обратном процессе выделяющиеся смолы должны проходить через раскаленную толщу топлива, где они должны после разложения сгореть, необходимо для успешности процесса в генераторе поднять температуру до требуемой высоты. Поэтому необходимо обратить особое внимание при растопке генератора на соответственное поднятие температуры в шахте. Нельзя начать нормальный обратный процесс в генераторе, пока шахта не будет приведена в состояние накала, т. е. температура в первом поясе не будет около 1000°.

Растопка генератора начинается наполнением шахты примерно на  $\frac{1}{4}$  ее высоты топливом—дровами, затем генератор топится, как обычная печь, с открытой дверцей зольника до тех пор, пока огонь не поднимется до первого ряда штуцеров. Затем следует закрыть зольник, заполнить генератор топливом до  $\frac{3}{4}$  высоты его шахты. Далее нужно сообщить генератору с очистителем, повернув кран (12), и отделить от дымовой трубы поворотом крана (14), если труба установлена прямо на генераторе.

Затем открывается верхний кран для дутья (с) и закрывают нижний кран (в). Начинают дутье. После некоторого времени пробуют качество газа, получающегося в генераторе, при помощи пробных кранов сперва перед мокрым очистителем, потом за ним и далее у газового бака и перед двигателем. Величина пламени—длинное пламя и цвет его прозрачно-голубой—указывают на хорошее качество газа.

После заполнения бака (8) газом, нужно опять загрузить топливо в генератор и кратковременно возобновить дутье. После вторичной пробы газа у пробного крана в двигателе можно пустить двигатель и постепенно открывать штуцера. Первый ряд можно приоткрыть сразу а второй ряд постепенно. Быстрое открытие штуцеров вызывает большой приток воздуха и вместе с тем охлаждение шахты. При работе влажным топливом, перед пуском двигателя, следует после заполнения газом бака перед двигателем, засыпав новую порцию топлива, продуть генератор на дымовую трубу, при закрытых штуцерах, чтобы удалить из генератора скопившиеся в верхней части водяные пары, которые на первых порах, до надлежащего раскала шахты после включения двигателя, могут понизить температуру шахты.

### 3. ТОПЛИВО

В произведенных испытаниях газогенератора применялось древесное топливо — дрова и лесосечные и лесопильные отходы. Дрова были обычно заготавливаемые для отопления: сосновые и березовые, предварительно распиленные длиной 10 см и расколотые на мелкие части. Для одного из испытаний дрова были подсушены. Лесосечные отходы доставлялись из Ленинградских подгородных опытных учебных леспромхозов Лесотехнической академии. После рубки на части длиной около 10 см они погружались в газогенератор. Изменение влажности отходов происходило вследствие естественного высыхания на воздухе с изменением погоды и на-

ступлением тепла. Для некоторых испытаний лесосечные отходы и опилки были подвергнуты предварительному поджариванию при температуре 120—180°.

Для испытаний были применены отходы: сосны, ели, ольхи и березы. В таблице №1 приведен элементарный состав этих отходов, взятых из каждой партии, доставленной в теплотехническую лабораторию, и затем выведены средние величины.

Таблица 1

Элементарный состав лесосечных отходов  
(в % от сухого веса)

Порода	Часть дерева	Углерод	Водород	Кислород и азот	Зола	Влага	Летучие	Целлюлоза	Лигнин
Сосна	Древесина	50,78	6,02	42,71	0,49	21,61	80,82	57,33	27,81
	Кора	50,02	6,28	41,50	3,20	27,27	69,25	—	—
" "	Хвоя	49,66	6,72	40,28	3,34	14,04	73,85	—	—
	Древесина	51,81	5,97	41,41	0,81	49,37	85,25	60,56	28,28
Ель	Кора	51,09	6,11	38,85	3,95	14,28	68,74	—	—
	Хвоя	49,68	6,31	39,50	4,51	8,66	79,38	—	—
Ольха	Древесина	49,92	6,44	43,20	0,44	48,33	84,43	54,70	24,88
	Кора	52,13	6,62	38,84	2,41	46,40	68,50	—	—
Береза	Древесина	49,90	6,37	42,98	0,75	39,22	80,13	61,42	23,27
	Кора	52,37	6,62	38,31	2,70	42,19	73,83	—	—

Таблица I содержит величины процентного содержания углерода, водорода, кислорода, золы, влаги, летучих, целлюлозы и лигнина в породах, применявшихся в испытаниях.

Влажность топлива, показанная в таблице, относится ко времени производства химического анализа после предварительной подготовки образца. Влажность топлива, соответствующая дню испытания, определялась особо.

В таблице II приведены сорта топлива, их действительная влажность и теплотворность, которая была определена в бомбе „Малер-Крекера“ для абсолютно сухого топлива, а затем была пересчитана на рабочую теплотворность. В этой таблице указано, при каком процессе было использовано в генераторе топливо. Отходы, на которых велись испытания генератора, должны быть признаны малоценным топливом, по своей теплотворности, а потому исследование газогенераторного процесса на таком низкосортном топливе даст возможность судить о применении отходов, как

топлива, и тем яснее станет значение этого вида топлива в общем энергетическом балансе.

Таблица II

Сорта топлива, их влажность и теплотворность

№№ по пор.	День испытания	Сорт топлива	Влажность топлива (в %)	Теплотворность в кал/кг К <sub>раб.</sub>
Процесс в генераторе прямой				
1	23/II	Дрова сосновые . . . . .	40	2401
2	16/IV	Дрова сосновые и березовые . . . . .	20	3363
3	17/IV	Дрова сосновые . . . . .	32	2997
4	17/II	Сосновые отходы . . . . .	50	2001
5	27/IV	" " . . . . .	50	2001
6	1/III	Еловые отходы . . . . .	60	1430
7	3/III	" " . . . . .	60	1430
8	26/IV	" " . . . . .	40	2334
9	6/IV	Ольховые отходы . . . . .	42	2286
10	26/II	Лиственные отходы (береза и ольха) . . . . .	40	2376
11	21/IV	Древесный отпад . . . . .	37	1920
12	13/IV	Ольховые отходы . . . . .	42	2286
13	13/IV	" " . . . . .	42	2286
Процесс в генераторе обратный				
14	1/IV	Еловые отходы . . . . .	40	2334
15	6/V	" " . . . . .	50	1919
16	7/V	" " . . . . .	50	1919
17	13/V	Ольховые отходы . . . . .	36	2586
18	23/V	" " . . . . .	36	2586
19	27/VI	" " . . . . .	36	2586
20	29/VI	Ольховые отходы с добавлением смолы . . . . .	36	3400
21	11/V	Лиственные отходы (береза и ольха) . . . . .	40	2376
22	17/V	Опилки (сосна) и ольховые отходы . . . . .	42/36	2522
23	21/V	Опилки (сосна) . . . . .	42	2417
24	21/VI	Опилки поджаренные (сосна) . . . . .	3	4446
25	23/VI	" " . . . . .	3	4446
26	26/VI	Опилки поджаренные и сосновые отходы поджаренные . . . . .	3	4337

Лесосечные отходы (ветви и сучья), снятые с заготовленного леса или полученные нарезкой ветвей кустов, имеют самую разнообразную толщину: ветви толщиной от 0,5—1,5 см. и сучья от 2—7 см. Практика испытаний отходов, как топлива для газогенераторов, произведенных в теплотехнической лаборатории Лесотехнической академии показала, что наиболее удобным для загрузки являются отходы, нарезанные кусками длиной в 10 см. Куски древесины такой длины образуют достаточно компактную массу удобную для набора в загрузочные ящики и выгрузки в питатель газогенератора, а оттуда в реторту и затем в шахту, независимо будет ли питатель отделен выдвижной заслонкой или поворотным приспособлением.

При длине в 10 см нарубленные отходы образуют в шахте слой с достаточно большими промежутками между кусками. Вес 1 дм<sup>3</sup> емкости генератора при заполнении его отходами составляет в среднем 0,137 кг/дм<sup>3</sup>, тогда как при заполнении газогенератора дровами вес дров составляет 0,204 кг/дм<sup>3</sup>. Заполнение отходами составляет 67,7% заполнения дровами.

Относя заполнение отходами к сплошному заполнению древесиной и принимая средний удельный вес свежесрубленной древесины 0,9 кг/дм<sup>3</sup>, коэффициент заполнения газогенератора отходами будет:  $100 \frac{0,137}{0,900} = 15,3\%$ , а дровами составит  $100 \cdot \frac{0,204}{0,900} = 22,5\%$ , т. е. пористость массы отходов будет значительно больше чем дров.

Принимая во внимание цилиндрическую форму нарезанных отходов, нетрудно представить вид заполнения шахты отходами.

Засыпанные в шахту цилиндрической формы отходы при длине 10 см всегда будут лежать, образуя кучевые скопления, причем возможно расположение отдельных цилиндров в перекрест; очень редко несколько цилиндров лягут, соприкасаясь по образующим. Принимая во внимание малый диаметр цилиндрической формы отходов по сравнению с их длиной и разнообразные величины диаметров ветвей и сучьев, такое расположение не угрожает образованием больших пустот, даже если некоторые цилиндры и лягут вкось. Точно так же нарезанные отходы, цилиндры сравнительно малого диаметра, не уложатся в шахте сплошной массой, штабелем.

Иное дело нарубленные дрова, даже нарезанные длиной, по 10 см или древесина, дробленая в щепу. Вследствие ограничивающих их объем плоскостей, дрова или щепы при

насыпке их в шахту могут расположиться так, что боковые ограничивающие их поверхности будут соприкасаться между собой, вследствие чего в отдельных слоях в газогенераторе образуются сплошные массы топлива, затрудняющие проход газов, а следовательно и замедляющие самый процесс газификации древесины.

Отходы, нарубленные особой дробилкой или даже вручную, заготовленные впрок, не требуют специальных хранилищ; в такой форме они быстро теряют гигроскопическую влагу, что отличает отходы от обычных дров, хотя бы и мелко нарубленных. Перелопачивание кучи отходов ускоряет процесс их высыхания. Срубленное дерево, распиленное и расколотое на швырок, требует для так называемого воздушно-сухого состояния, лежа на воздухе около года, а отходы даже при влажности 60% высыхают до воздушно-сухого состояния в течение одного—двух месяцев. Хранение отходов в кучах не вызывает опасения и при выпадении дождей, так как ветер быстро подсушивает пористую массу кучи отходов.

Если для загрузки в генератор будут заготовлены отходы крупного диаметра от 3—5 см и даже до 7 см, то такие отходы следует перемешивать с отходами меньших размеров, тонкими, для придания большей пористости этому топливу. Употребление одних отходов большего диаметра сблизило бы загрузку генератора с дровами, чем ухудшилось бы весьма важное качество отходов, которые образуют колонну в шахте, легко поддающуюся действию газов.

При высокой влажности отходы являются топливом, удобным для газификации, так как малый объем кусков предварительно нарубленных отходов при пористости массы топлива в генераторе обеспечивает достаточно полное соприкосновение горячих газов, выделяющихся в поясе горения, с свежесброшенными отходами в поясе сухой перегонки и подсушки. Влага быстро удаляется из свежей порции топлива в генераторе, причем процесс испарения влаги отходов можно наблюдать уже в загрузочном ковше до перемещения в генератор.

Как будет показано далее, при большой влажности отходов получается газ низкой теплотворности, так как пары воды, выделяющиеся при подсушке и сухой перегонке понижают температуру генератора, но и это обстоятельство в значительной мере может быть устранено умелым ведением газогенераторного процесса и, как сказано выше, предварительной подсушкой отходов. Предварительная естествен-

ная подсушка отходов не требует больших затрат и никаких технических приспособлений.

Кроме предварительной естественной подсушки отходов как лесосечных, так и лесопильных, их можно подвергнуть поджариванию, т. е. прогреть при температурах около 180—200° и выше до 250°, при коих удаляется естественная влажность и происходит начальная сухая перегонка. При поджаривании лесосечных отходов, доводя их температуру до указанных пределов, они не теряют своей прочности и остаются вместе с тем крепким, не ломким топливом, удобным для переброски и загрузки в газогенератор.

По исследованиям Ж. Дюпон,<sup>1</sup> произведенным над сосновой древесиной при нагревании таковой до 275°, разложение древесины происходит незначительно, идет выделение воды и небольших количеств кислоты и других продуктов сухой перегонки с небольшим же количеством газа. При дальнейшем повышении температуры—до 300° уже происходит усиленное разложение древесины, при котором она обугливается.

Это обстоятельство является нежелательным, так как отходы, как мелкое кусковое топливо, быстро потеряют свою прочность, да и при температурах от 300—350° выделяется водород, который, как будет видно далее, является самым ценным элементом древесины для образования теплотворности газа.

#### 4. ИСПЫТАНИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРА

##### Прямой процесс

Газогенератор был испытан при прямом и обратном процессе.

Прямым процессом будем называть такой процесс, когда газификация топлива производится при движении потока газов вверх от колосниковой решетки с пропуском воздуха через поддувало и зольник при закрытых штуцерах на боковой поверхности генератора.

Обратный процесс будет иметь место при движении газов сверху генератора вниз к колосниковой решетке и из под нее по соединительной трубе в мокрый очиститель при открытых штуцерах.

<sup>1</sup>Ж. Дюпон—„Древесина — как материал для газификации“—„Журнал Прикл. химии“ № 7—8, 1931 г.



обстоятельствам, с одной стороны, а с другой — при обратном процессе отпадали пробы перед и за смолоотделителем; взятие пробы из топки при обратном процессе не всегда представлялось возможным, так как попадающий воздух в топку вызывал остановку двигателя.

Газовый анализ производился прибором „Норзе“, при помощи которого определялись углекислота, окись углерода, водород, метан, углеводороды, кислород и по разности азот.

По элементарному составу газа, определенному перед двигателем, вычислялась теплотворность газа по формуле:

$$K_{\text{раб.}} = 30,4(\text{CO}) + 25,7(\text{H}_2) + 85,6(\text{CH}_4) + 141,0(\text{C}_n\text{H}_m).$$

В таблице III приведены величины теплотворности газа с указанием, из какого топлива, при каком процессе и при какой влажности получен силовой газ.

Для сопоставления теплотворности газа, полученного из отходов, были произведены опыты газификации дров в прямом процессе. Дрова дали газ в среднем с теплотворностью 1168 кал/м<sup>3</sup> при средней влажности 30,6%; большая теплотворность 1412 кал. получилась при использовании смеси сосновых и березовых дров с влажностью 20% и меньшая теплотворность 970 кал/м<sup>3</sup> получилась при сосновых дровах с влажностью 40%.

Лесосечные отходы при газификации прямым процессом дали газ с теплотворностью ниже, чем дрова, что зависит от влажности топлива и в особенности от протекания самого газогенераторного процесса. Вследствие сложности газогенераторного процесса и зависимости его от ряда обстоятельств, нельзя понижение теплотворности газа приписать только влиянию влажности. Опыт показал, что даже при одной и той же влажности из одной и той же породы древесины, получается газ с разной теплотворностью. Разбор этих обстоятельств будет сделан ниже.

Обратимся к таблице III. Испытания под номерами 4 и 5 дают из сосновых отходов газ при одной и той же влажности 50% различных теплотворностей: 899 и 763 кал/м<sup>3</sup>.

Еловые отходы (табл. III—6, 7, 8,) — при влажности 60%, дают газ с 866 и 1021 кал/м<sup>3</sup>, при 40% — 753 кал/м<sup>3</sup>. Ольховые отходы и смесь ольховых отходов с березовыми (табл. III—9, 10, 12, 13), дают при влажности — 42%, 40%, 42%, газ мало отличающейся теплотворности — 900, 933, 900 кал/м<sup>3</sup>.

Особняком в этой таблице (11) представляется газ, полученный из древесного отпада (в котором преобладают листья и древесная мелочь), — влажность отпада 37%, а

газ из этого вида топлива оказался с теплотворностью 1091 кал/м<sup>3</sup>.

Таблица III

Теплотворность газа

№№ по пор.	День испытания	Сорт топлива	Влажность топлива (в %)	Теплотворность газа по формуле кал/м <sup>3</sup>	Теплотворность газа, принятая в кал/м <sup>3</sup>
Процесс в генераторе прямой					
1	23/II	Дрова сосновые	40	970,06	970
2	16/IV	Дрова сосновые и березовые	20	1411,80	1412
3	17/IV	Дрова сосновые	32	1124,23	1124
4	17/II	Сосновые отходы	50	899,6	899
5	27/IV	"	50	762,54	763
6	1/III	Еловые отходы	60	866,26	866
7	3/III	"	60	1020,90	1021
8	26/IV	"	40	753,18	753
9	6/IV	Ольховые отходы	42	899,95	900
10	26/II	Лиственные отходы (смесь — береза и ольха)	40	932,66	933
11	21/IV	Древесный отпад	37	1091,19	1091
12	13/IV	Ольховые отходы	42	900	900
13	13/IV	"	42	900	900
Процесс в генераторе обратный					
14	1/IV	Еловые отходы	40	817,32	817
15	6/V	"	50	751,17	751
16	7/V	"	50	740,64	741
17	13/V	Ольховые отходы	36	699,77	700
18	23/V	"	36	850,458	850
19	27/VI	"	36	875,779	876
20	29/VI	Ольховые отходы с добавлением смолы	36	935,15	935
21	11/V	Лиственные отходы (береза и ольха)	40	765,36	765
22	17/V	Опилки сосновые и ольховые отходы	42/36	768,75	769
23	21/V	Опилки (сосновые)	42	767,016	767
24	21/VI	То же поджарен.	3	991,996	992
25	23/VI	"	3	1081,584	1082
26	22/VI	Опилки поджарен. и ольховые отходы	3	912,82	913

При сопоставлении газа, полученного из отпада, с другими величинами по таблице III видим, что этот газ уступает по теплотворности газу из дров (1412 и 1124 кал/м<sup>3</sup>) и превосходит газ из отходов.

На процесс газификации в газогенераторе большое влияние оказывает пористость массы топлива, погруженного в генератор. Этим обстоятельством должно быть объяснено получение газа сравнительно высокого качества из столь низкосортного топлива, каким является древесный отпад. Древесный отпад, легко просыхающий на воздухе, при сравнительно большей влажности (37%) не создает плотного слоя в генераторе и подвергается при этом равномерному и всестороннему действию теплоты потока газов, которая воздействует на него в поясе сухой перегонки и сушки.

Сосновые отходы в среднем дают газ—814 кал/м<sup>3</sup> при 50% влажности; еловые отходы в среднем—880 кал/м<sup>3</sup> (53%) и лиственные отходы—ольхи и березы в среднем—911 кал/м<sup>3</sup> (41%). Средняя теплотворность отходов в прямом процессе будет из девяти испытаний—870 кал/м<sup>3</sup> (47%).

Принимая во внимание, что процесс газогенератора зависит во многом от ухода и от опытности обслуживающих его работников, при выводе средней теплотворности следует отобрать только такие величины, которые мало различаются между собою, хотя бы и при различных влажностях. Возьмем по табл. III испытания—4, 6, 9, 10, 12, и 13. Из этих шести испытаний средняя теплотворность газа равна 899 кал/м<sup>3</sup>. Испытания—5 и 8, как неблагоприятные, так и 7—особо благоприятное устраняем. Можно полагать, что действительная теплотворность газа из отходов лесосечной древесины независимо от породы будет 900 кал./м<sup>3</sup> при средней влажности—47%.

Отклонение величины теплотворности газа из лиственных отходов,—от средней теплотворности—900 кал/м<sup>3</sup>, 933 кал./м<sup>3</sup> составляет +3,3%; отклонение меньшей теплотворности, полученной в испытаниях 753 кал/м<sup>3</sup> от средней—16,3%, и наибольшей величины 1021 кал/м<sup>3</sup> +13,3%. Если взять среднюю теплотворность по меньшей 753 кал/м<sup>3</sup> и большей 1021 кал/м<sup>3</sup>, то таковая будет 887 кал/м<sup>3</sup>, а выше была принята 900 кал., которая и отличается от вычисленной по крайним значениям на 1,4%.

Элементарный состав газа из отходов

Места отбора газа	Сосновые отходы											
	№ 4—17/II			№ 5—27/IV				№ 6—1/III				
	Пояс № 2	Перед двигат.		Пояс № 1	Перед смолоотд.	За мокрым очист.	Перед двигат.	Пояса				
а		б	№ 1					№ 2	№ 4	№ 6	Перед	
СО <sub>2</sub> %	10,2	10	7,4	10,9	10,1	10,4	10,2	8,3	9,4	9,9	7,9	6,0
СО%	15,6	11,0	11,5	14,7	13,0	12,2	10,0	42,9	26,9	18,9	19,5	15,0
Н <sub>2</sub> %	2,10	0,0	0,9	10,5	5,3	5,6	4,7	30,6	4,9	4,14	5,8	5,0
СН <sub>4</sub> %	7,10	6,6	6,4	6,5	2,3	2,4	2,1	0,0	3,5	3,5	3,1	2,0
С <sub>n</sub> Н <sub>m</sub> %	0,1	0,0	0,0	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	0,2	0,2	0,0
О <sub>2</sub> %	1,9	2,2	4,4	0,3	2,0	1,5	2,2	1,0	0,9	0,7	0,7	2,0
Н <sub>2</sub> %	63,2	70,2	69,8	56,8	67,1	67,6	70,2	16,7	53,9	62,7	62,8	67,0
Теплотворность К <sub>раб.</sub>	1150	899	920	1315	756	763	647	2161	1313	1008	935	860
Температура				В топке—1072° В поясе № 1—1007° Уход. газа—60°—80°								

сосновых и еловых. Процесс прямой

Еловые отходы												
№ 7—3/III			№ 8—26/IV									
Пояса		Перед двигат.	В топке над к/р.	Пояса						Перед двигат.	Влажность топлива	
№ 1	№ 6			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6			
13,0	11,0	6,0	17,8	8,5	8,6	10,4	9,3	8,7	8,8	8,5	№ 4—50%	
3,4	12,3	20,6	—	20,5	20,7	16,9	17,0	15,1	14,8	14,1	№ 5—50%	
0,0	0,0	4,6	—	7,8	7,9	8,3	9,2	9,9	9,9	8,2	№ 6—60%	
9,00	4,8	2,9	—	4,9	2,6	2,9	3,2	2,2	2,7	1,0	№ 7—60%	
0,0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	№ 8—40%	
2,6	0,2	0,6	6,5	0,4	1,0	2,5	0,8	2,9	2,7	4,3		
74,0	71,4	65,1	75,5	57,7	58,9	58,8	60,2	60,9	61,7	63		
874	827	1021	—	1271	1097	1004	1069	944	963	753		
В поясе № 1—600° В поясе № 3—150°			В топке — 1079°, 1049° В поясе № 1 — 813° Уход. газов — 67°									

Таблица IV

Для уяснения отличия приведенных выше величин теплотворности, получающихся из одного и того же топлива при равной или меньшей влажности (табл. IV испытания 4 и 5, 6 и 7, а также 8), необходимо рассмотреть данные газового анализа проб, взятых во время этих испытаний.

В испытании № 5 проба газа была взята из генератора при температуре в топке = 1072°, в поясе № 1-й температура была 1007°. Пояс № 1 находится над колосниковой решеткой на высоте 710 мм, при взятии пробы испытания № 7 в поясе № 1 температура была 600° и в поясе № 3 — 150°, при отборе пробы во время испытания № 8 в топке была температура = 1079° и, спустя час времени, = 1049°, в поясе № 1 —  $t = 813^\circ$ . Газы, уходящие из генератора, в этих случаях имели почти одинаковую температуру 60°—80°. При испытаниях № 4 и № 6 температуры определены не были. При рассмотрении таблицы IV испытаний № 5 и № 8 видно, что в обоих случаях температура в топке высокая и мало отличающаяся одна от другой. Температура в поясе № 1 — 1007° (испытание 5-ое) и 813° (испытание 8-е). При испытании № 7 — в поясе № 1 — температура 600° и в поясе № 3 — 150°. По температуре первого пояса можно предположить, что в топке температура не выше 800°—900°. Этими температурами определяется процесс в газогенераторе.

Процесс полного сгорания происходит в генераторе в слое над колосниковой решеткой; отходы, образуя пористый слой в верхних частях шахты, и после сгорания, когда топливо обугливается полностью, хорошо пропускают воздух, засасываемый через поддувало. Пояс сгорания и над ним пояс восстановления занимают в шахте генератора по высоте около 710 мм. Через этот рыхлый столб топлива у стенок генератора прорывается воздух, и в поясе восстановления происходит сгорание окиси углерода за счет кислорода прорвавшегося воздуха.

Необходимость прокалывать и шуровать засыпанную массу топлива в генераторе через штуцеры, сделанные на поверхности генератора, служит причиной попадания воздуха в более высокие пояса генератора — в пояс сухой перегонки и сушки. Этим объясняется постоянно изменяющееся количество кислорода в поясах. (См. табл. IV, испытание № 8, в топке кислорода — 6,5%, а в поясе № 1 — 0,4%, а далее количество кислорода возрастает в поясах № 5 и № 6). Пояс восстановления оканчивается у пояса № 1, где имеем CO — 20,5%. В поясе № 1 температура 813°, далее с этого

пояса и выше идет сухая перегонка. Измерения температуры в поясах показали, что температура понижается и, на основании многократных измерений можно полагать, что между поясом № 1 и № 2 сухая перегонка совершается при 400°—500°.

Исследования Юона<sup>1</sup> показали, что при таких температурах сухой перегонки выделение окиси углерода значительно понижается, а количество водорода хотя и возрастает, но все же незначительно. В связи с этими обстоятельствами понижается теплотворность газа, что и имеет место при испытаниях №№ 5 и 8 (см. табл. IV).

При испытании № 7 температура в поясе № 1 — 600°, в № 3 — 150°. Во втором поясе генератора температура должна быть около 350°—375°, при такой температуре и снижении ее в поясе № 3, количество выделяющейся окиси углерода возрастает (см. табл. IV), что и соответствует опытам Юона. Это испытание дает газ с теплотворностью 1021 кал/м<sup>3</sup>. Просматривая в табл. IV испытания №№ 4 и 6, можно сделать заключение, что во время этих испытаний процесс в газогенераторе протекал при температурах ниже опытов № 8 и 5, но выше, чем в опыте № 7.

Из разбора этих испытаний видно, что теплотворность газа, получаемого из отходов, зависит от ряда обстоятельств и прежде всего от температуры процесса. При высоких температурах в топке, а следовательно и в поясе сухой перегонки, нужно считать, что газ получается беднее нежели при температурах умеренных. Нельзя считать, что окись углерода доставляется исключительно процессом восстановления. Если посмотреть таблицу IV, то можно заметить, что количество углекислоты изменяется сравнительно незначительно, более резко колеблется количество окиси углерода, водорода и метана. В газификации древесины тяжелые углеводороды не имеют существенного значения, а окись углерода в газогенераторном процессе есть в значительной мере продукт сухой перегонки; точно так же — водород и метан. Все это относится к прямому процессу и для получения достаточно богатого газа газогенераторный процесс на древесных отходах следует вести при температурах не слишком высоких. Во всяком случае, в топке температура не должна быть выше 800—900°. Повышение температуры в топке повышает пояс горения, не улучшая деятельности пояса восстановления, и уменьшает при этом пояс сухой

<sup>1</sup> Ногин. — „Сухая перегонка дерева“, стр. 47.

## Элементарный состав газа из дров и отпада. Процесс прямой

Место отбора газа	Дрова смесь — сосна и береза		Дрова сосновые		Отпад											
	№ 2 — 16/IV		№ 3 — 17/IV		№ 11 — 21/IV											
	Пояса		Перед двигат.	За мокр.	Пояса											
	№ 1	№ 2			№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6		
Состав. части	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	Перед двигат.	За мокр.	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	Влажность	
CO <sub>2</sub>	8,2	6,8	6,9	6,6	6,7	7,6	7,2	7,2	10,4	9,4	9,1	9,0	9,2	8,4	7,8	№ 2 — 20%
CO	18,7	22,2	22,4	22,5	23,9	21,2	23,5	21,7	15,8	18,1	16,7	2,1	17,3	18,2	18,6	№ 3 — 32%
H <sub>2</sub>	11,0	9,8	10,1	9,9	12,6	11,6	10,6	8,4	6,5	9,1	6,4	10,8	10,2	8,7	10,7	№ 11 — 37
CH <sub>4</sub>	4,2	4,9	4,0	3,6	2,2	3,9	4,8	1,3	7,8	4,0	5,7	2,9	2,3	2,5	2,6	
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	
O <sub>2</sub>	1,9	1,2	0,8	0,4	1,1	0,4	1,5	1,5	0,2	0,2	0,6	0,6	0,8	1,2	1,8	
N <sub>2</sub>	55,8	55,0	55,6	56,8	53,3	55,1	52,3	60,0	59,1	59,0	61,4	56,4	60,0	60,8	58,3	
К раб.	1239	1360	1311	1275	1305	1412	1124	1124	1343	1155	1174	1195	1013	1018	1091	
Температура	В поясе															
	№ 1 — 300°															
	№ 2 — 150°															
	№ 3 — 100°															
	№ 4 — 90°															
	№ 5 — 70°															
	№ 6 — 50°															
	В поясе															
	№ 1 — 410°															
	№ 2 — 220°															
	№ 3 — 80°															
	№ 4 — 50°															

Таблица VI

## Элементарный состав газа из сосновых дров и отходов ольхи и березы

Место отбора газа	Дрова сосновые		Отходы смесь — береза и ольха		Ольховые отходы						
	№ 1 — 23/II		№ 10 — 26/II		№ 9 — 6/IV						
	Пояс № 4		Перед смолоотдел.	Перед мо- крым очист.	Перед двигат.	Пояса					
	Перед смолоотдел.	Перед мо- крым очист.				№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	Перед двигат.
Составные части	Пояс № 4	Перед смолоотдел.	Перед мо- крым очист.	Перед двигат.	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	Перед двигат.	Влажность
CO <sub>2</sub>	19,2	13,0	5,8	8,8	9,0	7,3	7,5	8,0	8,0	6,6	№ 1 — 40%
CO	12,6	19,9	12,3	14,0	18,3	17,5	19,9	22,1	19,2	18,3	№ 10 — 40%
H <sub>2</sub>	7,6	10,0	10,2	2,2	5,8	4,1	5,2	9,6	11,3	10,8	№ 9 — 42%
CH <sub>4</sub>	8,3	10,3	6,2	5,7	3,6	3,6	1,8	0,0	7,1	4,6	
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	1,6	0,00	0,00	0,00	0,6	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	
O <sub>2</sub>	3,7	0,5	1,70	3,33	1,6	2,8	3,2	3,5	1,3	0,9	
N <sub>2</sub>	47,0	56,3	64,8	65,97	61,1	64,6	62,3	56,7	52,9	58,2	
К раб.	1514	1744	1167	970	1138	960	838	933	1510	1388	
Температура	В поясе № 1 — 1086°										
	1179°										
	В поясе № 1 — 1128°										
	1059°, 1079°, 1033°										

перегонки, который и является главным поставщиком активных частей силового газа. Эти явления характеризуют газификацию сырых лесосечных отходов.

Получение генераторного газа различной теплотворности из одного и того же топлива при одинаковой влажности зависит от направления и характера протекания газогенераторного процесса. При прямом газогенераторном процессе действуют влияния процессов полного сгорания, восстановления, сухой перегонки и сушки. Если процесс полного сгорания требует полного окисления углерода и дает теплоту, то процесс восстановления является до известной степени, полной противоположностью первого, давая окись углерода, которая уничтожается первым процессом и вместе с тем поглощает теплоту. Сухая перегонка требует притока теплоты, но до известного предела; при избытке ее уменьшаются количества активных составляющих частей в силовом газе и его теплотворность уменьшается.

Газификация подсушенных сосновых и березовых дров — см. табл. V — (испытание № 2 — 16/V) при влажности 20%, сосновых (испытание № 3 — 17/IV) при влажности 32% и древесного отпада (37%) были проведены при низких температурах. Измерения при испытании № 11 показали в поясе № 1 — 410°, а при испытании № 3 — 300°. Сопоставляя по таблице V теплотворности газа в отдельных поясах по всем трем испытаниям, по которым дана эта таблица, можно заключить, что испытание № 2 проходило так же при низких температурах с интенсивной сухой перегонкой и обильным выделением во время этого процесса окиси углерода, водорода и метана. В результате такого ведения процесса получился газ высокой теплотворности. Древесный отпад обычно не считающийся даже топливом, не имеющий никакой топливной ценности, дал газ, лишь на 2,9% уступающий по теплотворности сосновым дровам.

Рассматривая таблицу VI, видим, что в этом ряде испытаний в топке должна быть более высокая температура, так как в первом поясе в среднем 1134° и 1074°, и газ получился меньшей теплотворности, чем по табл. V. Необходимо еще отметить, что теплотворность газа по поясам при низких температурах изменяется незначительно (см. табл. V), а в процессе при высоких температурах, теплотворность, несмотря на значительную величину в поясах газогенератора, резко понижается после выхода из газогенератора, когда газ проходит по пылеуловителю, смолоотделителю и мокрому очистителю. Богатый газ, более нагретый при соприкосновении с холодной про-

мывной водой в очистительной системе теряет долю своих составных частей, которые растворяются в холодной воде.

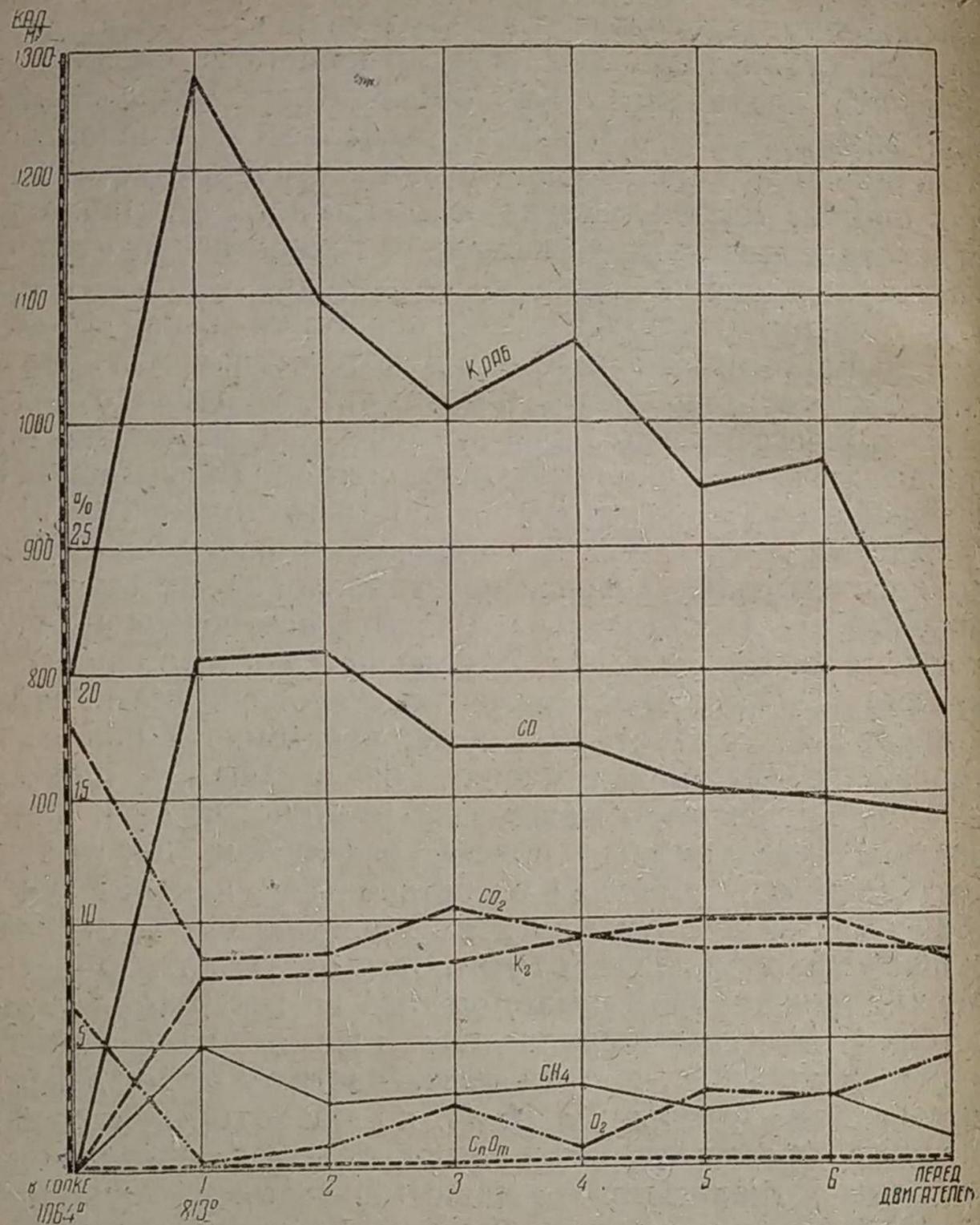
Сравнение величины теплотворности газа по поясам позволяет сделать заключение, что вывод газа из генератора сверху, пропуск газа через всю толщу топлива, подвергающегося сухой перегонке и в особенности сушки, нельзя признать правильным. Газ, проходя через пояс сушки, где при значительной влажности выделяется большое количество паров воды, которая здесь же конденсируется на стенках шахты, теряет некоторую долю своих составных частей, вследствие чего, еще до выхода из генератора его теплотворность уменьшается. Правильнее отводить газ из генератора где-то на пути, в поясе сухой перегонки. В нашем случае — между поясами № 3 и № 5; в некоторых конструкциях газогенераторов применяется именно такой способ отвода газа.

На прилагаемых диаграммах №№ 1, 2, 3, 4 представлены процессы газификации: ольховых отходов (6/IV), дров (16/IV), древесного отпада (21/IV) и еловых отходов (26/IV). Диаграмма № 4, (на фиг. 8) показывает расположение пояса полного сгорания и пояса восстановления между топкой и поясом № 1 газогенератора. Равновесное состояние углекислоты и окиси углерода определяется точкой пересечения кривых (CO) и (CO<sub>2</sub>), процесс восстановления заканчивается в поясе № 1 и затем идет сухая перегонка. Процесс характеризуется высокой температурой в топке, а потому, как уже было показано выше, теплотворность газа, пониженная и изменяющаяся в поясах, вследствие неустойчивости состава газа. Колебания в составе газа, как видно из диаграммы, наблюдаются на всем процессе сухой перегонки и сушки; эти изменения отражаются на теплотворности газа. Между поясом № 6, выходом газа из генератора и до двигателя на пути соприкосновения газа с водой происходит вновь изменение состава газа, части которого растворяются в воде (диаграмма № 4), но в некоторых случаях происходит обогащение генераторного газа, выделяющимися из воды отдельными составными частями — см. диаграмму № 3. На диаграмме № 2 — фиг. 9, видно повышение содержания в генераторном газе окиси углерода и метана, а содержание водорода уменьшается.

По диаграммам № 2 и № 3 — фиг. 10, можно видеть, что процесс полного сгорания углерода и восстановления окиси углерода заканчивается в газогенераторе у пояса № 2, так как содержание CO<sub>2</sub> непрерывно уменьшается, а CO возрастает. На диаграмме № 2 видно, что кривая  $K_{раб.}$  тепло-

творности газа, хотя и имеет колебания, но эти колебания не носят столь резкого характера, как на диаграммах № 3 и № 4. Кривая теплотворности газа в опыте № 2 (16/IV)

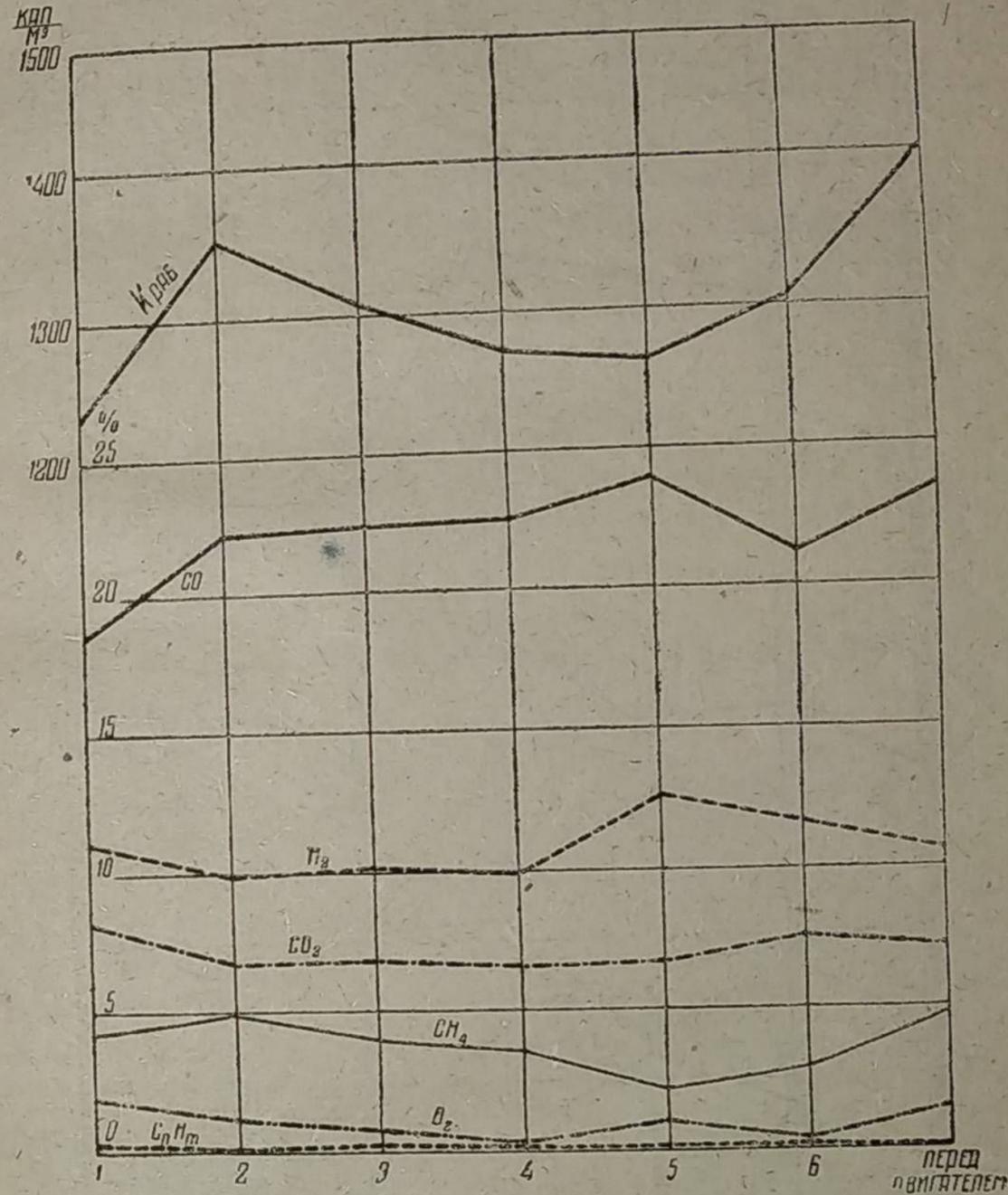
объясняются температурными условиями сухой перегонки, дающими большое количество CO и H<sub>2</sub>; количество окиси углерода хотя и медленно, но непрерывно возрастает от 22,2% до 23,9%, затем несколько уменьша-



Фиг. 8. Диаграмма № 4, (№ 8 26/IV). Прямой процесс. Еловые отходы, влажность—40%, газ— $K_{раб} = 753$  кал/м<sup>3</sup>.

на диаграмме понижается к поясу № 5, хотя в этом сечении генератора CO и H<sub>2</sub> имеется в наибольшем количестве вследствие уменьшения содержания метана.

Если сравнить кривую  $K_{раб}$  этой диаграммы с кривыми  $K_{раб}$  на диаграмме № 3 и № 4, то меньшие колебания тепло-

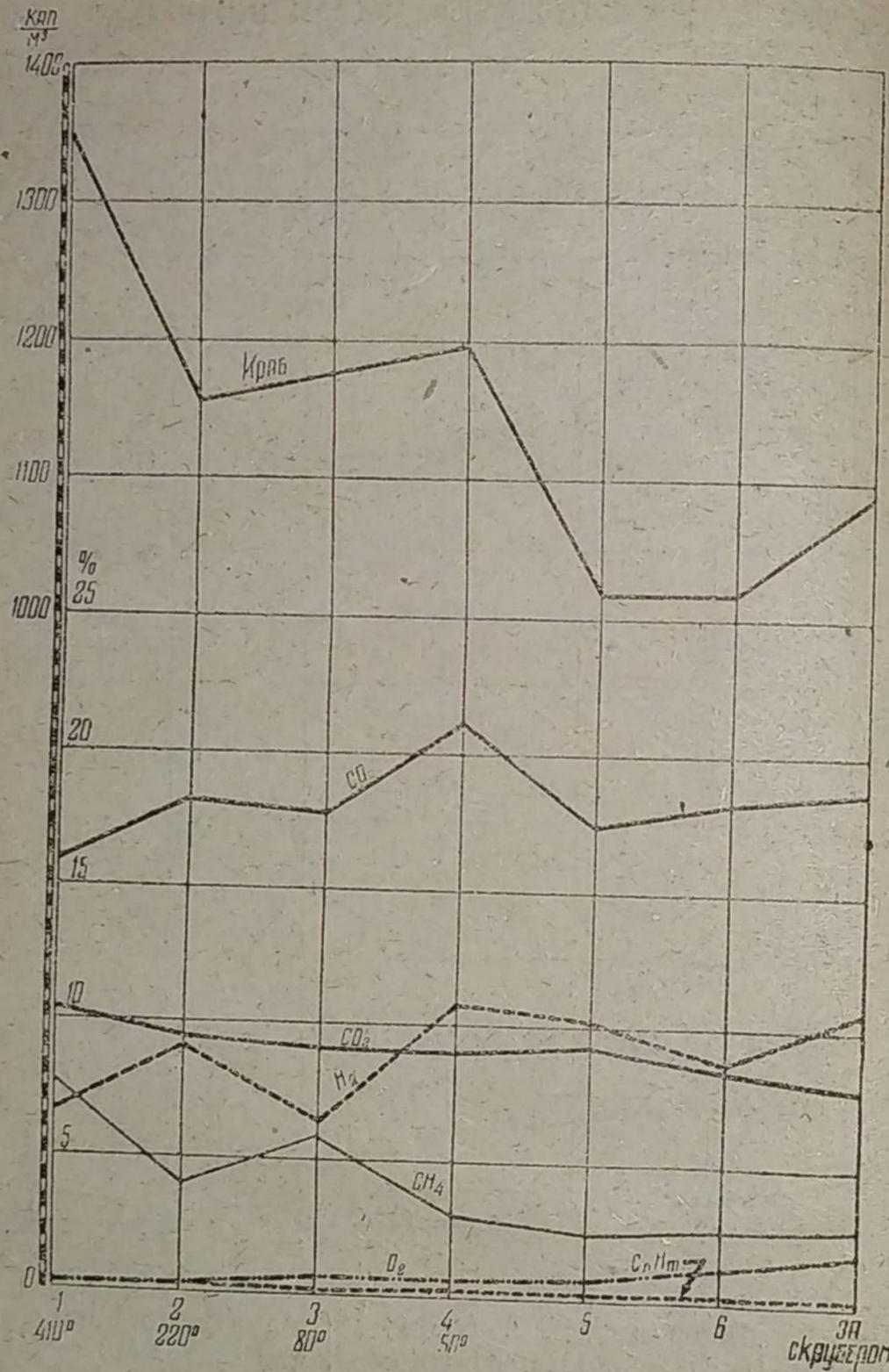


Фиг. 9. Диаграмма № 2. (№ 2—16/IV). Прямой процесс Дрова—сосна и береза; влажность 20%; газ— $K_{раб} = 1412$  кал/м<sup>3</sup>.

ется до 21,2% в частях водоочистительной системы и затем повышается до 23,5% перед двигателем. Такое же течение кривой H<sub>2</sub> можно видеть на этой диаграмме с понижением содержания водорода в газе до пояса сухой перегонки, при повышении его количества в поясе сухой перегонки до выхода из генератора и при дальнейшем уменьшении, вслед-

ствие растворения водорода в воде пылеотделителя, смолоотделителя и мокрого очистителя.

Диаграмма № 1 (фиг. 11) показывает изменение тепло-



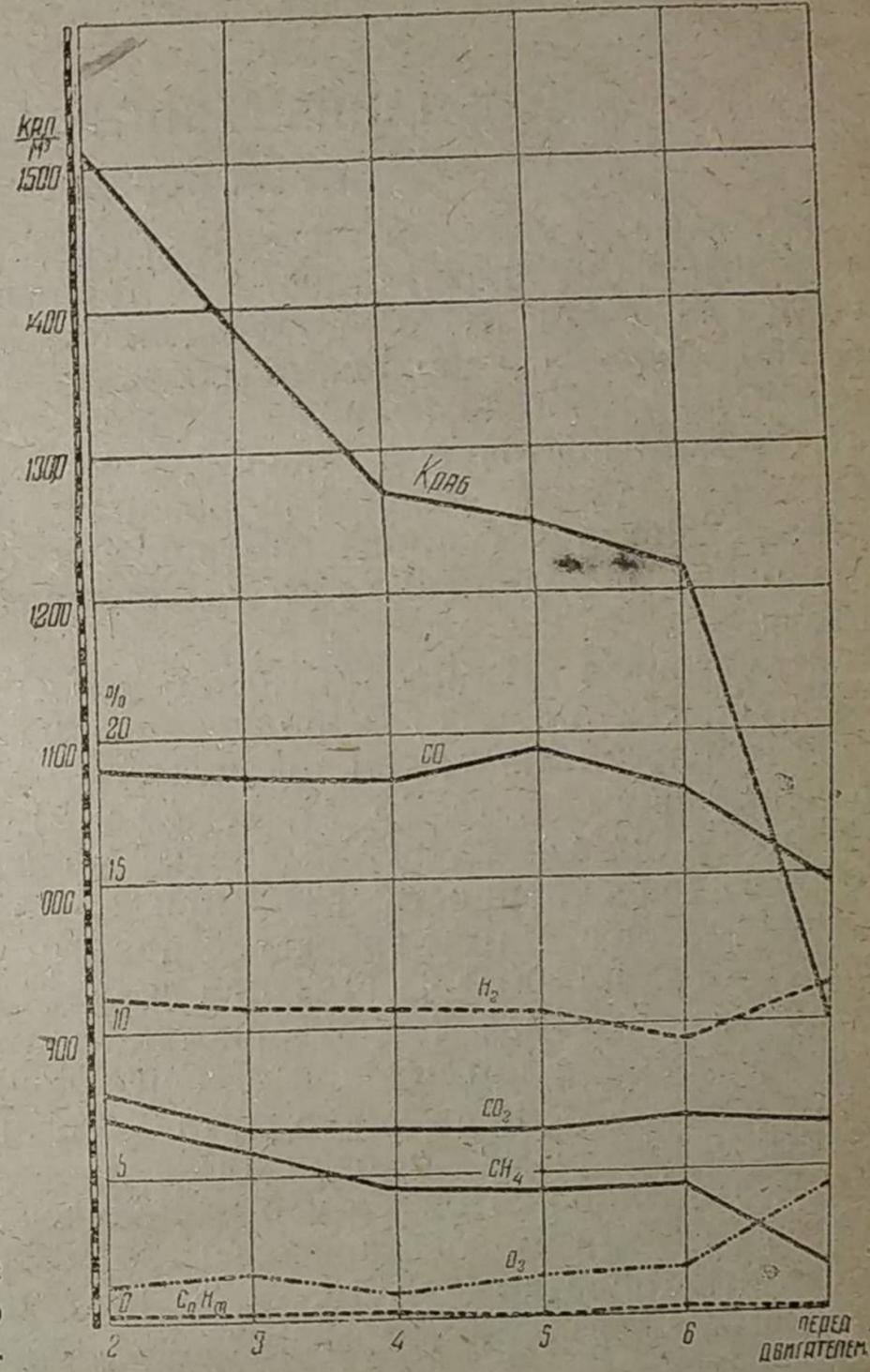
Фиг. 10. Диаграмма № 3, (№ 11—21/IV). Прямой процесс. Древесный отпад; влажность—37%; газ— $K_{раб} = 1091$  кал/м<sup>3</sup>

творности газа при изменении его состава в газогенераторе и при прохождении его через водоотделительную систему. На этой диаграмме нанесен состав газа с пояса № 2 газогенератора, т. е. с пояса сухой перегонки. Количество CO до

пояса сушки (см. № 5) изменяется мало, точно так же H<sub>2</sub>, несколько резче меняется кривая содержания CH<sub>4</sub>. Кривые диаграммы № 1 относятся к газу средней тепло-

творности, у которого  $K_{раб} = 900$  кал/м<sup>3</sup>. Кривые диаграммы № 2 и № 3—к газам высокой тепло-  
 творности  $K_{раб} = 1412$  кал/м<sup>3</sup> и  $K_{раб} = 1091$  кал/м<sup>3</sup>.  
 Кривые диаграммы № 4—к газу низкой тепло-  
 творности  $K_{раб} = 753$  кал/м<sup>3</sup>.

На основании всего вышеизложенного можно сделать заключение, что при прямом процессе выход газа высокой тепло-  
 творности зависит от влажности топлива—чем она меньше, тем выше может быть тепло-  
 творность газа. Эта возможность определяется действительно малой влажностью не выше 15—20%; но при средних и вы-  
 соких количествах влажности газ может получиться богатый или бедный



Фиг. 11. Диаграмма № 1, (№ 9—6/IV). Прямой процесс. Ольховые отходы; влажность 42%; газ— $K_{раб} = 900$  кал/м<sup>3</sup>.

в зависимости от температуры процесса и в первую очередь в зависимости от температуры в топке. При высоких температурах в топке, а следовательно и в поясе сухой перегонки, выход газа в области сухой перегонки протекает с пониженным содержанием окиси углерода и водорода,

вследствие чего теплотворность газа понижается. Только сравнительно умеренные температуры в поясе сухой перегонки  $300-600^{\circ}$ , а в топке  $800-900^{\circ}$  дают газ устойчивого состава с малой растворимостью его составных частей в воде.

## 5. ИСПЫТАНИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРА

### Обратный процесс

Обратный процесс в газогенераторе, как уже было сказано выше, упрощает газогенераторную установку и по своим свойствам настолько отличается от прямого, что на его исследовании необходимо сосредоточить особое внимание. Если газогенератор с прямым процессом является устройством постоянной станции, дающей помимо силового газа еще весьма ценные побочные продукты, то генератор с обратным процессом должен быть применен на установках передвижных без пылеуловителя и смолоотделителя.

Рассматривая таблицу III, можно заметить, что при обратном процессе силовой газ, полученный на отходах, по своей теплотворности ниже, чем газ прямого процесса. Из данных по испытаниям 14, 15, 16, 17, 18, 19 и 21, отстраняя 17, как слишком отклоняющееся от других величин, определяется средняя теплотворность газа при обратном процессе  $800 \text{ кал/м}^3$ , так что по сравнению с прямым газом теплотворность этого газа ниже на  $11\%$  при средней влажности  $-42\%$ . Такой газ по своей теплотворности должен быть признан бедным газом, а потому при получении указанного результата явилась мысль обогатить его. Испытание № 20 (29/VI) на ольховых отходах было проведено с присадкой смолы в топливо. При этом был получен газ с теплотворностью  $935 \text{ кал/м}^3$ , обогащенный на  $16,8\%$  по сравнению с обычным обратным газом. Этот опыт показал, что генераторный газ из отходов может быть обогащен присадкой побочных продуктов, получающихся при сухой перегонке. Однако, необходимо заметить, что должно быть исследовано то количественное соотношение, в котором нужно добавлять смолу к отходам. Вместе с тем из смолы надо выделить те составные части, которые полностью разлагаются в поясе горения генератора, так как не все части, составляющие смолу, разлагаются даже при высокой температуре, а при значительной присадке смолы может произойти загрязнение клапана в смесительной камере двигателя.

Опилки, как топливо, при высокой влажности  $-40\%$ , совершенно не могут быть применены при прямом газогенераторном процессе, так как они образуют непроходимый для газа слой в поясе сухой перегонки, который вместе с тем не поддается шуровке, и подача газа в двигатель прекращается, что вызывает его остановку.

При обратном процессе газ из опилок образуется свободно и легко проходит через пояс горения. Теплотворность газа из опилок при обратном процессе  $-769 \text{ кал/м}^3$  все же ниже теплотворности газа из отходов, которая в среднем  $-800 \text{ кал/м}^3$ . Это объясняется тем, что опилки сгорают менее равномерно, чем отходы, хотя средняя влажность опилок  $39,5\%$ , а у отходов  $-46,8\%$ . Пористость массы отходов значительнее, чем у опилок, а потому их масса более доступна для потока газов, несущего тепло. опыты показали, что нет равномерности, как в процессе горения топлива в генераторе, так и в распределении тепла в горизонтальных сечениях газогенератора. Пришлось наблюдать в некоторых поясах на одной стороне генератора в поясе полного сгорания — горение при температуре свыше  $1000^{\circ}$ , а в диаметрально противоположной стороне находилось даже необуглившееся топливо.

В этом отношении создание равномерности сгорания опилок представляет трудность, так как при образовании конического слоя засыпанных опилок в шахту, при полном сгорании по его поверхности, в толще слоя по оси генератора совершается частичная сухая перегонка, а иногда даже только подсушка. Так, во время испытания 21/VI при загрузке в генератор поджаренных опилок на поверхности конуса опилок, в поясе горения у штуцеров, наблюдалась температура от  $1100^{\circ}$  до  $1200^{\circ}$ , внутри пояса было  $200^{\circ}$ , а при углублении спая пирометра в толщу слоя, он показал  $20-40^{\circ}$ . При извлечении пирометра из генератора на поверхности жезла оказались опилки, не тронутые жаром.

Для улучшения газогенераторного процесса на опилках было произведено предварительное поджаривание их при температуре  $120-180^{\circ}$ . Поджаренные опилки оказались весьма ценным топливом для газификации, они теряют свою влажность, которая понизилась с  $42\%$  до  $3\%$ , при этом произошла частичная возгонка летучих, что и облегчило процесс в газогенераторе и устранило возможность образования спекающегося слоя, который образуется при сжигании сырых опилок. При испытании поджаренных опилок получилась некоторая расхождение в значениях теплотворности

газа, а именно испытание № 24 (21/VI) дало — 992 кал/м<sup>3</sup>, а при испытании № 25 (23/VI) получилось 1082 кал/м<sup>3</sup>, что составляет расхождение 8,3%; однако это различие может быть объяснено недостаточной опытностью при уходе за генератором. Практически теплотворность газа из поджаренных опилок при обратном процессе можно считать равной 1037—1050 кал/м<sup>3</sup>. Испытание № 26 (26/VI) газогенератора на смеси поджаренных опилок с такими же ольховыми отходами дало газ с 913 кал/м<sup>3</sup>.

Этот опыт показал, что при работе на опилках, подвергнутых предварительному поджариванию нет необходимости добавлять кусковое топливо, что следует делать при работе на сырых опилках. Обратный процесс на опилках протекает без затруднений, так как газ легко проходит через рыхлый горячий слой опилок и колосники; поэтому и нет необходимости создавать искусственно пористость массы опилок, загруженных в генератор.

В верхней части генератора под поясом подсушки происходит частичная сухая перегонка, вследствие передачи теплоты лучеиспусканием из пояса горения; при открытых полностью штуцерах пояса № 1 и № 2, как всегда, ведется обратный процесс в генераторе, начинается интенсивное горение, и устанавливается движение газов, часть которых подымается вверх и отдает свое тепло вышележащим слоям топлива.

При обратном процессе одни опилки (№ 23—21/V) дали газ с 767 кал/м<sup>3</sup>, а с прибавлением отходов 769 кал/м<sup>3</sup> (табл. III), кусковые отходы не улучшили процесса газификации опилок.

Для проверки величины теплотворности газа, определенной по элементарному составу, были произведены определения теплотворности газа при помощи калориметра Юнкерса. Во время испытания газогенератора на ольховых отходах при обратном процессе теплотворность газа по калориметру Юнкерса оказалась 771 кал/м<sup>3</sup>, а при прямом — 850 кал/м<sup>3</sup>. Теплотворность газа из поджаренных опилок при обратном процессе по калориметру Юнкерса оказалась 1208 кал/м<sup>3</sup>, а для смеси поджаренных опилок с такими же отходами при обратном процессе была 959 кал/м<sup>3</sup>.

Средние величины теплотворности газа из отходов по элементарному анализу мало отличаются от таковых по Юнкерсу. В таблице VII приведены эти величины. Расхождение приведенных величин объясняется тем, что при определении теплотворности калориметром Юнкерса газ добывали из генератора дутьем, которым производилось нагнетание

газа в трубопровод к двигателю, откуда он поступал по особой трубке к калориметру Юнкерса.

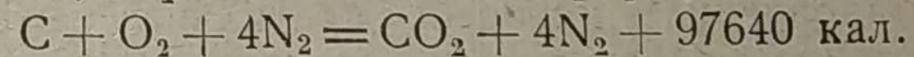
Обычное представление о ходе газогенераторного процесса, состоящего из четырех поясов: 1) пояса полного горения, 2) пояса восстановления, 3) пояса сухой перегонки и 4) пояса сушки, — грешит схематичностью; в таком построении газогенераторный процесс должен рассматриваться как чисто теоретический, да и то только в отношении прямого процесса; на самом деле газогенераторный процесс протекает сложнее, реакции перекрещиваются и влияние отдельных обстоятельств настолько его осложняет, что осуществление газогенераторного процесса, по выражению Le Chatelier, приведенному в начале настоящей работы, становится „очень трудным на деле“.

Таблица VII

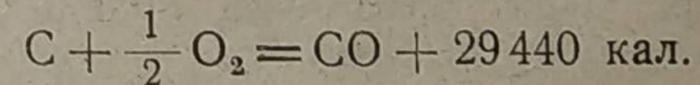
Средние величины теплотворности газа из отходов по элемент. составу и по калориметру Юнкерса

Процесс в генераторе	Горючее	Теплотворность		Отличие в % от теплотворности по Юнкерсу
		по эл. сос. кал/м <sup>3</sup>	по калор. Юнкерса кал/м <sup>3</sup>	
Прямой . . . . .	Отходы	900	850	— 6
Обратный . . . . .	„	800	771	— 3,7
„ . . . . .	Поджаренные опилки	1082	1208	+ 10
Прямой . . . . .	Поджаренные опилки с отходами	913	959	+ 4,8

Углерод топлива окисляется кислородом воздуха с выделением тепла, и реакция идет по формуле:

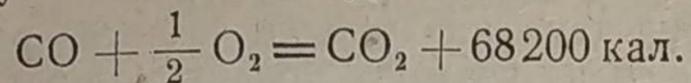


Эта реакция осуществляется в самых низких слоях топлива на колосниковой решетке в средних ее частях, тогда как вследствие понижения температуры у стенок топки газогенератора из-за отдачи тепла наружу через обмуровку и железную обшивку, по краям решетки при недостатке воздуха имеет место неполное окисление углерода топлива по реакции:

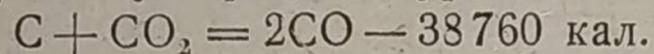


При дальнейшем продвижении в толще слоя топлива получившаяся окись углерода, встречаясь с прорывающи-

мися струями воздуха, окисляется вновь кислородом воздуха и получается углекислота по уравнению:



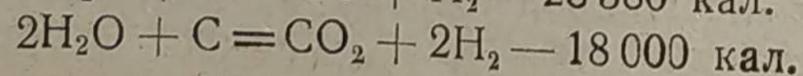
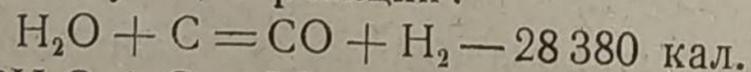
На ряду с этими реакциями, имеет место и реакция частичного восстановления окиси углерода из углекислоты у раскаленных кусков углерода по уравнению:



Пробы газа, взятые во время испытания 26/IV (см. диаграмму № 4), из отверстия *a* (см. фиг. 6) указывают, что образование окиси углерода отмечается над самой колосниковой решеткой немного выше 65 мм. И только в поясе № 1 количество окиси углерода возрастает значительно по сравнению с количеством углекислоты. Полное сгорание углерода происходит в сравнительно незначительном слое, как показывает эта диаграмма, т. е. в слое толщиной в 65 мм, а далее идет образование окиси углерода и углекислоты по приведенным выше реакциям. В слое толщиной — 645 мм, между отверстием *a* и поясом № 1 происходит образование окиси, как преобладающей составляющей части в газе, путем восстановления из углекислоты, но наличие здесь углекислоты говорит, что процесс окисления окиси углерода в углекислоту имеет место наряду с образованием окиси углерода.

Необходимо признать, что и резко очерченного пояса восстановления нет, как нет такого же ограниченного пояса полного сгорания. Есть пояс „преобладающего образования окиси углерода“, что однако не исключает, как сказано выше, появление углекислоты по проведенным реакциям и даже возможно проникновение углекислоты, образовавшейся в самых нижних слоях топлива на колосниковой решетке, в те выше лежащие части газогенератора, так называемого „пояса восстановления“, который правильнее было бы назвать: „поясом преобладающего образования окиси углерода“.

При газификации влажного топлива, как это имело место в наших испытаниях, нет необходимости в присадке воды в пояс горения, так как запас воды, заключенный в топливе и так вполне достаточен для обогащения генераторного газа водородом. Уже при температуре 400° идет процесс газообразования при прохождении паров воды через раскаленный слой угля. При разложении водяных паров могут иметь место следующие реакции:



Первая реакция происходит при более высоких температурах, а вторая — при более низких, обе реакции протекают с поглощением тепла. Это обстоятельство и создает трудность ведения газогенераторного процесса при влажном топливе, однако наши испытания показывают, что при прямом процессе в газогенераторе существенное значение имеет установление таких температур в поясе сухой перегонки, которые обеспечивают наиболее теплотворный газ.

Пояс „горения“ и „преобладающего образования окиси углерода“ по высоте сравнительно невелики, а потому при больших скоростях прохождения газов через раскаленный уголь, реакция восстановления окиси углерода не может дать достаточно большого количества окиси углерода; поток нагретых газов из нижних слоев генератора несет теплоту в пояс сухой перегонки, где и происходит газификация топлива.

## 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАТНОГО ПРОЦЕССА

При схематическом рассмотрении прямого генераторного процесса можно различить четыре пояса по направлению движения газов от колосниковой решетки к верху генератора. Первый пояс — полного горения, второй — преобладающего образования окиси углерода, третий — сухой перегонки и четвертый — сушки горючего.

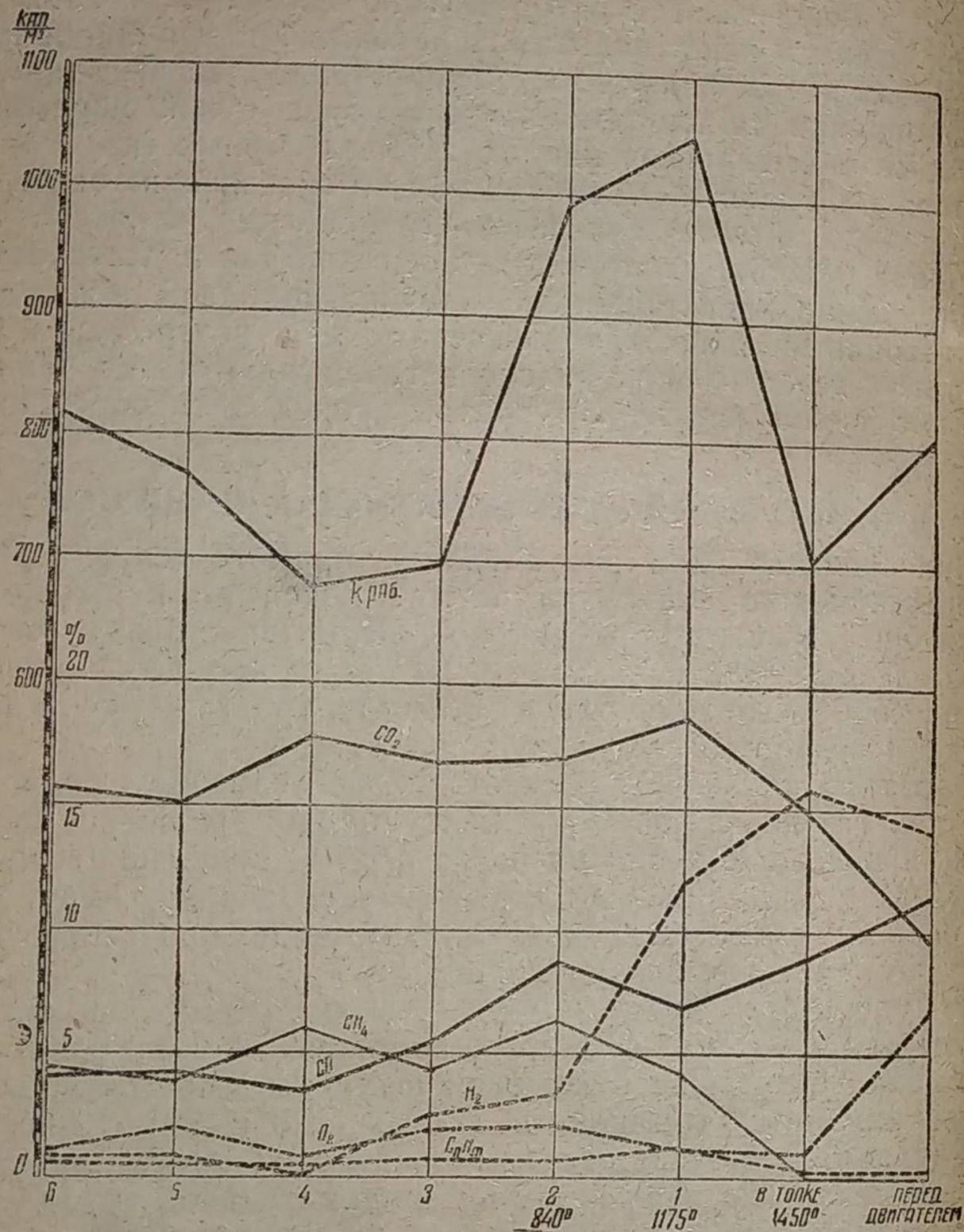
Обратный процесс протекает в более сложных условиях, так как газ перемещается к колосниковой решетке сверху вниз, а воздух подводится через особые боковые отверстия в стенах генератора, как в генераторе завода Дейц, или, по особой трубе, установленной внутри по оси генератора, как в генераторах завода Герлиц.

В генераторе Дейц воздух подводится через особые штуцеры на высоте, примерно, половины генератора. В случае мелкого топлива открывают штуцеры в поясах № 1 и 2, а при крупном топливе в поясах № 3 и 4 (см. фиг. 6). Поддувало и топочная дверца должны быть плотно закрыты; газ протекает из генератора по соединительной трубе непосредственно в мокрый очиститель, сухой очиститель и далее по трубам через газосборник к двигателю.

Возникает вопрос о том, как располагаются в генераторе отдельные пояса, по которым проходит последовательно газ, и как протекает процесс во всей совокупности отдельных превращений топлива.

Произведенные испытания показали, что обратный процесс протекает иначе, чем прямой.

Рассмотрим таблицу VIII (испытания № 15 и 16) и диаграмму № 5—фиг. 12. Температура в топке при испытании № 15 в среднем  $1450^{\circ}$  и в поясе № 1— $1175^{\circ}$ , в поясе № 2— $840^{\circ}$



Фиг. 12. Диаграмма № 5, (№ 15—6/V). Обратный процесс. Еловые отходы; влажность — 50%; газ—Крпб =  $751 \text{ кал/м}^3$ .

По этим температурам можно считать, что пояс сгорания топлива расположен на уровне пояса № 1. По температуре пояса № 2 можно полагать, что в поясе № 3 температура будет до  $300^{\circ}$ — $400^{\circ}$ . При такой температуре здесь будет

происходить сухая перегонка, так как доступ воздуха начинается с пояса № 2, с возрастающим содержанием в газе CO до пояса № 2; затем в первом поясе количество окиси углерода уменьшается, а количество CO<sub>2</sub> возрастает. Здесь в поясе № 2 воздух поступает снаружи через штуцерные отверстия и при температуре  $840^{\circ}$  происходит частичное окисление окиси углерода в углекислоту за счет кислорода воздуха, количество коего в поясе № 2 возрастает, а от пояса № 1 к топке убывает. От пояса № 1 к топке количество CO<sub>2</sub> убывает (от 18,7% до 14,8%), а CO возрастает (от 6,9% до 8,9%) — здесь имеет место частичное восстановление окиси углерода в слое раскаленного углерода.

Водород, как продукт сухой перегонки в верхних поясах появляется в малых количествах и в поясе № 4 исчезает вовсе. Далее к поясу № 2 его количество увеличивается до 3,4% и затем возрастает непрерывно (диаграмма № 5) в поясе № 1 и в топке. Здесь при возрастании температуры с  $840^{\circ}$  до  $1450^{\circ}$  (и даже до  $1500^{\circ}$ ) увеличивается количество водорода, вследствие непрерывного разложения паров воды при столь высоких температурах. Так как поток газов в генераторе движется непрерывно, вследствие засасывания газа работающим двигателем, то и процесс разложения паров воды будет непрерывно продолжаться, „если удалить продукт диссоциации—прекратившееся разложение опять станет продолжаться“.<sup>1</sup>

В поясе № 1—водорода 12,1%, в топке — 15,8% и перед двигателем немного менее — 14,1%. Теплотворность газа изменяется, уменьшаясь от пояса № 6 ( $817 \text{ кал/м}^3$ ) до пояса № 3 ( $698 \text{ кал/м}^3$ ) и затем резко возрастает в поясе № 2 и № 1 до  $1049 \text{ кал/м}^3$ , а в топке уменьшается, так как метан исчезает полностью.

По исследованиям Мейер и Альтмейер при высоких температурах равновесное состояние метана нарушается, и он распадается<sup>2</sup>. Распад метана, по Le Chatelier<sup>3</sup>, начинается при температурах от  $900^{\circ}$ — $1000^{\circ}$ ; при  $1000^{\circ}$  распад метана идет быстро, так как метан и другие углеводороды не устойчивы, и они стремятся разложиться на углерод и водород, а в месте с тем углекислота действует на углерод и водяной пар, образуя окись углерода, и освобождает водород.

Однако, по исследованиям Бон и Джордан, углерод

<sup>1</sup> Менделеев, „Основы химии“, т. I, стр. 286.

<sup>2</sup> G w o s d z, Generatorgas стр. 19.

<sup>3</sup> Le Chatelier. — „Chaufage industriel“.

Место отбора газа	№ 14 — 1/IV			№ 15 — 6/V					№ 16 — 7/V														
	Перед мокрым очист.	За мокрым очист.	Перед двигат.	Пояса					В топке	Перед двигат.	Пояса						Перед мокрым очист.	Перед двигат.	Влажность				
				№ 6	№ 5	№ 4	№ 3	№ 2			№ 6	№ 5	№ 4	№ 3	№ 2	№ 1							
Составн. части																							
CO <sub>2</sub> %	10,1	11,3	10,1	15,7	15,0	17,8	16,8	17,0	14,8	9,6	9,0	9,4	9,8	9,8	9,7	16	17,2	14,1	№ 14—40%				
CO%	8,8	8,5	3,4	4,1	4,2	3,5	5,5	8,8	8,9	11,4	2,7	2,6	2,4	2,6	2,0	2,0	5,4	5,8	№ 15—50%				
H <sub>2</sub> %	14,0	11,8	7,6	0,9	0,9	0,0	2,5	3,4	15,8	14,1	1,3	1,2	1,4	1,3	0,6	0,0	10,6	13,2	№ 16—50%				
CH <sub>4</sub> %	3,1	—	5,4	4,4	3,9	6,0	4,3	6,3	0,00	0,00	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6	2,2	2,6	2,3					
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> %	0,2	0,2	0,4	0,6	0,5	0,4	0,7	0,7	0,2	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,0	0,2	0,2					
O <sub>2</sub> %	2,2	4,0	5,4	1,1	2,0	0,8	1,9	2,1	1,0	6,7	9,6	9,2	9,4	9,2	9,3	0,8	0,8	1,0					
N <sub>2</sub> %	63,6	64,2	67,6	73,2	73,5	71,5	68,3	61,7	59,3	57,9	75,5	75,8	75,3	75,3	75,4	79,0	63,2	63,4					
Краб кал/м <sup>3</sup>	921	589	817	817	763	676	698	993	705	751	305	286	271	283	270	188	662	741					
Температура	В топке — 1500°, 1400° В поясе № 1 — 1250°, 1100° „ № 2 — 840°																						

ов. Еловые отходы. Обратный процесс

и водород соединяются при 1200°, и „единственным продуктом соединения является метан<sup>1</sup>“.

При возрастании температуры в поясах № 2 и № 1, где температура изменяется от 840 до 1175°, количество метана сперва понижается от 6,3% до 4,2%, а затем при повышении температуры до 1450° метан в топке исчезает полностью, разлагаясь на водород и углерод, способствуя сохранению содержания в газе водорода и повышая содержание CO, которое получается, как сказано выше, вследствие действия CO<sub>2</sub> на освобождающийся углерод.

Как видно из опыта № 15 — метан распадается при высоких температурах, вследствие чего получается газ бедный с теплотворностью 751 кал/м<sup>3</sup>.

В испытании № 14 пробы газа были взяты в трех местах (см. табл. VIII); метан оказался перед двигателем в количестве 5,4%; за мокрым очистителем его не оказалось. Отсутствие метана в данной пробе газа может быть объяснено тем, что состав газа непрерывно изменяется по мере прохождения в газогенераторной системе, и отсутствие

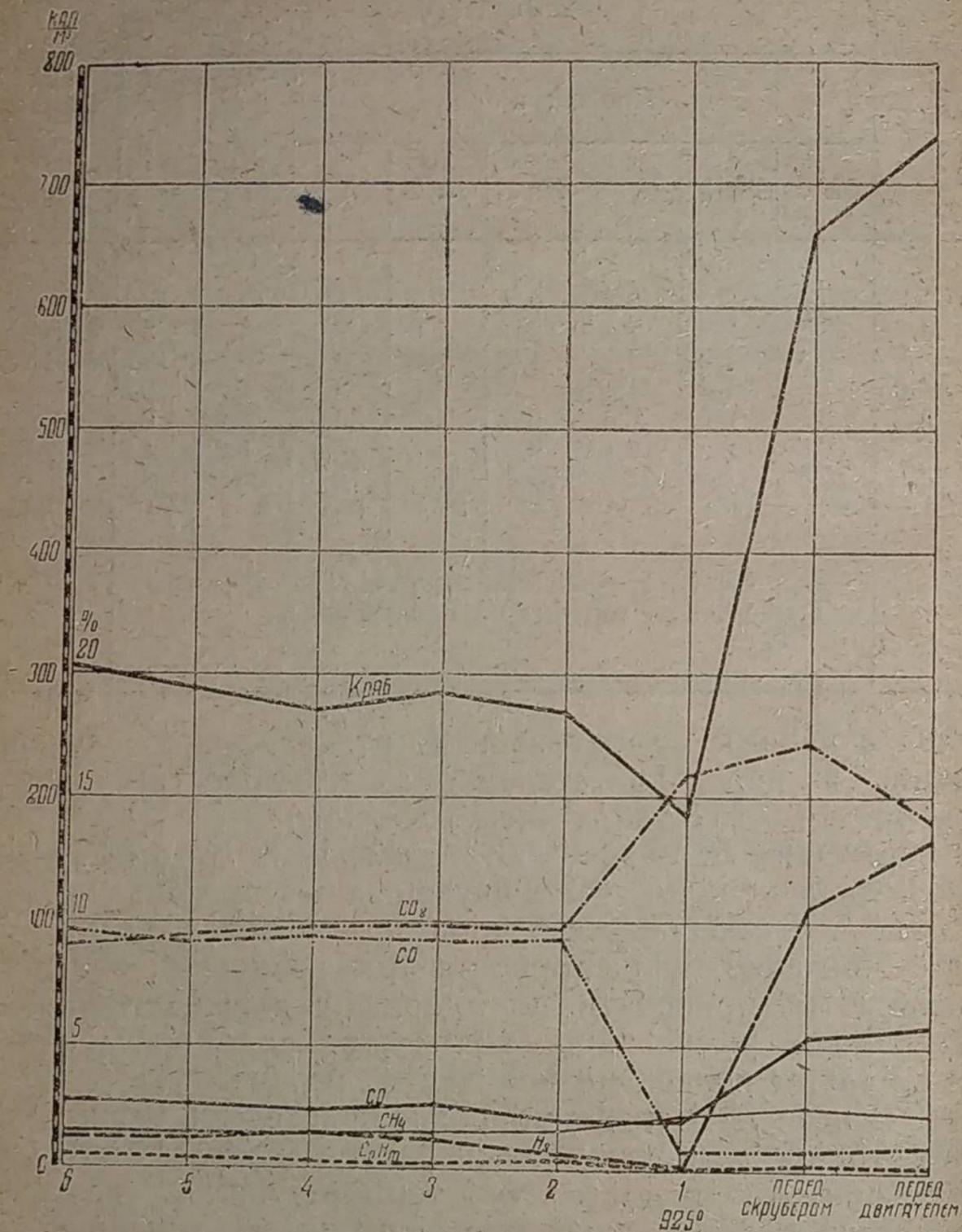
метана в данный момент зависит от каких-либо случайных причин. Газ перед двигателем оказался более высокой теплотворности — 817 кал/м<sup>3</sup>, чем в № 15.

В испытании № 16 (фиг. 13 — диаграмма № 6) получается газ, еще более бедный, чем в двух предшествующих случаях — 741 кал/м<sup>3</sup>. в течение всего процесса от пояса № 6 до № 1 идет понижение теплотворности при увеличении количества углекислоты, при почти постоянном содержании CO, при постепенном уменьшении количества водорода и при незначительном колебании количества метана.

От пояса № 1 и до мокрого очистителя газ проходит через топку, в которой температура должна быть около 1200°, так как в поясе № 1 температура по измерению оказалась — 925°. Реакция протекала при увеличенном количестве кислорода в данном случае, по сравнению с рассмотренными; количество углекислоты увеличивается в поясе № 1 и в топке, так что оно значительно больше и перед двигателем, чем в испытаниях №№ 14 и 15. Количество окиси углерода увеличивается восстановлением незначительно, но водород обогащает газ после пояса № 1, вследствие разложения водяного пара и метана. Количество метана

<sup>1</sup> Менделеев, „Основы химии“, т. I, стр. 167.

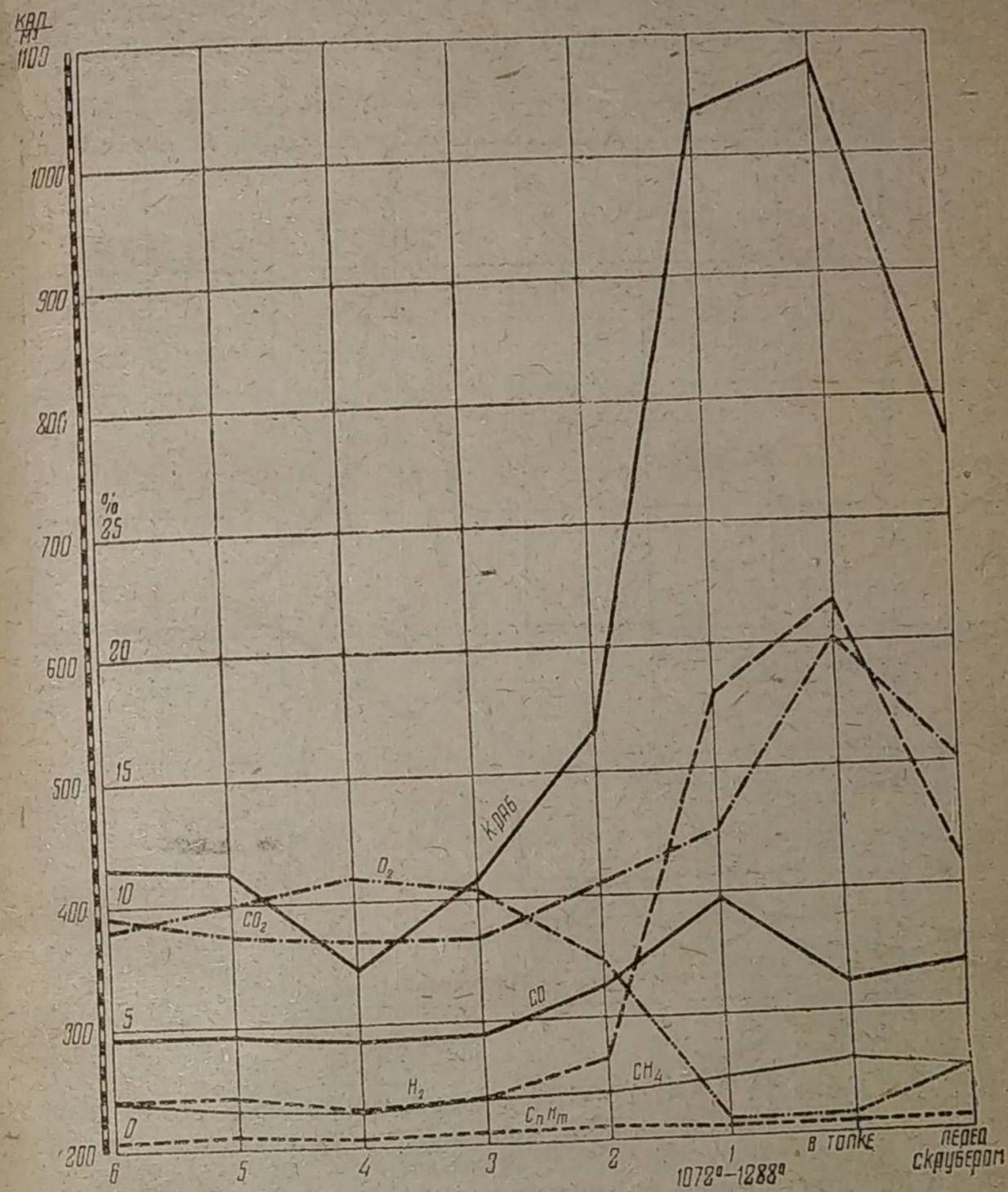
возрастает, хотя незначительно, после прохождения топки, где можно предполагать температуру соответствующую устойчивости образования метана, так как в первом поясе



Фиг. 13. Диаграмма № 6 (№ 16—7/V). Обратный процесс. Еловые отходы; влажность—50%, газ—Краб = 741 кал/м³.

температура 1026°. Температурные условия после пояса № 1 и в топке в данном случае приближаются к выгодным для сохранения метана и образования сначала водорода и затем метана.

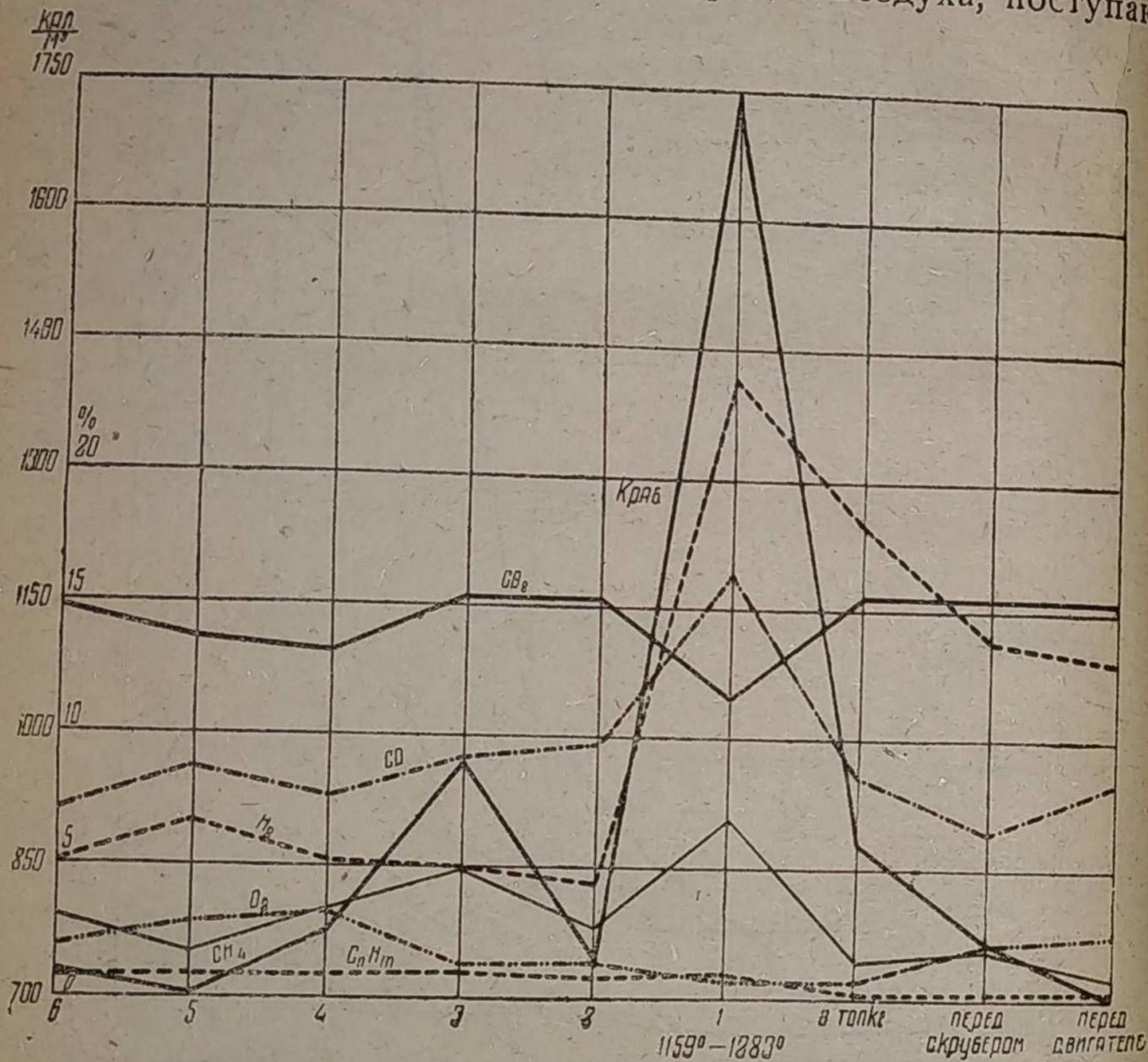
Испытания газогенератора №№ 17, 18, 19 и 21 (таблица IX и диаграммы № 7, 8, 9, 10) — фиг. 14, 15, 16, 17) на смеси отходов березовых и ольховых, а также только ольховых,



Фиг. 14. Диаграмма № 7, (№ 21—11/V). Обратный процесс. Отходы смесь: береза и ольха; влажность—40%; газ—Краб = 765 кал/м³.

дают картину, близкую к той, которая получилась при испытаниях на еловых отходах. Температура в испытаниях 21, 17, 18, в поясе № 1 колеблется от 1072° — 1288°, 1159° — 1283° и 1250°, только в испытании 19 — температура в этом поясе 620°.

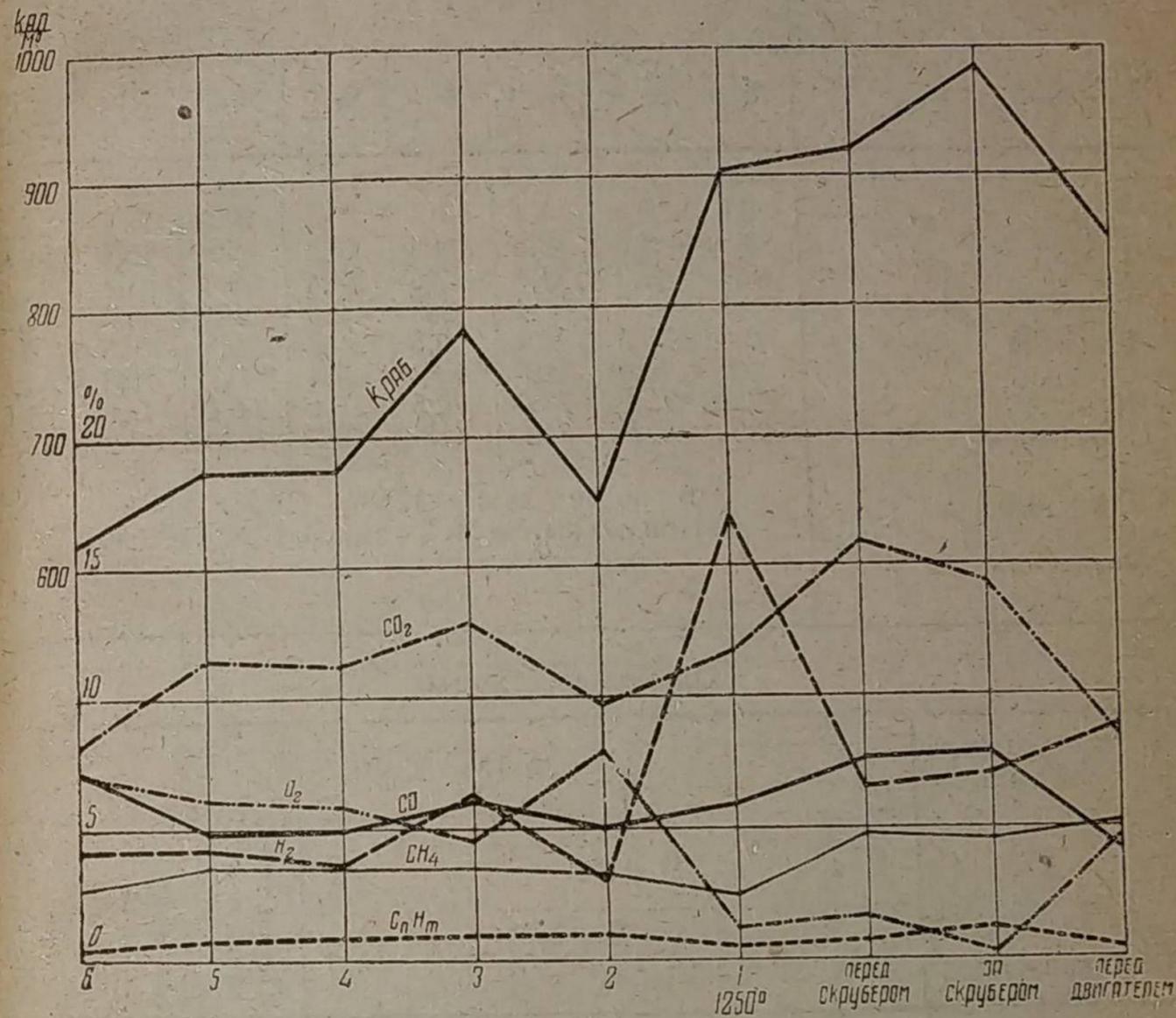
В испытании № 21 (диаграмма № 7) фиг. 14 между поясами № 2 и № 1 в газе увеличивается содержание окиси углерода, углекислоты и водорода, но на пути между № 1 и топкой возрастает количество водорода — 21,7%, и углекислоты до 20,1%, а содержание окиси углерода убывает, вследствие сгорания ее в углекислоту с кислородом воздуха, поступаю-



Фиг. 15. Диаграмма № 8, (№ 17—13/X). Обратный процесс. Ольховые отходы; влажность 36%; газ—Краб = 700 кал/м³.

щего через штуцера; теплотворность газа перед мокрым очистителем резко уменьшается, вследствие понижения содержания водорода. При выходе газа из генератора через нижнее выпускное окно навстречу газу течет струя воды из мокрого очистителя, причем она имеет низкую температуру (5—6°); далее газ проходит в мокрый очиститель навстречу потоку промывной воды, которая падает каскадом из мелких брызг; в нижней части мокрого очистителя бе-

рется проба газа. Промывка горячего газа после генератора холодной водой уменьшает его теплотворность, понижая в газе содержание водорода, по сравнению с его количеством в поясе № 1 и в топке, что наблюдается во всех испытаниях (табл. IX), причем за мокрым очистителем коли-



Фиг. 16. Диаграмма № 9, (№ 18—23/V). Обратный процесс. Ольховые отходы; влажность—36%; газ—Краб = 850 кал/м³.

чество водорода увеличивается незначительно (см. исп. № 18 и № 19).

В испытаниях № 17, 18 и 19 (фиг. 15, 16 и 17 — диаграммы №№ 8, 9 и 10) можно видеть возрастание теплотворности газа в поясе № 1 и особенно сильно наблюдается это изменение в поясе № 1 испытания № 19 (диаграмма № 10), здесь теплотворность газа достигает весьма большой величины 2157 кал/м³, вследствие резкого повышения содержания в газе водорода до 21,69% и окиси углерода с 6,61% до

Элементарный состав газа из лиственных отходов

Места отбора газа	№ 21 — 11/V							В топке	Перед мокрым очистит.
	П о я с а								
	№ 6	№ 5	№ 4	№ 3	№ 2	№ 1			
Состав. части									
CO <sub>2</sub> %	9,6	8,8	8,4	8,4	10,3	12,5	20,1	15,6	
CO%	4,6	4,6	4,3	4,4	6,2	9,8	6,1	11,1	
H <sub>2</sub> %	2,1	2,2	1,6	2,0	3,4	18,0	21,7	2,2	
CH <sub>4</sub> %	2,1	1,7	1,4	1,9	2,0	2,4	2,9	0,3	
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> %	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	2,5	
O <sub>2</sub> %	9,0	10,0	10,9	10,3	7,4	0,7	0,8	61,6	
N <sub>2</sub> %	72,2	72,1	73,0	72,5	70,1	56,10	47,9	76,5	
Крб кал/м	430	427	348	418	532	1036	1062		
Температура	В поясе № 1 — 1288°, 1072°, 989°								
Влажность	При открытом № 2 темпер. в № 1 — 890° 40%								

Ольховые отходы

Места отбора газа	№ 18 — 23/V							Перед мокрым очистит.	За мокр. очистит.	Перед двигат.
	П о я с а									
	№ 6	№ 5	№ 4	№ 3	№ 2	№ 1				
Состав. части										
CO <sub>2</sub> %	8,2	11,5	11,3	12,9	9,8	11,7	15,9	14,4	8,5	
CO%	7,24	4,90	4,96	6,05	4,98	5,89	7,68	7,87	4,17	
H <sub>2</sub> %	4,2	4,32	3,68	6,18	3,01	17,19	6,57	7,08	8,90	
CH <sub>4</sub> %	2,84	3,58	3,53	3,53	3,29	2,46	4,80	4,59	5,1	
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> %	0,4	0,8	0,9	1,0	1,00	0,5	0,7	1,20	0,4	
O <sub>2</sub> %	7,1	6,1	5,9	4,5	8,0	1,2	1,70	0,20	4,7	
N <sub>2</sub> %	70,02	68,8	69,73	65,94	69,92	61,06	62,65	64,66	68,23	
Крб кал/м <sup>3</sup>	627	679	674	786	651	905	912	983	850	
Температура	В поясе № 1 — 1250°									
Влажность	При прямом процессе № 1 — 600° 36%									

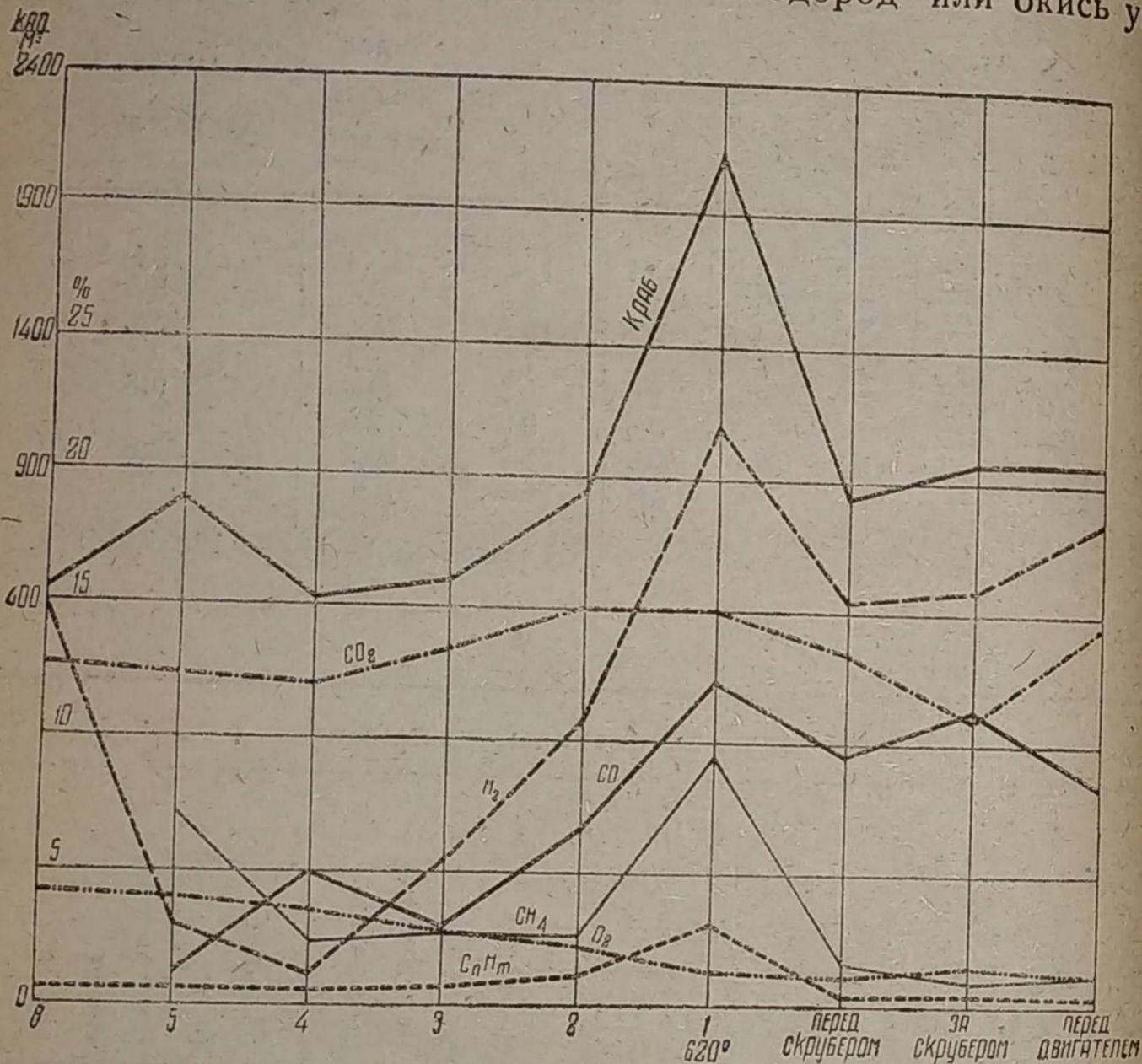
Обратный процесс смесь: березовые и ольховые отходы

Места отбора газа	№ 17 — 13/V						В топке	Перед мокрым очистит.	Перед двигателем
	П о я с а								
	№ 6	№ 5	№ 4	№ 3	№ 2	№ 1			
Состав. части									
CO <sub>2</sub> %	14,7	13,7	13,2	15,3	15,3	11,4	15,5	15,4	15,5
CO%	7,1	8,7	7,7	9,2	9,7	16,4	8,5	6,4	8,3
H <sub>2</sub> %	5,1	6,6	5,2	4,9	4,4	24,2	18,2	13,8	13,1
CH <sub>4</sub> %	3,1	1,7	3,3	4,8	2,6	6,8	1,3	1,9	0,8
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> %	0,8	0,9	0,9	1,0	0,8	1,0	0,2	0,3	0,3
O <sub>2</sub> %	2,0	2,8	3,2	1,2	1,3	0,6	0,6	2,0	2,4
N <sub>2</sub> %	67,2	65,6	66,5	63,5	65,9	39,6	55,7	60,2	59,6
Крб кал/м	725	706	771	957	743	1744	866	764	700
Температура	В поясе № 1 — 1172°, 1283°, 1159°								
Влажность	36%								

Ольховые отходы

Места отбора газа	№ 19 — 27/VI.						Перед мокрым очистит.	За мокр. очистит.	Перед двигат.
	П о я с а								
	№ 6	№ 5	№ 4	№ 3	№ 2	№ 1			
Состав. части									
CO <sub>2</sub> %	12,7	12,4	12,0	13,4	15,0	15,0	13,4	10,9	14,6
CO%	—	1,22	4,98	3,01	6,61	12,28	9,64	11,24	8,53
H <sub>2</sub> %	14,91	3,04	1,15	5,39	10,65	21,69	15,41	15,87	18,15
CH <sub>4</sub> %	—	7,14	2,27	2,66	2,58	9,38	1,47	0,83	1,27
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> %	0,6	0,6	0,5	0,6	1,0	3,0	0,30	0,40	0,30
O <sub>2</sub> %	4,2	4,0	3,5	2,7	2,2	1,2	1,0	1,40	1,10
N <sub>2</sub> %	67,59	73,6	75,6	72,24	61,96	37,45	57,78	53,36	56,05
Крб кал/м <sup>3</sup>	468	812	446	542	836	2157	857	877	876
Температура	В поясе № 1 — 620°								
Влажность	При пробной присадке смолы в поясе № 1 — 1128° 36%								

12,28%. Но во всех испытаниях теплотворность газа понижается к двигателю, что свидетельствует о неустойчивом равновесии состояния газа, причем высокая температура в топке и поясе № 1 создает газ, легко теряющий между мокрым очистителем и двигателем водород или окись уг-



Фиг. 17 Диаграмма № 10 (№ 19—27/VI). Обратный процесс. Ольховые отходы; влажность—36%; газ—Краб = 876 кал/м<sup>3</sup>.

лерода или метан (испытания 21, 17, 18); испытания № 19 при низкой температуре дал газ из ольховых отходов наибольшей теплотворности пробратном процессе.

К только что рассмотренной группе испытаний необходимо отнести испытание ольховых отходов с присадкой смолы (табл. X и диаграмма № 11 — фиг. 18).

В этом испытании была определена температура в топке — 1141° и в начале испытания температура в поясе № 1 была — 1267°, но ко времени взятия пробы при установив-

шемся режиме двигателя, а следовательно и генератора — 1128°; в поясе № 2 — 610° и в поясе № 3 — 210°. В противоположность ранее рассмотренным испытаниям, количество окиси углерода убывает в данном случае в поясе № 1, а количество углекислоты и водорода увеличивается так же, как в только что разобранных испытаниях. Перед дви-

Таблица X

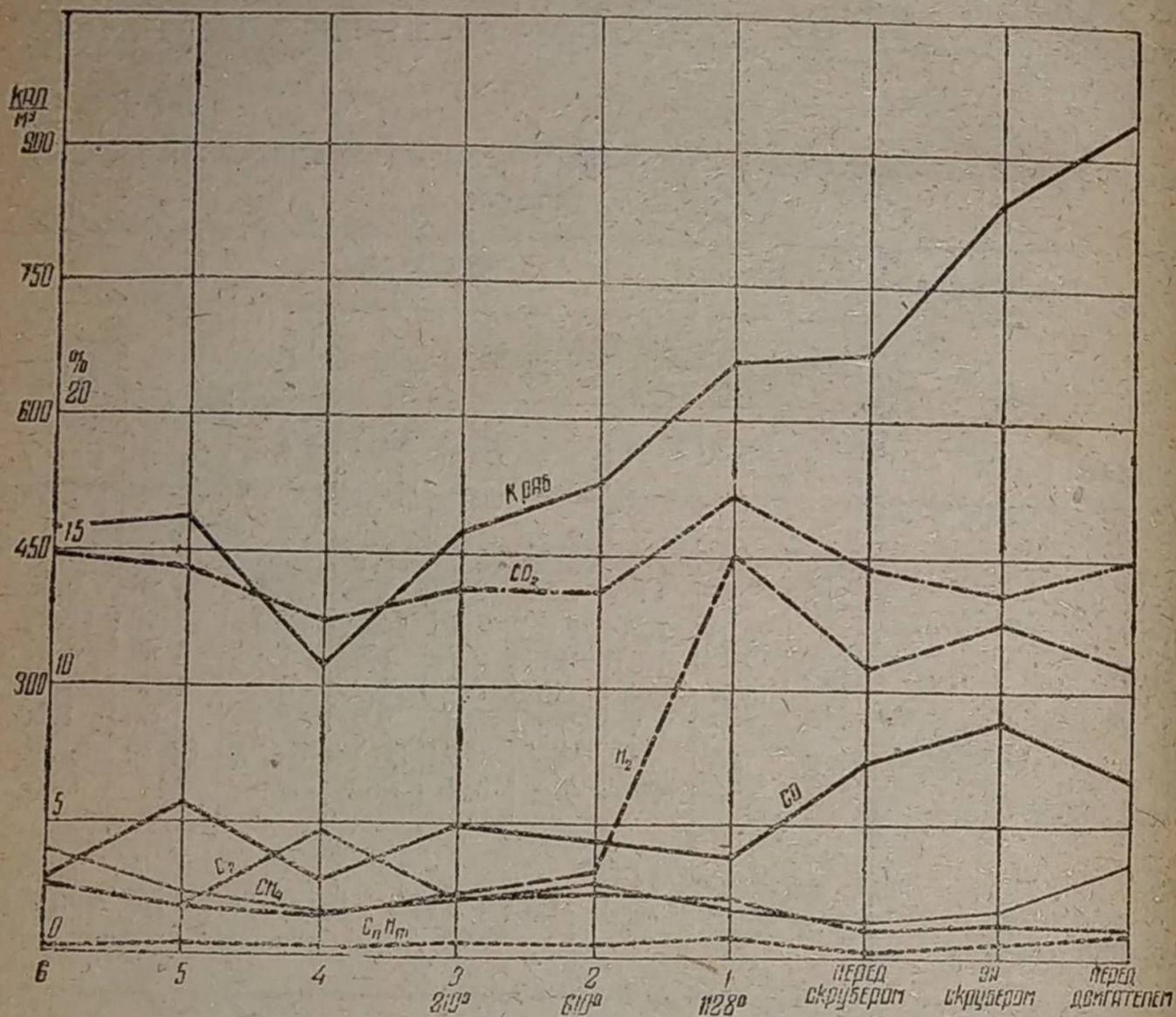
Элементарный состав газа из ольховых отходов с присадкой смолы. Обратный процесс

Места отбора газа	№ 20—29/VI.								
	Пояса						Перед мокрым очист.	За мокр. очист.	Перед двигат.
	№ 6	№ 5	№ 4	№ 3	№ 2	№ 1			
Состав. части	№ 6	№ 5	№ 4	№ 3	№ 2	№ 1	Перед мокрым очист.	За мокр. очист.	Перед двигат.
CO <sub>2</sub> %	14,8	14,4	12,4	13,6	13,5	17,2	14,5	13,6	15,0
CO%	2,99	5,68	2,85	4,88	4,37	3,79	7,41	8,86	6,78
H <sub>2</sub> %	—	1,93	1,56	2,28	3,24	14,98	10,92	12,58	10,99
CH <sub>4</sub>	3,95	2,43	1,67	2,11	2,78	1,89	1,44	1,92	3,57
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> %	0,3	0,40	0,4	0,6	0,5	0,8	0,3	0,60	1,00
O <sub>2</sub> %	2,7	1,90	4,7	2,2	2,4	2,2	1,1	1,30	1,20
N <sub>2</sub> %	75,26	73,26	76,42	74,33	74,21	59,14	64,33	61,14	61,46
Краб · кал/м <sup>3</sup>	471	487	326	472	525	662	671	842	935
Температура	В топке 1141° В поясе № 1—1267°, 1128°, № 2—610°, № 3—210°								
Влажность	36%								

гателем, по сравнению с поясом № 1, количество окиси углерода увеличилось, водорода уменьшилось, а метана возросло, что и содействует повышению теплотворности газа.

На диаграмме № 11 (фиг. 18) кривые изменения количества окиси углерода, водорода и метана поднимаются вверх за scrubber, кривая углекислоты изменяется мало, образуя острие в поясе № 1. В таблице XI собраны величины элементарного состава газа, полученного при сжигании сосновых опилок с влажностью 42% и смеси опилок с ольховыми отходами. На диаграммах №№ 12 и 13 фиг. 19, 20 представлен процесс в последовательном его изменении. При испытании № 22 процесс сухой перегонки идет с высоким % содержания в газе окиси углерода, в поясе № 1 и в топке

количество окиси возрастает за счет восстановления ее из углекислоты, точно так же в топке возрастает количество водорода, который отчасти образуется, вследствие разложения метана.

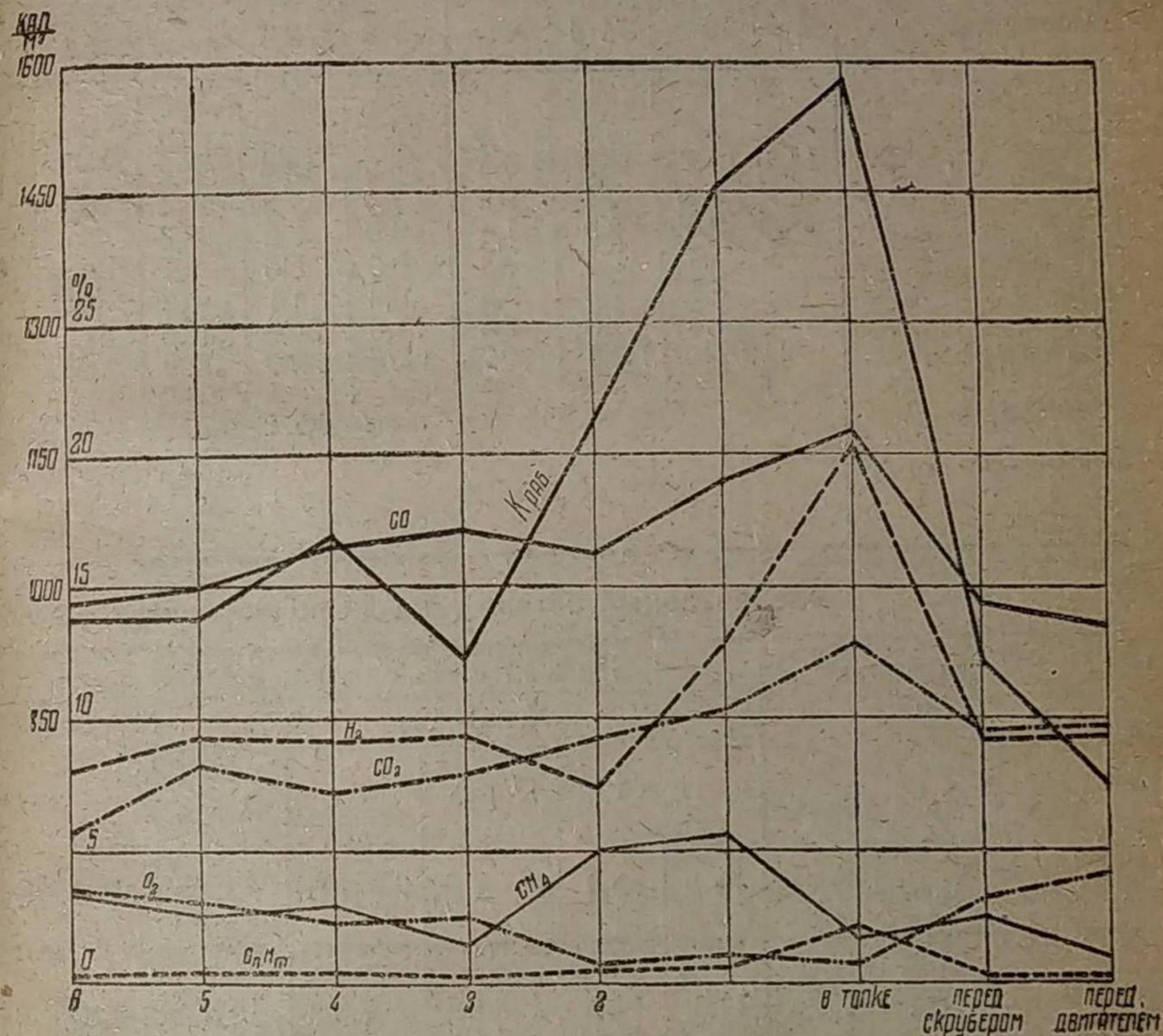


Фиг. 18. Диаграмма № 11 (20—29/VI). Обратный процесс. Ольховые отходы с присадкой смолы; влажность—36%; газ—Краб = 935 кал/м³.

В данном случае, как и раньше, видно, что в конце процесса в генераторе получается богатый газ, но при переходе в мокрый очиститель и во время промывки газ значительно обедняется, хотя водород и метан мало растворимы в воде.

Испытания № 23 — сжигание одних опилок — в общем дает такую же картину — возрастание в поясе № 1 окиси углерода, водорода и метана и последующее обеднение газа при промывке в мокром очистителе. Высокую теплотворность газа в конце его хода при переходе из генератора в мокрый очиститель следует объяснить тем, что газ в поясе горения (пояс № 1 и в топке) богат еще продуктами сухой

перегонки, не успевающими разложиться и перейти в газообразное состояние при тех больших скоростях, с которыми газ проходил в генераторе через пояс горения. Эти насыщающие газ продукты сухой перегонки находятся частично в парообразном состоянии и при переходе в мокром очистителе сжижаются в потоке холодной промывной воды.



Фиг. 19. Диаграмма № 12 (№ 22—17/V). Обратный процесс. Сосновые опилки с ольховыми отходами; влажность — 42% и 36%; газ — Краб = 769 кал/м³.

Можно предположить, что, несмотря на высокую температуру, при обратном процессе далеко не все продукты сухой перегонки — смолы газифицируются, да и разложение их совершается не полное; по этой причине газ перед двигателем оказывается бедным, тогда как в газогенераторе он обладает высокой теплотворностью.

Элементарный состав газа из опилок с ольховыми отходами. Обратный процесс

Таблица XI

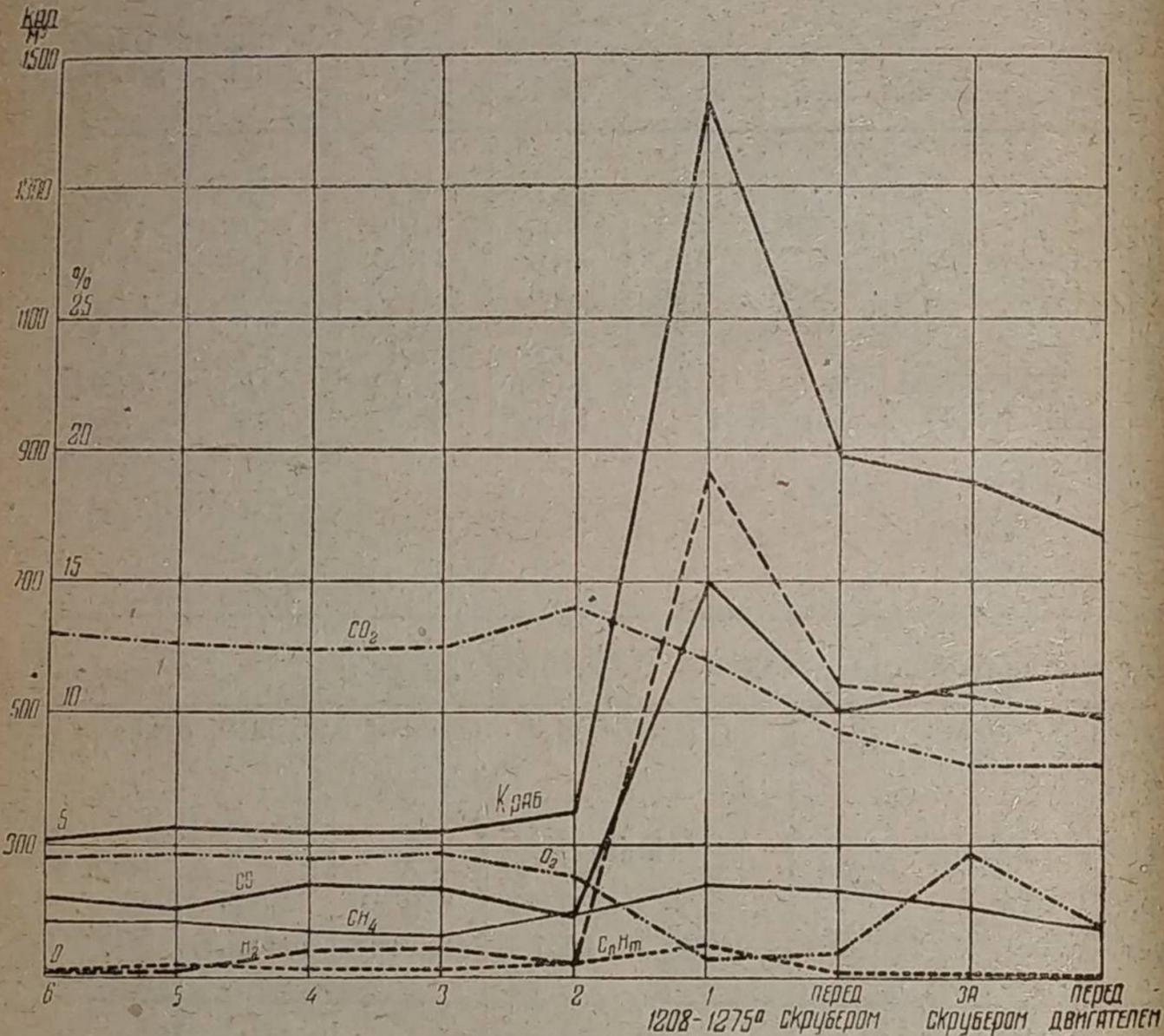
Места отбора проб. газа	Опилки сосновые с ольховыми отходами									Опилки сосновые								
	№ 22 — 17/V									№ 23 — 21/V								
	Пояса						В топке у реш.	Перед очист.	Пере-	Пояса						Перед мокр. очис.	За мокр. очист.	Перед двигат.
Состав. части						№ 6				№ 5	№ 4	№ 3	№ 2	№ 1	№ 6			
CO <sub>2</sub> %	5,8	8,2	7,2	7,9	9,2	10,3	12,8	9,5		13,0	12,6	12,4	12,5	14,0	12,1	9,3	8,0	8,0
CO%	14,5	14,9	16,5	17,1	16,2	18,9	20,8	14,2		3,08	2,61	3,53	3,36	2,24	14,85	10,08	11,13	11,47
H <sub>2</sub> %	8,1	9,3	9,1	9,3	7,4	12,8	20,4	9,1		0,21	0,32	0,96	1,12	0,46	19,13	11,03	10,63	9,8
CH <sub>4</sub> %	3,3	2,6	2,9	1,4	4,9	5,5	1,6	2,5		2,09	2,05	1,67	1,49	2,36	3,55	3,27	2,60	1,78
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> %	0,3	0,4	0,5	0,3	0,5	0,6	2,1	0,3		0,2	0,5	0,3	0,3	0,5	1,2	0,2	0,1	0,1
O <sub>2</sub> %	3,6	3,1	2,3	2,5	0,8	1,1	0,8	3,2		4,5	4,7	4,5	4,7	3,8	0,7	0,9	4,7	1,9
N <sub>2</sub> %	64,5	61,5	61,5	61,5	61,0	50,8	41,5	61,2		77,55	77,22	76,64	76,53	76,64	49,10	66,12	62,84	66,94
Краб кал/м <sup>3</sup>	974	971	1054	921	1173	1459	1590	921		306	334	317	301	352	1416	898	848	767
Температура	В поясе № 1 — 1208°, 1275°									В поясе № 1 — 1208° 1275°								
Влажность	42% 36%									42% 36%								

Элементарный состав газа из поджаренных опилок смеси с поджаренными отходами. Обратный процесс

Таблица XII

Места отбор. газа	Поджаренные опилки					Поджаренные опилки				Поджаренные опилки и ольховые отходы					
	№ 25—23/VI					№ 24—21/VI				№ 26—26/VI					
	Пояса		Перед мокр. очистит.	За мокр. очистит.	Перед двигат.	Пояса		Перед мокр. очистит.	За мокр. очистит.	Перед двигат.	Пояса		Перед мокрым очистит.	За мокр. очистит.	Перед двигат.
№ 2	№ 1	№ 2				№ 1	№ 6				№ 1				
CO <sub>2</sub> %	11,8	14,3	8,6	7,3	10,5	7,80	12,0	10,8	11,0	10,6	15,1	14,0	12,0	11,60	10,20
CO%	10,58	15,11	12,54	14,07	13,19	5,07	17,00	13,67	13,50	12,59	8,71	7,67	9,02	10,97	9,95
H <sub>2</sub> %	10,58	13,87	12,21	14,07	15,36	2,76	26,80	15,5	15,5	14,40	5,53	23,87	16,16	15,27	13,96
CH <sub>4</sub> %	5,32	7,13	1,65	2,58	3,01	6,25	10,00	1,39	1,94	2,30	4,96	4,76	3,56	3,14	2,28
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> %	0,6	2,7	0,20	0,30	0,20	0,6	1,60	0,10	0,10	0,30	1,0	1,10	0,60	0,40	0,40
O <sub>2</sub> %	3,6	0,8	5,0	3,4	3,0	11,3	1,20	1,20	1,50	2,0	2,4	0,70	1,10	1,30	1,60
N <sub>2</sub> %	57,52	46,09	59,80	58,28	54,65	66,22	31,19	57,69	56,46	57,81	62,3	47,93	57,66	57,32	61,61
Краб кал./м <sup>3</sup>	1128	1807	864	1052	1082	845	2297	947	988	992	972	1409	979	1051	913
Температура	В поясе № 1 — 1237° После открытия 2 ряда — 1190°					В поясе (у фу У шту оси Подогрев				№ 1 — 1130°, № 2 — 200° теровки — 180° цера 1100°, 1200° и на опилки не горят. в подв. газ. трубе — 70—80°					
Влажность	3%					3%				3%					

В таблице XII приведены данные элементарного анализа, произведенного в нижних поясах генератора у мокрого очистителя и перед двигателем. На фиг. 21, 22, 23 в диаграммах №№ 14, 15 и 16 представлено соотношение между отдельными составными частями газа. Как и в ранее рассмотрен-



Фиг. 20. Диаграмма № 13, (№ 23—21/V). Обратный процесс. Сосновые опилки, влажность—42%; газ—Краб = 767 кал/м<sup>3</sup>.

ных испытаниях, в поясе № 1 и за ним наибольшее содержание водорода и окиси углерода, иногда и метана. Кривые теплотворности образуют в поясе № 1 пики, далее, перед мокрым очистителем кривые дают понижение, и перед двигателем (в испытаниях № 25 и 24) кривые теплотворности повышаются.

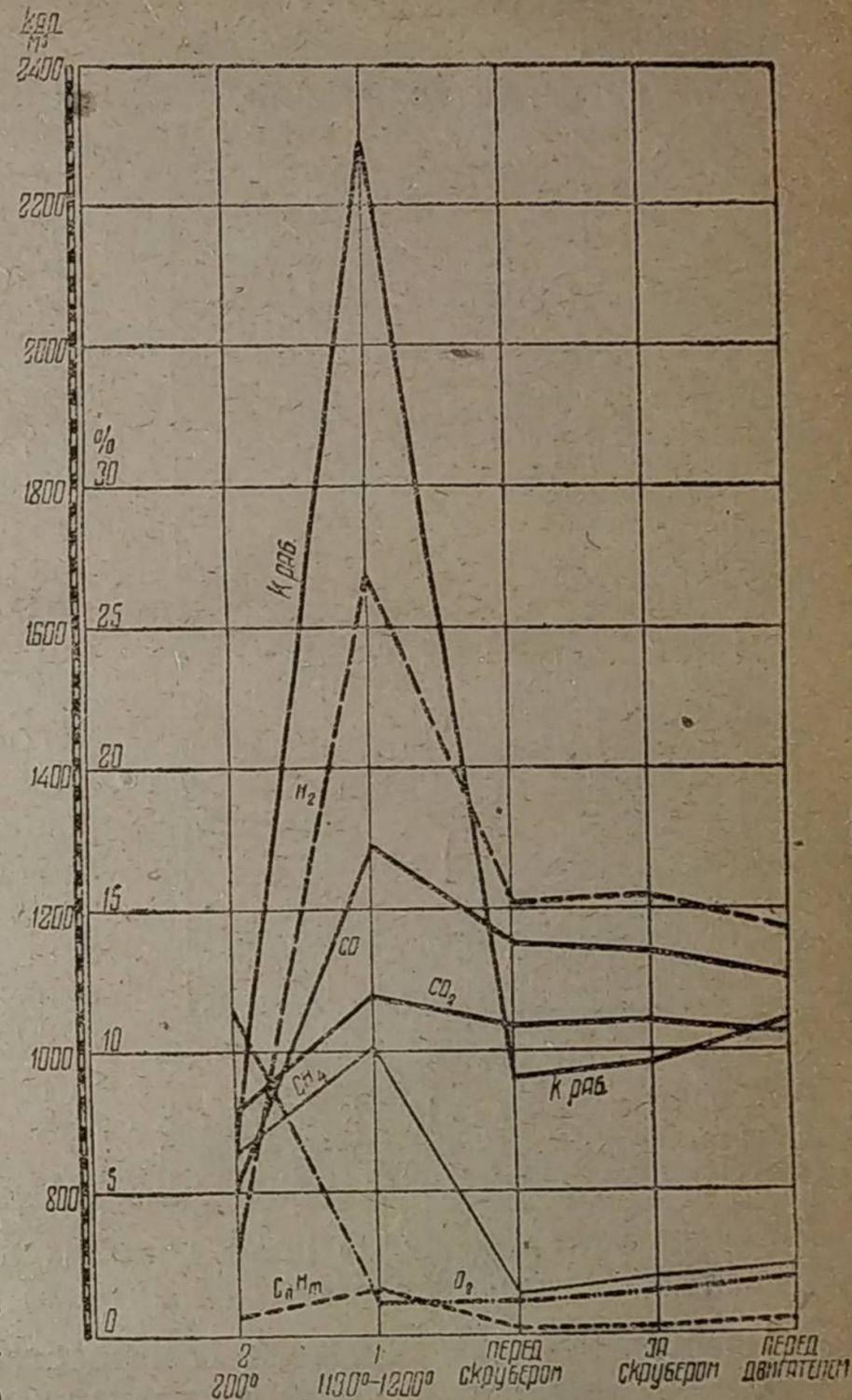
В испытании № 25 теплотворность газа 1082 кал/м<sup>3</sup>, а в испытании № 24—992 кал/м<sup>3</sup>. В этих случаях был применен умеренный подогрев трубы, подводящей газ в двигатель при помощи отработавших газов; температура в подогрева-

тельном футляре не превышала 70—80°. Испытание № 26 велось без этого подогрева и теплотворность оказалась 913 кал/м<sup>3</sup>.

Особенность сжигания опилок заключается в том, что даже при весьма высокой температуре, наблюдаемой в поясе № 1—1130° и 1200°, горение идет у внутренней поверхности генератора и на наружной поверхности слоя опилок, — внутри слоя на оси генератора горения не наблюдается, и происходит сухая перегонка. В поясе № 2 — температура 200°. Такое медленное сгорание заставляет постоянно шуровать опилки. Вместе с тем под поясом № 1 на пути к топке опилки сгорают быстро и полностью, образуя легкие взрывы, которые способствуют перемешиванию опилок.

Для улучшения качества газа необходимо устройство после мокрого очистителя регенератора, тогда неразложившиеся и ожигженные частицы продуктов сухой перегонки перейдут в газообразное состояние.

В испытаниях № 22 и 23 газ получился почти одинаковой теплотворности — 769 и 767 кал/м<sup>3</sup>. При сжигании сосновых

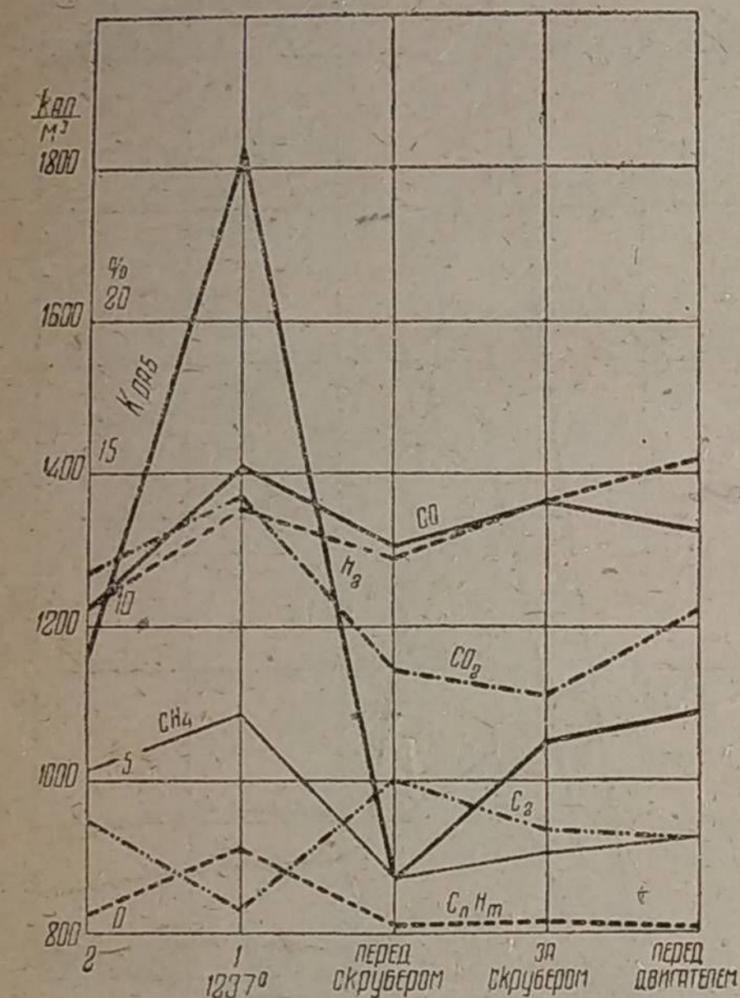


Фиг. 21. Диаграмма № 14 (№ 24—21/VI), Обратный процесс. Поджаренные опилки; влажность — 3%; газ—Краб = 992 кал/м<sup>3</sup>.

опилок температура в поясе № 1 в среднем  $1241^{\circ}$ . Газогенераторный процесс, проведенный на предварительно поджаренных опилках ( $120^{\circ}$ — $180^{\circ}$ ) дал газ достаточно высокой теплотворности.

Рассмотрение испытаний, сделанных при обратном процессе, приводит к следующему заключению. При прямом процессе, рассматривая его теоретически, последовательность отдельных периодов всего процесса газификации по направлению движения газов от колосниковой решетки идет так: 1) пояс горения, 2) пояс преимущественного образования окиси углерода, 3) пояс сухой перегонки и 4) пояс сушки. При обратном процессе: расположение этих поясов иное, считая по движению газов сверху вниз вверху генератора: 1) пояс подсушки, 2) пояс сухой перегонки, 3) пояс горения и 4) пояс разложения водяных паров и метана с образованием окиси углерода действием углекислоты на углерод. Этот пояс находится над колосниковой решеткой и является наиболее активным.

На фиг. 24—диаграмма № 17 представляет среднее изменение элементарного состава газа при обратном процессе; эта диаграмма составлена по данным семи испытаний (таблица XIII). Кривая  $\text{CO}_2$  сверху и между поясами № 6, № 5 и № 4 идет ровно, здесь происходит подсушка за счет теплоты, которая распространяется лучеиспусканием и приводимостью из пояса горения; далее от пояса № 4 до № 2 идет сухая перегонка, в которой количество  $\text{CO}_2$  мало изменяется и возрастает количество  $\text{CO}$ ; в этом же поясе непрерывно растет количество  $\text{H}_2$ .



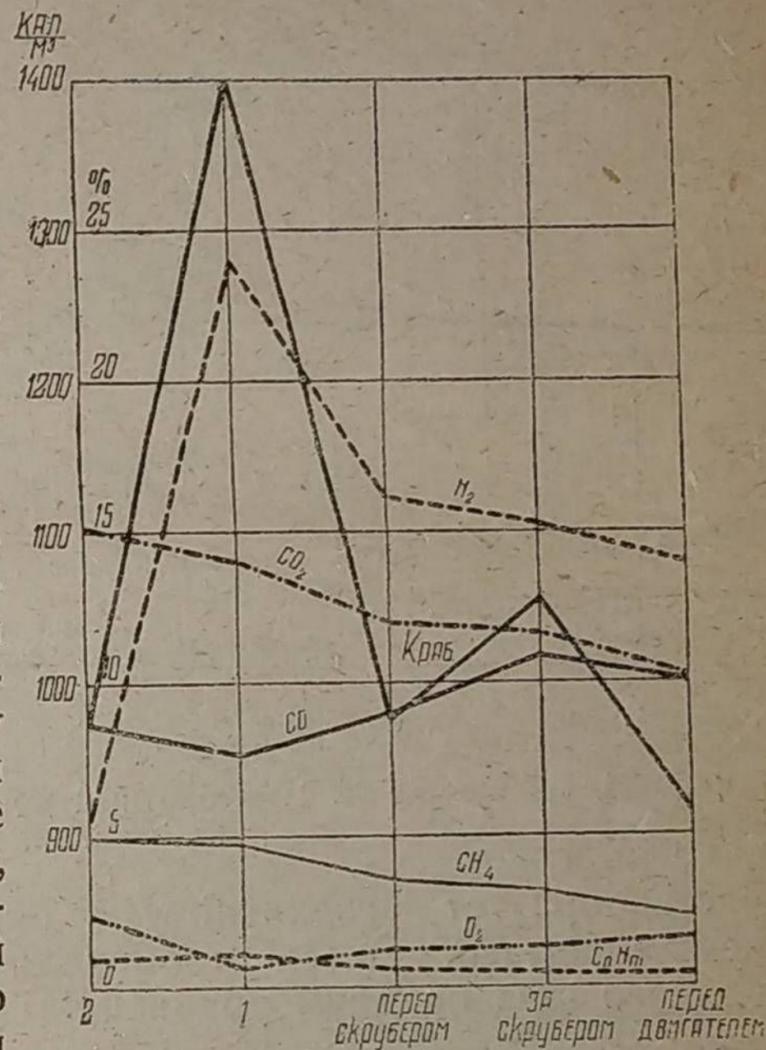
Фиг. 22. Диаграмма № 15 (№ 25—23/VI), Обратный процесс. Поджаренные опилки; влажность 3%; газ — Кр<sub>аб</sub> = 1082 кал/м<sup>3</sup>.

Этот пояс находится над колосниковой решеткой и является наиболее активным.

На фиг. 24—диаграмма № 17 представляет среднее изменение элементарного состава газа при обратном процессе; эта диаграмма составлена по данным семи испытаний (таблица XIII). Кривая  $\text{CO}_2$  сверху и между поясами № 6, № 5 и № 4 идет ровно, здесь происходит подсушка за счет теплоты, которая распространяется лучеиспусканием и приводимостью из пояса горения; далее от пояса № 4 до № 2 идет сухая перегонка, в которой количество  $\text{CO}_2$  мало изменяется и возрастает количество  $\text{CO}$ ; в этом же поясе непрерывно растет количество  $\text{H}_2$ .

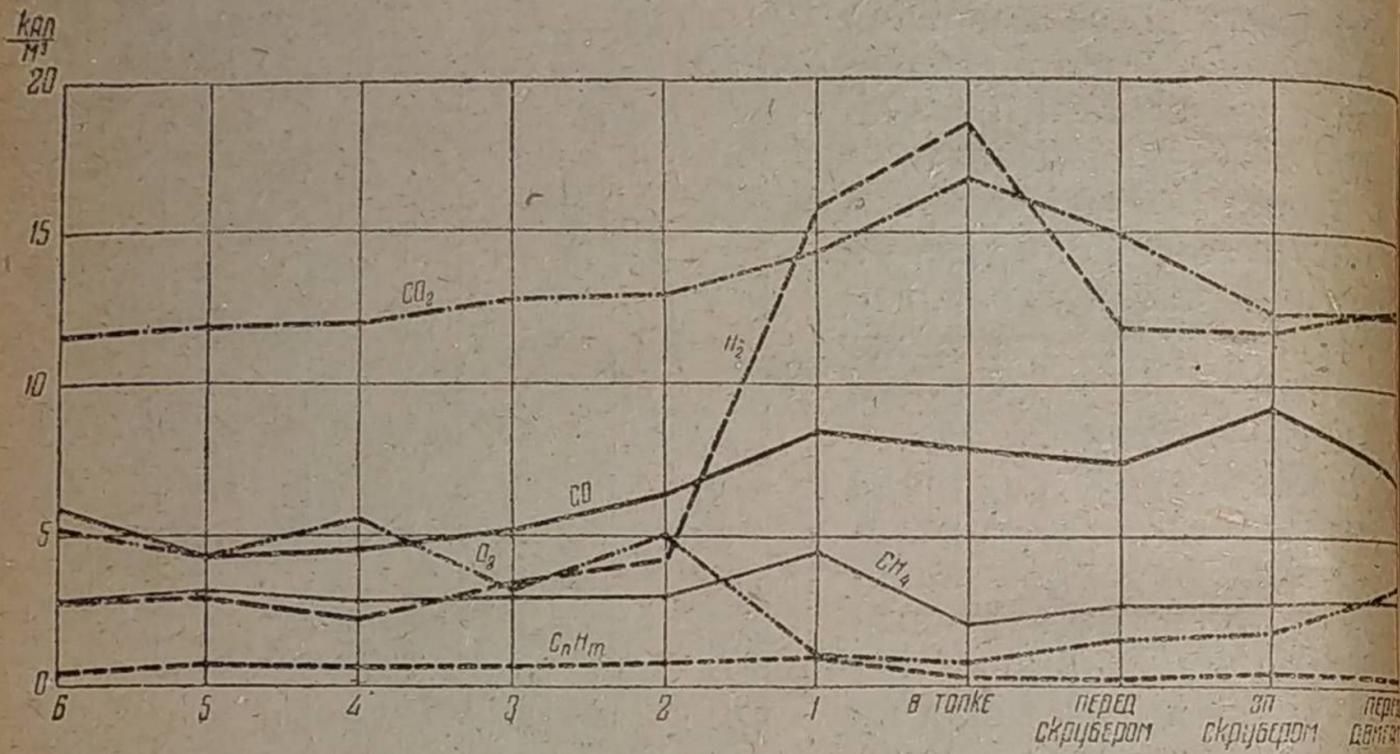
С пояса № 2, где начинается пояс горения, быстро возрастает объемное количество водорода и достигает наибольшей величины над топкой;  $\text{CO}_2$ , начиная с пояса № 2, увеличивается, вследствие сгорания углерода с кислородом входящего здесь воздуха, и  $\text{CO}$  увеличивается, вследствие неполного сгорания углерода и отчасти восстановления из углекислоты, но, начиная с пояса № 1, количество  $\text{CO}$  уменьшается и в топке и до мокрого очистителя, вследствие частичного окисления, что соответствует течению кривой  $\text{O}_2$ , которая резко падает в поясе № 1.

Количество водорода убывает при прохождении газа через раскаленную топку и раскаленный слой на колосниковой решетке на пути к мокрому очистителю и в нем самом перед двигателем в газе доля  $\text{H}_2$  увеличивается, вследствие изменения состояния газа, который подвергается охлаждению и промывке в мокром очистителе. Повышение содержания  $\text{H}_2$  обуславливается разложением воды и разложением метана, которое начинается с пояса № 1 и проходит до конца пути газа в генераторе, — до раскаленного слоя на колосниках; в соединительной трубе между генератором и мокрым очистителем здесь возможно восстановление метана, количество которого далее до двигателя остается постоянным. Количество тяжелых углеводородов настолько мало, что его изменение не имеет значения; интересен участок от пояса № 1 до колосниковой решетки, где количество тяжелых углеводородов понижается вследствие отделения водорода, дальше количество тяжелых углеводородов остается почти постоянным.



Фиг. 23. Диаграмма № 16, (№ 26—6/VI). Обратный процесс. Поджаренные опилки и поджаренные ольховые отходы; влажность 3%; газ—Кр<sub>аб</sub> = 913 кал/м<sup>3</sup>.

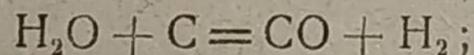
При газификации топлива обратным процессом с большой влажностью, когда топливо подойдет к поясу горения, судя по температуре, которая устанавливается в поясе № 2, вся влага топлива будет испарена. В поясе № 2 газогенератора пар подводится к слою раскаленного угля, где и начинается процесс разложения водяного пара. Водяной пар с угле-



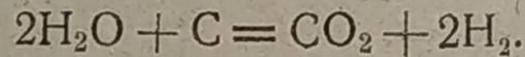
Фиг. 24. Диаграмма № 17. Обратный процесс. Средний состав газа из отходов.

родом образует углекислоту и окись углерода с выделением водорода. Здесь происходит реакция образования водяного газа по двум уравнениям:

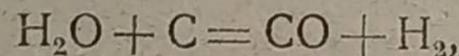
При высоких температурах:



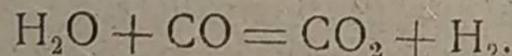
а при низких температурах:



Водяной пар разлагается на поверхности угля по уравнению:

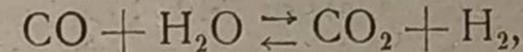


образующаяся при этом окись углерода действует на пары воды, образуя углекислоту и освобождая водород:



На всех диаграммах различных испытаний, произведенных при обратном процессе, можно видеть, что водород начи-

нает выделяться в первом поясе и содержание его в газе возрастает и в топке (испытания №№ 15, 21, 22), но в газе перед мокрым очистителем содержание водорода уменьшается. Разложение водяного пара идет при расходе большего количества тепла, которое получается за счет сгорания части водорода. Вместе с тем при разложении водяного пара имеет место реакция:



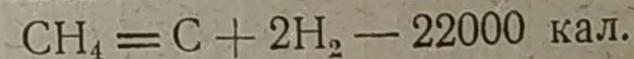
которая и дает повышение в некоторых случаях содержания углекислоты (см. табл. XIV).

Таблица XIII

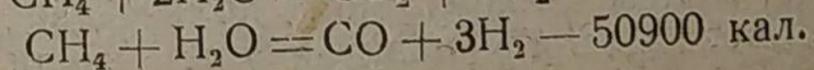
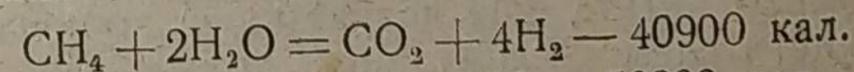
Средний состав газа из отходов по поясам при обратном процессе

Места отбора газа	№ 6 № 5 № 4 № 3 № 2 № 1						В топке	Перед скруббером	За скруббером	Перед двигателем	За двигателем
	Составные части										
CO <sub>2</sub>	11,65	11,80	12,08	12,76	12,80	14,20	16,80	14,80	12,20	12,06	12,87
CO	5,15	4,37	4,64	5,12	6,38	8,54	7,80	7,28	9,20	6,93	—
H <sub>2</sub>	2,7	3,04	2,19	3,71	4,24	15,53	18,50	11,89	11,58	12,50	—
CH <sub>4</sub>	2,77	3,23	2,98	3,11	3,06	4,57	2,10	2,71	2,71	2,95	—
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	0,55	0,63	0,56	0,68	0,75	1,03	0,30	0,36	0,60	0,31	—
O <sub>2</sub>	5,5	4,35	5,60	3,46	5,05	1,12	0,80	1,70	1,86	3,55	4,47
N <sub>2</sub>	71,68	72,58	71,95	71,16	69,72	55,01	53,70	61,26	61,85	61,70	82,66

Рассматривая сводную таблицу XIV, мы видим, что метан, получающийся в газе, как продукт сухой перегонки, в обратном процессе при проходе через пояс горения или от пояса № 2 до пояса № 1 в некоторых случаях разлагается (испытания №№ 15, 18 и 20), а в испытаниях №№ 17, 19, 22, 24 и 25 содержание метана увеличивается. Реакция разложения метана идет по уравнению:



Это разложение идет особенно полно в присутствии угля при 750—800°.¹ Разложение метана идет в присутствии пара по уравнениям:



¹ Клюквин и Клюквина — „Хим. переработка газов“.

С увеличением объемного количества водяных паров в смеси с метаном при 900° процентное количество CO<sub>2</sub> возрастает и возрастает процентное увеличение объема.

По исследованию Клюквина — „повышение температуры выше 750° вызывает соответствующий рост влияния процесса разложения воды углем по реакции“:



При 750° наблюдается резкий перелом процесса, когда содержание водорода и общий выход газа достигает наибольшей величины. Дальнейшее повышение температуры понижает общий выход газа, уменьшает количество водорода и содействует росту окиси углерода<sup>1</sup>. Полное исчезновение метана наблюдалось в опытах Клюквинных при 950°.

который при обратном процессе выключается, и подача воды в него прекращается. Вода, подаваемая в него сверху через особые воронки, служит при действии смолоотделителя гидравлическим затвором. На трубе, соединяющей смолоотделитель с мокрым очистителем и проводящей в него газ, нет никакого запорного приспособления. Вследствие непосредственного соединения мокрого очистителя с смолоотделителем, при выключении последнего и разрежении в газопроводном трубопроводе, создающемся при обратном процессе, через смолоотделитель в газопровод за мокрым очистителем засасывается воздух. Это обстоятельство может быть отмечено на диаграмме № 17 (фиг. 24) на последнем участке кривой—O<sub>2</sub>. После установки особого крана на трубе между смолоочистителем и мокрым очистителем засос воздуха прекратился.

Изменение состава газа в опытах при обратном процессе

Таблица XIV

Место отбора газа	№ 15				№ 17				№ 18				№ 19				№ 20			
	Еловые отходы; 50%				Ольховые отходы; 36%				Ольховые отходы; 36%				Ольховые отходы; 36%				Ольховые отходы с присадкой смол; 36%			
	№ 2	№ 1	Топка	Перед скруб-бером	№ 2	№ 1	Топка	Перед скруб-бером	№ 2	№ 1	Топка	Перед скруб-бером	№ 2	№ 1	Топка	Перед скруб-бером	№ 2	№ 1	Топка	Перед скруб-бером
CO <sub>2</sub>	17,0	18,7	14,8	—	15,3	11,4	15,5	15,4	9,8	11,7	—	15,9	15,0	15,0	—	13,4	13,5	17,2	—	14,5
CO	8,8	6,9	8,9	—	9,7	16,4	8,5	6,4	4,98	5,8	—	7,68	6,61	12,28	—	9,64	4,37	3,79	—	7,41
H <sub>2</sub>	3,4	12,1	15,8	—	4,4	24,2	18,2	13,8	3,01	17,9	—	6,57	10,65	21,69	—	15,41	3,24	14,98	—	10,92
CH <sub>4</sub>	6,3	4,2	0,00	—	2,6	6,8	1,3	1,9	3,29	2,46	—	4,80	2,58	9,38	—	1,47	2,78	1,89	—	1,44
Составные части	№ 21				№ 22				№ 23				№ 24				№ 25			
	Смесь березовых и ольховых отходов; 40%				Опилки с ольховыми отходами; 42—50%				Опилки сосновые; 42%				Поджаренные опилки; 3%				Поджаренные опилки; 3%			
	№ 2	№ 1	Топка	Перед скруб-бером	№ 2	№ 1	Топка	Перед скруб-бером	№ 2	№ 1	Топка	Перед скруб-бером	№ 2	№ 1	Топка	Перед скруб-бером	№ 2	№ 1	Топка	Перед скруб-бером
CO <sub>2</sub>	10,3	12,5	20,1	15,2	9,2	10,3	12,8	9,5	14,0	12,1	—	9,3	7,8	12,0	—	10,8	11,8	14,3	—	8,6
CO	6,2	9,8	6,1	6,8	16,2	18,9	20,8	14,2	2,24	14,85	—	10,08	5,07	17,06	—	13,67	10,58	15,11	—	12,54
H <sub>2</sub>	3,4	18,0	21,7	11,0	7,4	12,8	20,4	9,1	0,46	19,13	—	11,03	2,76	26,87	—	15,50	10,58	13,87	—	12,21
CH <sub>4</sub>	2,0	2,4	2,9	2,4	4,9	5,5	1,6	2,5	2,36	3,55	—	3,27	6,25	10,07	—	1,39	5,32	7,13	—	1,65

Необходимо отметить еще возрастание количества O<sub>2</sub> за мокрым очистителем. Возрастание количества O<sub>2</sub> в газе объясняется просасыванием воздуха через смолоотделитель,

Для заключительной оценки обратного процесса рассмотрим еще величины теплотворности газа, полученного из отходов различных пород. Из этих величин выведем средние величины теплотворности, на которой можно остановиться при проектировании. В таблице XV все величины

<sup>1</sup> Клюквин и Клюквина — „Природные газы“, сборник 2-й, 1931 г.

теплотворности газа собраны в три группы: 1 группа дает среднюю теплотворность  $\sim 750$  кал/м<sup>3</sup>, это меньшее значение теплотворности; 2 группа дает  $\sim 850$  кал/м<sup>3</sup>, это нормальное значение теплотворности, соответствующее процессу, ведущемуся при благоприятных условиях;

3-я группа дает величину теплотворности газа 980 кал/м<sup>3</sup> на топливе, подсушенном и обогащенном предварительной обработкой и добавлением смолы. При проектировании можно руководствоваться величиной теплотворности газа 850 к/м<sup>3</sup>.

Фирма Дейц дает для газа, полученного в генераторе при обратном процессе, следующий состав (в %):



По принятой в наших расчетах формуле теплотворность газа, который имеет состав, указанный фирмой, будет  $K_{\text{раб.}} = 1031$  кал/м<sup>3</sup>. Фирма дает нижнее тепловое значение газа 1000—1100 кал/м<sup>3</sup> (цитирую по изданию фирмы Deutz — „Billiges Gas“). В своем проспекте фирма не указывает род топлива и влажность его, а поэтому можно сравнить полученные у нас результаты с данными фирмы лишь с некоторым приближением. По дальнейшему тексту проспекта можно полагать, что топливо было сухое, во всяком случае „воздушносухое“, содержащее не более 30% воды, какое и рекомендует фирма к употреблению в генераторе.

Таблица XV

№№	Название топлива	Теплотворность кал/м <sup>3</sup>	Влажность	Средняя величина теплотворности кал/м <sup>3</sup>
1.	Ольховые отходы . . . . .	700	36	749
2.	Еловые . . . . .	741	50	
3.	Еловые . . . . .	751	50	
4.	Еловые . . . . .	765	40	
5.	Опилки . . . . .	767	42	
6.	Опилки с ольховыми отходами . . . . .	769	39	
7.	Еловые отходы . . . . .	817	40	847
8.	Ольховые . . . . .	850	36	
9.	Ольховые . . . . .	876	36	
10.	Подж. опилки с ольховыми отходами . . . . .	913	3	850
11.	Ольховые отходы со смолой	935	36	
12.	Поджаренные опилки . . . . .	992	3	
13.	Поджаренные опилки . . . . .	1082	3	980

Наша средняя величина теплотворности (см. табл. XV) — 850 кал/м<sup>3</sup> при влажности 36% лишь немного уступает данным фирмы, — она меньше указанной фирмой на 15%.

В наших испытаниях применялось самое низкосортное и малоценное топливо. При определении теплотворности газа по составу, приведенному в таблице XIII, рабочее значение теплотворности получается равным 828 кал/м<sup>3</sup>, что отличается от значения по таблице XV на 2,6%.

## 7. ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ

### I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ГАЗА ПРИ ПОМОЩИ ДИАФРАГМЫ

Диаметр газопровода, идущего от мокрого очистителя к газосборнику перед двигателем, —  $D = 100$  мм; площадь поперечного сечения  $F = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 0,00785$  м<sup>2</sup>. На этой тру-

бе между фланцами установлена диафрагма с коническим вырезом; диаметр большего основания конического выреза в диафрагме  $D = 40$  мм; площадь его поперечного сечения

$$F_0 = \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} = 0,00126 \text{ м}^2.$$

Отношения площадей поперечного сечения газовой трубы и отверстия в диафрагме  $m = \frac{F_0}{F} = \frac{0,00126}{0,00785} = 0,16$

Часовой расход газа  $V = 3600 F_0 k \sqrt{2 g \frac{P}{\gamma}}$ , где<sup>1</sup>

$k = 0,61$ ,  $g = 9,81$  м/сек.<sup>2</sup>;  $\gamma = 1,29$  кг/м<sup>3</sup> и  $p$  — разность давлений до и после диафрагмы в мм водяного столба.

### II. ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

К газогенераторной установке присоединен двигатель завода „Humboldt-Deutz“ в Кельне, который и был испытан.

Номинальная полезная мощность по данным завода 15 л. с. на газе и 20 л. с. — на нефти, число оборотов — 450 об./мин.

Диаметр цилиндра —  $D = 19$  см.

Ход поршня —  $S = 0,32$  м.

Объем камеры сжатия —  $V_c = 750$  см<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Зейферт. — „Испытание пар. машин, котлов и турбин“ изд. 1930 г. стр. 191.

$$\text{Степень сжатия } \epsilon = \frac{V_n + V_c}{V_c} = 13,1.$$

Давление в конце сжатия —  $p_c = 36 - 38 \text{ кг/см}^2$ .

Давление вспышки —  $p_{вс} = 42 \text{ кг/см}^2$ .

Двигатель установлен в теплотехнической лаборатории Лесотехнической академии с веревочным тормозом, радиус тормозного шкива  $R = 0,3 \text{ м}$ , толщина тормозного каната  $\delta = 20 \text{ мм}$ .

Индикаторная мощность:

$$N_i = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{S_n}{2 \cdot 60 \cdot 75} p = \frac{\pi 19^2}{4} \cdot \frac{0,32}{2 \cdot 60 \cdot 75} \cdot n p_i = 0,1 n p_i \text{ л. с.}$$

Полезная мощность:

$$N_n = \frac{2\pi(R + \delta) \cdot (Q - q) \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{2\pi(0,3 + 0,01)}{60 \cdot 75} \cdot (Q - q) n = 0,000435 (Q - q) \text{ п. л. с.}$$

В этой формуле:  $Q$  — нагрузка тормоза в кг,  
 $q$  — показание динамометра в кг.

Испытание двигателя имело целью определить главные параметры, характеризующие работу двигателя на газе, полученном в генераторе из отходов. Для сравнения были произведены испытания двигателя, при прямом процессе в генераторе на газе из дров; двигатель развивал полезную мощность в среднем 14,4 л. с.

Расход дров оказался 1,51 кг, п. л. с.-ч., расход газа 2,39 м<sup>3</sup>, п. л. с.-ч; из 1 кг дров получено газа 1,32 м<sup>3</sup>. Среднее индикаторное давление 4,14 кг/см<sup>2</sup>; механическая полезность двигателя  $\eta_m = 0,827$ . Число оборотов изменялось от 435 до 447,5 в мин.

Испытания генератора на отходах при прямом процессе велись при мощности двигателя 14,6 п. л. с. и дали следующие параметры:

Расход отходов на 1 п. л. с.-ч. — 1,7 кг.

Расход газа на 1 п. л. с.-ч. — 2,28 м<sup>3</sup>.

Выход газа в генераторе на 1 кг топлива — 1,59 м<sup>3</sup>.

Среднее индикаторное давление — 3,68 кг/см<sup>2</sup>.

(большее значение в опытах — 3,90 кг/см<sup>2</sup>).

Механическая полезность —  $\eta_m = 0,89$ .

Число оборотов 445—450 в мин.

При обратном процессе в генераторе двигатель развивал полную полезную мощность на газе в среднем 15 л. с.

Расход отходов — 1,41 кг/п. л. с.-ч.

Расход газа — 2,62 м<sup>3</sup>/п. л. с.-ч.

Выход газа в генераторе на 1 кг топлива — 1,92 м<sup>3</sup>.

Среднее индикаторное давление — 3,76 кг/см<sup>2</sup>.

(большее значение в опытах было — 4,10 кг/см<sup>2</sup>.)

Механическая полезность  $\eta_m = 0,89$ .

Число оборотов изменялось от 435—450 в мин.

Во время испытаний были произведены пробы на выносливость двигателя к перегрузке и точность работы регулятора.

Из зарегистрированных испытаний можно отметить совершенно свободное получение нормальной полезной мощности: 15—15,95 л. с. при загрузке различных отходов в генератор и теплотворности газа от 741 кал/м<sup>3</sup>—935 кал/м<sup>3</sup>, последняя величина получена на ольховых отходах с присадкой смолы. Для определения возможности перегрузки двигатель был нагружен на тормозе 131 кг, при этом развивал полезную мощность в 20—25 л. с. Принимая во внимание указание фирмы, что двигатель на газе дает мощность 15 п. л. с., можно установить способность двигателя давать на газе значительную перегрузку в 35%, какой обычно двигатели внутреннего горения не дают. Приведенное испытание было проведено на газе с теплотворностью 899 кал/м<sup>3</sup>.

При мгновенной разгрузке число оборотов изменялось с 450 до 480, и быстро восстанавливалось нормальное число оборотов; при этом возвращение к нормальному числу оборотов происходило настолько быстро, что по секундомеру оказалось невозможным определить это время.

### III. ОЦЕНКА РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

Существенное значение для оценки работы двигателя и газогенераторной установки представляют характеристики теплового действия, каждая в отдельности: двигателя, газогенератора со всеми вспомогательными приспособлениями и всей установки генератор-двигателя в целом.

При прямом процессе:

Тепловая полезность двигателя на дровах	$\eta_{т. дв.}$	= 24,0%
То же на отходах		
„ двигателя	$\eta_{т. дв.}$	= 28,5%
„ газогенератора	$\eta_{т. ген.}$	= 71,5%
„ всей установки	$\eta_{т. уст.}$	= 20,4%

При обратном процессе:

Тепловая полезность двигателя на отходах	$\eta_{т. дв.}$	= 29,0%
„ газогенератора	$\eta_{т. ген.}$	= 69,0%
„ всей установки	$\eta_{т. уст.}$	= 20,0%

Таблица XVI

Топливо. Тепло- творность кал/кг	Процесс в газо- генераторе и теплотворность кал/м <sup>3</sup>	Полезная мощн. двиг. л. с.	Расход 1 п. л. с.—ч.		Производ. газогенератора на 1 кг топлива	Механич. полезн. двигателя $\eta_m$	Тепловая полезность		
			Твердого топлива в кг	Газа м <sup>3</sup>			двиг. $\eta_t$ дв.	газогенер. $\eta_t$ г.	всей уста- нов. $\eta_t$ уст.
Дрова 2997	Прямой 1124	14,9	1,51	1,99	1,32	82,7	24,0	—	—
Отходы 2103	Прямой 995	14,3	1,57	2,24	1,59	89,0	28,5	71,5	20,4
Отходы 2252	Обратн. 808	15,5	1,47	2,66	1,92	90,0	29,0	69,0	20,0

Из таблицы XVI видно, что при почти равных мощностях (отклонение от нормальной мощности 2,7—4%) расход твердого топлива на 1 л. с. час при прямом процессе на отходах больше, чем при обратном на 10%, но расход газа при прямом процессе меньше, чем при обратном на 18,7%. Выход газа из 1 кг топлива при прямом процессе меньше, чем при обратном на 21%. Полезность газогенератора при прямом процессе выше, чем при обратном — 71,5% и 69%; это может быть объяснено тем, что прямой процесс протекает при подводе воздуха через поддувало, а при обратном процессе воздух подводится через штуцера, причем газ получается беднее, чем в прямом процессе (см. табл. III).

И действительно, сопоставление средних величин элементарного состава газа, полученного при прямом и обратном процессе, приводимое ниже, показывает, что подвод воздуха при обратном процессе создает избыточное количество кислорода в газе, который тем самым является балластом в генераторном процессе; вследствие подвода воздуха прямо в пояс горения при обратном процессе увеличивается процентное содержание  $CO_2$  и убывает количество  $CO$ , хотя и возрастает содержание  $H_2$ .

	Прямой процесс	Обратный процесс
$CO_2$ . . . . .	7,97%	11,63%
$CO$ . . . . .	16,39%	8,10%
$H_2$ . . . . .	6,73%	11,60%
$O_2$ . . . . .	2,63%	4,96%

Принимая во внимание, что обратный процесс на отходах дает все же бедный газ, как сказано выше, был сделан опыт обогащения газа присадкой смолы в отходы во время генераторного процесса в количестве 12—15% по весу отходов. Испытание двигателя на газе, который был получен в этом случае, дало следующие результаты:

Расход твердого топлива на 1 п. л. с.—ч. . . . .	0,75 кг
“ газа на 1 п. л. с.—ч. . . . .	2,25 м <sup>3</sup>
Производительность газогенератора на 1 кг топлива . . . . .	2,98 м <sup>3</sup>
Полезная мощность двигателя . . . . .	15,95 л. с.
Среднее индикаторное давление . . . . .	4 кг/см <sup>2</sup>
Тепловая полезность двигателя $\eta_t$ дв. . . . .	30%
“ “ генератора $\eta_t$ ген. . . . .	82%
“ “ всей установки $\eta_t$ уст. . . . .	24,7%

Применение в обратном процессе опилок как сырых, без прибавки отходов, или с таковыми, а также поджаренных опилок, дает результаты, вполне удовлетворительные, которые совершенно ясно указывают, что опилки могут быть применены для газификации в генераторе.

## 8. ГАЗОФИКАЦИЯ ОПИЛОК

Вопрос о газификации опилок приобретает серьезное промышленное значение в деревообрабатывающей промышленности, так как применяющееся сжигание опилок под котлом не дает тех ценных продуктов, каковыми являются продукты сухой перегонки. Для получения продуктов сухой перегонки необходимо ведение газогенератора прямого процесса со смолоотделителем; с этой целью опилки необходимо смешивать с кусковыми отходами в пропорции 1:1. На каждом лесопильном заводе кусковых отходов имеется огромное количество, а поэтому использование опилок не представит затруднений; дело сводится к установке дробилки. Исключительное использование паровой машины с паровым котлом в лесопильном и деревообрабатывающих производствах объясняется, с одной стороны, укоренившейся привычкой, а с другой — приспособленностью паровой машины к значительным перегрузкам. Конечно, газовый двигатель не может допустить перегрузки, которую допускает паровая машина, но все же, как показали наши испытания, перегрузка на 35% вполне возможна. Необходимо вообще иметь в виду, что указанное стремление деревообрабатывающих заводов перегружать свои машины объясняется

только неправильной организацией работы, которая нередко наблюдается в этих предприятиях.

При сжигании опилок в топках паровых котлов никогда не бывает сколько-нибудь удовлетворительного сгорания. Все существующие конструкции топок, даже ступенчатые, дают большой процент потерь в уносе несгоревшего топлива, которое засоряет газоходы и создает большие отложения с золой во всех углах и поворотах дымоходов. Это обстоятельство требует очень частой очистки дымоходов. При трудности регулировать подвод воздуха в топку с плотным слоем опилок создается опасность местных взрывов.

Использование опилок и других отходов для газификации и применение их в качестве топлива дает следующие преимущества: 1. Отсутствие золы. При сжигании топлива в котельной топке зола приплавляется к обмуровке топки и образует шлаки, которые трудно удаляются. 2. Удобство управления подводом воздуха, необходимым для горения газа. 3. Возможность возвращения тепла, унесенного газами — продуктами горения; 4. При газовом отоплении имеется возможность сохранения постоянной температуры, вследствие чего сохраняется обмуровка газовой топки и устраняется образование в ней трещин, что часто случается при отоплении твердым топливом, так как при шуровании и удалении шлаков с решетки топочная дверь остается открытой, и в печь проникает холодный воздух.

Перечисленные преимущества газификации относятся в особенности к низкосортному топливу. Там, где было бы желательно сохранение паровой машины с паровым котлом, необходимо перейти к чисто газовым топкам с предварительной газификацией топлива в генераторах. Там же, где паровые машины не являются необходимыми, можно перейти на газовый двигатель с газогенератором для газификации лесопильных отходов с использованием побочных продуктов сухой перегонки.

Газогенераторная установка завода Дейц, поставленная в Швеции (Luisne Voxna-Verken) с смолоотделителем, где генераторным газом из опилок и отходов работает установка в 2000 л. с., выход смолы получается от 4,28% до 5,4%, от мокрых отходов ели и сосны<sup>1</sup>.

Для оценки работы двигателя и газогенератора на газе из лесопильных отходов в таблице XIV приведены величины, добытые при испытаниях генератора и двигателя на газе,

<sup>1</sup> V. D. J. 1922 г. № 31/32.

полученном из опилок как сырых, так и подвергнутому предварительному поджариванию.

В таблице XVII обращает на себя внимание высокий выход газа из 1 кг поджаренных опилок и высокая полезность как двигателя (32 и 31%), так и газогенератора (70 и 80%), а вместе с тем высокая тепловая полезность всей установки газогенератора и двигателя (22 и 27%).

Таблица XVII

Топливо	Полезная мощность л. с.	Среднее индикатор. давление кг/см	Механич. полез. двиг. п/м%	Расход топлива 1 п. л. с/ч		Производ. генератора на 1 кг топлива м <sup>3</sup>	Тепловая полезность		
				твердого кг	газам <sup>3</sup>		Двигателя % д.в.	Газогенер. % г.г.	установка % уст.
Соснов. опилки и ольховые отходы	15,4	4,05	87,5	1,25	2,80	2,22	29	67	20
Сосновые опилки	14,7	4,40	78,5	1,36	2,82	2,07	29	66	19
Поджарен. сосновые опилки	15,77	—	—	0,62	1,94	3,18	32	70	22
Поджарен. сосновые опилки	15,74	4,00	89	0,52	1,94	3,64	31	80	27

Необходимо отметить, что высокая полезность газового двигателя завода Дейц объясняется совершенством конструкции и изготовления двигателей этой фирмы.

## 9. ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАГРУЗКАХ

Для полной характеристики свойств двигателя, работающего на газе, были произведены испытания на газе при различных нагрузках: при холостом ходе, четверти, половине, трех четвертях и полной. В таблице XVIII дана сводка величин, полученных при этих испытаниях.

Испытания велись на газе из отходов с влажностью в 40—50% в прямом и обратном процессе. Расход газа при полной нагрузке 2,87 кг/п. л. с. — ч. и твердого топлива

1,70 кг/п. л. с. — ч. Расход топлива с увеличением нагрузки уменьшается, но расход газа повышается при переходе к полной нагрузке на 15%, что объясняется повышенной влажностью топлива; усиленная нагрузка двигателя повысила полезность генератора до 65% по сравнению с работой двигателя на таком же топливе при  $\frac{1}{4}$  нагрузки, когда полезность генератора оказалась равной 48%.

4. Превращено в работу вредных сопротивлений:  
 $11249,6 - 9517,92 = 1731,68$  кал./час.
5. Унесено охлаждающей водой:  
 $240 (56,6 - 3,6) = 12960$  кал./час.
6. Унесено выхлопными газами:  
 $0,314 (354 - 15) \cdot 15,06 \cdot 2,87 = 4601$  кал./час.

Таблица XVIII

Величина нагрузки	Процесс в генераторе	Топливо (отходы)	Влажность %	Теплотворность газа кал/м <sup>3</sup>	Число оборотов двигателя в мин.	Среднее индикаторное давление кг/см <sup>2</sup>	Индикаторная мощность л. с.	Полезная мощность л. с.	Расход на 1 п. л. с.—час		Из 1 кг топлива получено газа м <sup>3</sup> /кг	Механическая полезность двигателя %	Тепловая полезность			Температура			Расход охл. воды л/ч.	Количество тепла унесенного охлаждающей водой в кал/час.	Количество тепла унесенного охлаждающей водой на п. л. с./час
									Твердого топлива кг.	Газа м <sup>3</sup>			Двиг. %	Генератор %	Всей установлен. %	Уходящих газов из двигателя	Входящ. охл. воды	Уходящ. охл. воды			
0	Прямой	Ольхов.	42	900	445	2,55	11,35	0,00	—	—	1,42	—	—	56	—	325,2°	3,2°	33,8°	243	7440	—
$\frac{1}{4}$	Обратн.	Еловые	50	741	440	2,80	12,30	4,52	3,54	6,30	1,78	36	14	48	6,9	353°	4°	48,2°	153	6760	1496
$\frac{1}{2}$	Прямой	Еловые	40	753	440	3,40	14,86	7,88	3,17	3,61	1,14	53	23	37	8,5	353°	3°	48°	180	8100	1028
$\frac{3}{4}$	Прямой	Ольхов.	42	900	445	3,80	16,83	10,95	2,32	2,48	1,07	65	28	42	11,5	357,2°	3°	55,9°	192	10160	928
$\frac{1}{1}$	Обратн.	Еловые	50	741	435	4,10	17,80	15,06	1,70	2,87	1,68	85	29	65	19	353°	3,6°	57,6°	240	12950	860

Все величины, характеризующие работы двигателя, указывают на удовлетворительную работу двигателя на газе, полученном из отходов, даже и бедном газе с весьма низкой теплотворностью.

Газовый анализ продуктов горения в двигателе показал: содержание углекислоты CO<sub>2</sub> — 15,5%, кислорода O<sub>2</sub> — 2,0% и азота — 82,5%. Определенный по этим данным коэффициент избытка воздуха равен 1,1.

Тепловой баланс приведен в таблице XIX; распределение тепла в процессе работы двигателя таково:

1. Тепло в подведенном газе:

$$741 \times 2,87 \times 15,06 = 32047,65 \text{ кал./час}$$

2. Превращено в индикаторную работу:

$$17,8 \times 632 = 11249,6 \text{ кал./час.}$$

3. Превращено в полезную работу:

$$15,06 \times 632 = 9517,92 \text{ кал./час.}$$

7. Потери тепла лучеиспусканием и неучтенные:  
 $32047 - \Sigma (2 + 5 + 6) = 3237$  кал.

Таким образом:

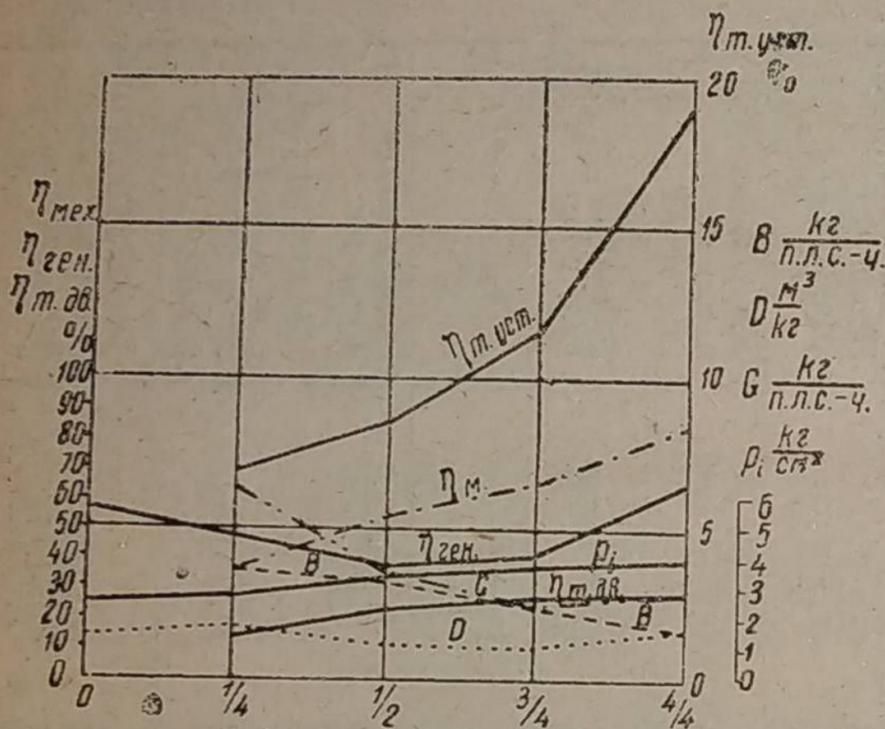
Таблица XIX

	(в %)
Превращено теплоты в индикаторную работу . . . . .	35,1
Унесено теплоты в охлаждающей воде . . . . .	40,4
Унесено теплоты с выхлопными газами . . . . .	14,4
Потери теплоты лучеиспусканием и неучтенные . . . . .	10,1
Всего . . . . .	100,0

На диаграмме 18—фиг. 25 — представлены характеристические кривые, построенные по результатам испытаний, собранным в таблице XVIII.

## 10. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСОСЕЧНЫХ И ЛЕСОПИЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

Развитие лесодобывающей и лесообрабатывающей промышленности зависит от тех источников энергии, которые будут использованы на месте. Стремление применять трактор на жидком топливе в районах лесозаготовок должно быть признано нецелесообразным, так как доставка жидкого топлива в места наиболее интен-



Фиг. 25. Диаграмма № 18. Характеристика газового двигателя завода „Deutz“—26 л. с.

сивных заготовок в необходимом количестве затруднена целым рядом обстоятельств и, в первую очередь, вследствие трудности перевозки по железным дорогам тех громадных количеств жидкого топлива, которые необходимы для лесоразработок. Разрешая вопрос о развитии лесной промышленности,

необходимо прежде всего предусмотреть использование тех колоссальных количеств лесосечных отходов, которые остаются на лесосеках. Газофицируя лесосечные отходы там-же на сборочных складах и перевалочных базах, можно электрифицировать лесоразработки и механизировать все лесозаготовительные операции.

Естественно встает вопрос о том, насколько велики запасы отходов на лесосеках. Приблизительные подсчеты, которые были произведены мною, показывают, что эти запасы настолько велики, что они могут иметь существенное значение в составлении энергетического баланса. Использование отходов, правильно организованное, могло бы дать 2 000 000 л. с. установочной мощности.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> „Лесное хозяйство и лесная промышленность“, 1931 г. № 5—6 Д. Тагеев „Использование лесосечных отходов в энергетических целях“.

В этих приблизительных подсчетах величина энергии, которую можно получить из отходов, была преуменьшена, так как при сделанных тогда подсчетах в первом приближении некоторые исходные величины были далеко не установлены. Да и кроме того в литературе тогда не было определенных данных по количеству отходов.

В настоящее время различные лесопромышленные организации занялись вопросом использования отходов и произвели подсчеты тех запасов отбросов, которыми можно располагать на лесоразработках.

В своих подготовительных работах к плану второй пяти-летки ленинградский трест лесохимической промышленности (Ленхимлес) произвел подсчеты того количества отходов, которое получится на лесозаготовках Ленинградской области в течение ближайших пяти лет.

Ленхимлес произвел подсчеты отходов по сплошным и выборочным рубкам, определив их количество по фактическому отпуску леса по Ленинградской области (без Мурманского округа) с Пудожским леспромхозом и по Мурманскому округу отдельно.

По отчетным данным за 1931 г. количество отходов определилось 5893,3 т. куб. м плотной массы; по контрольным цифрам на 1932 г.—7662,3 т. куб. м. При этом по подсчетам Ленхимлеса количество отходов определено в 1931 г. в 38,8%, а в 1932 г.—28,8% в среднем от заготавливаемой древесины; в своих подсчетах, сделанных в журнале „Лесн. хоз. и лесная промышленность“, я принял количество отходов в 35%; как видно, отклонение моих величин незначительное.

Учитывая отходы по Мурманскому округу, общее количество таковых определяется для Ленинградской области и Мурманского округа по отпуску 1931 г. 6098,7 т. куб. м и в 1932 г.—8154,7 т. куб. м плотной массы.

С развитием в Мурманском округе различных отраслей добывающей промышленности (добыча апатита, нефелинового сырья и железной руды в Монча-Тундре) спрос на энергию станет так высок, что все местные источники таковой должны быть учтены и выяснены. Как было установлено мной в вышеупомянутой статье, для механизации лесозаготовок необходимо всего лишь около 20% той массы отходов, которая получается на лесосеках. Все остальное может быть превращено в энергию и передано в виде электроэнергии в промышленность. Для определения этой ве-

личины воспользуемся теми данными, которые получены из наших опытов по газификации отходов.

Итак, в 1932 г. количество отходов по Ленинградской области и Мурманскому округу определялось 8154,7 т. куб. м, которые весят (принимая вес 1 куб. м в 500 кг),

$$8154700 \cdot 500 = 4077350000 \text{ кг.}$$

Предполагая, что только одна половина лесосечных отходов будет использована в энергетических целях, а другая будет оставлена в лесу в качестве „зеленого удобрения“, из используемой массы отходов можно иметь следующие количества л. с./ч. при расходе отходов 1,7 кг (п. л. с./ч.)

$$\frac{4077350000}{2 \cdot 1,7} = 1199220000 \text{ л. с./ч.}$$

Принимая в году 3500 часов работы при 10 месяцах, 25 рабочих дней в месяц и 14 часах работы, установочная мощность определится:

$$\frac{1199220000}{3500} = 342634 \text{ л. с.}$$

для удобства подсчета округлено до 343000 л. с.

Для механизации лесозаготовок по Ленинградской области примем с запаса 25% всей располагаемой мощности, что составит около 86000 л. с.

По подсчетам, сделанным в статье в журнале „Лесное хозяйство и лесн. пром.“ 1931 г. № 5—6, для механизации лесозаготовок необходимо 20% той энергии, которую дают отходы.

Вся остальная масса отходов может быть использована для промышленных нужд области. По данным Ленхимлеса стоимость сборки 1 куб. м. отходов колеблется от 1 р. 50 к. до 2 р. Для расчета стоимости единицы энергии, получаемой из отходов, примем 1 р. 75 коп. В виду того, что сбор отходов является в настоящее время обязательным, стоимость сбора следует отнести лишь на ту часть, которая пойдет на энергетическое использование, т. е. на половину всей массы отходов, прибавив стоимость дробления отходов перед загрузкой в газогенератор. Стоимость дробления может быть оценена приблизительно в 30 коп. за куб. м. В таком предположении стоимость 1 куб. м определится в 2 р. 05 коп.

Стоимость топлива на 1 л. с./ч. определится так:

$$\frac{4077350 \times 205}{1199220000} \sim 0,70 \text{ коп.}$$

Этот расход, конечно, должен быть признан высоким и на полученную стоимость заготовки отходов для газо-

фикации нужно смотреть, как на очень приближенную. Для установления точной стоимости заготовки отходов нужно было бы произвести опытное определение таковой, однако до сих пор ни одна организация, разрабатывающая вопросы использования отходов, этим не занималась.

Стоимость капитальных затрат на 1 л. с. установочной мощности и стоимость 1 л. с./ч. полезной мощности определяется следующим образом.

#### Капитальные затраты.

1. Стоимость двигателей с газогенераторами и другими вспомогательными устройствами, считая по 200 р. 1 п. л. с./ч.

$$343000 \times 200 = 68600000 \text{ р.}$$

2. Стоимость электрогенераторов с распределительным устройством, считая на 1 л. с. — 100 р.

$$343000 \times 100 = 34300000 \text{ р.}$$

3. Доставка на место, монтаж и устройство машинных помещений (25% от стоимости механического оборудования)

$$343000 \times 200 \times 0,25 = 17150000 \text{ р.}$$

4. Жилые помещения и вспомогательные сооружения:

$$343000 \times 200 \times 0,10 = 6860000 \text{ р.}$$

$$\text{Всего} \dots \dots 126910000 \text{ р.}$$

Стоимость 1 л. с. установочной мощности:

$$\frac{126910000}{343000} = 370 \text{ руб.}$$

#### Эксплуатационные расходы:

1. Заготовка отходов . . . . .  $4077350 \times 2,05 = 8358567$  р.

2. Погашение капитальных затрат (10%) . . . . . 12691000 „

3. % на затраченный капитал (10%) . . . . . 12691000 „

4. Ремонт (5%) . . . . . 6345500 „

5. Обслуживание с начислениями (5%) . . . . . 5145000 „

6. Вспомогат. материалы, смазка-обтирка (10%) . 1543500 „

$$\text{Всего} \dots \dots 40774567 \text{ р.}$$

Или стоимость 1 п. л. с./ч.

$$\frac{4677456700}{1199220000} = 3,8 \text{ коп.} \sim 4 \text{ коп.}$$

Расход на сбор и подготовку отходов составляет около 17,5% от полной стоимости 1 л. с./ч., что должно быть признано высоким. Конечно, уточнение этого расхода может

его снизить, и притом очень существенно, так как стоимость сбора 1 куб. м отходов, даваемая Ленхимлесом, очень приближительна. Все же эту стоимость энергии нельзя считать чрезмерно высокой, так как энергосбыт производил отпуск энергии для силовых целей в зависимости от мощности установки по цене от 3—4 коп. за 1 л. с./ч.

Из всего количества энергии, даваемого отходами в Ленинградской области, для механизации лесозаготовок нужно 25%, т. е. 85 750 л. с., что потребовало бы капитальных затрат, считая по 370 р. л. с. — 32 млн руб. и эксплуатационные расходы составили бы при 3 500 часах работы в год — около 12 млн руб.

При отпуске древесины в год по Ленинградской области с Пудожским леспромхозом и Мурманским округом в количестве 27 810 тысяч куб. м, расход на производство энергии на зажимах генератора составит на 1 куб. м заготовленной древесины:

$$\frac{1\ 200\ 000\ 000}{27\ 810\ 000} = 43 \text{ коп./куб. м.}$$

## 11. РАЗМЕРЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК НА ЛЕСОЗАГОТОВКАХ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Величина газогенераторной силовой установки на лесосеках определяется величиной последних. В Ленинградской области при сплошной рубке величины лесосек на Севере занимают от 50—400 га и на юге от 12—25 га. На этих лесосеках можно иметь следующие запасы энергии, которые могут быть добыты на отдельных участках для электрификации и последующей механизации лесозаготовок.

Считая средний запас древесины на лесосеках, по данным Ленхимлеса, — 170 куб. м. с 1 га и принимая ради осторожности количество энергетических отходов — 35% от общей массы древесины, а если из этого количества будет использовано 60% — на участках севера меньшей площади можно иметь отходов:

$$170 \times 50 \times 0,35 \times 0,6 \times 500 = 892\ 500 \text{ кг}$$

и отсюда иметь энергии:

$$\frac{892\ 500}{1,7} = 525\ 000 \text{ л. с./ч.}$$

При 3 000 ч. работы в год, установочная мощность будет:

$$\frac{525\ 000}{3000} = 175 \text{ л. с.}$$

На участках большей площади установочная мощность выразится в:

$$\frac{170 \times 400 \times 0,35 \times 0,60 \times 500}{1,7 \times 3000} = 1400 \text{ л. с.}$$

На южных участках установочная мощность может быть исчислена в таких размерах — на участках в 12 га:

$$\frac{12 \times 170 \times 0,35 \times 0,60 \times 500}{1,7 \times 3000} = 42 \text{ л. с.,}$$

а на участках в 25 га:

$$\frac{25 \times 170 \times 0,35 \times 0,60 \times 500}{1,7 \times 3000} = 87 \text{ л. с.}$$

На севере Ленинградской области будут иметь место установки мощностью от 175 до 1400 л. с., а на юге — от 42 до 87 л. с.

На основании произведенных расчетов можно сделать предположение о типах установок и их величине. На юге Ленинградской области установки будут малых величин от 40 до 90 л. с. и в среднем можно полагать около 65 л. с. Такие установки могут быть перевезены без значительных осложнений с одного участка на другой в зависимости от расположения лесосек и условий работы. Эти установки облегченного типа без смолоотделителя и пылеуловителя только с мокрым очистителем будут работать обратным процессом, при котором все побочные продукты сгорают, что и дает возможность уменьшить вес установки. Сколько может быть таких установок, не имея рабочего плана лесоразработок в Области, сказать трудно; но все же удобства эксплуатационных условий могут потребовать объединения нескольких мелких газогенераторных установок в одну средних или даже крупных размеров. Необходимость для газогенераторной установки употребления воды для промывки газа и охлаждения двигателя может послужить причиной для объединения небольших установок в одну.

Вода, охлаждающая двигатель, может быть пущена путем оборота снова для той же цели, да и расход этой воды незначительный — 30 л (на 1 л. с./ч). Воду, промывающую газ при работе генератора обратным процессом, необходимо возобновлять после работы в течение 5—10 дней, иначе она будет чрезмерно загрязнена.

В северной части Ленинградской области должны преобладать средние и крупные установки от 175 л. с. до 1400 л. с. Эти установки необходимо устанавливать в тех пунктах лесоразработок, где таковые будут вестись длительно в тече-

ние ряда лет; такие же станции будут расположены в местах сбора заготовленной древесины у сплавных рек или у погрузочных станций железных дорог. В таких центральных складах заготовленной деловой древесины или дров, где будет вестись разделка кряжей, окорка и распиловка, при наличии отходов древесины, газогенераторные установки могут быть долговременные — для газификации топлива с использованием побочных продуктов в промышленных целях.

Возможна также при наличии на центральных складах больших количеств лесосечных и лесопильных отходов газификация таковых для использования газа в топках котлов на силовых станциях, обслуживающих близ лежащие промышленные предприятия местного значения.

Использование газообразного горючего, получаемого в генераторах, в топках котлов, там где затруднена установка газового двигателя или где по условиям производства имеется потребность в техническом паре, дает значительные удобства, особенно при использовании деревообделочных отходов. В обычных топках опилки и дробленая древесина сгорают с весьма низкой полезностью, вследствие большой потери топлива (уноса) и неполноты сгорания, тогда как газифицированное топливо дает газ, который, сгорая при малом расходе воздуха, дает большую полезность котельной установки.

Использование генераторного газа вполне возможно на тракторных и автомобильных машинах. Тракторы с газогенераторами могут иметь большое значение в деле отвозки заготовленной древесины. Применение газогенераторов в транспорте не представляет особой проблемы. Она разрешена во Франции и в некоторых других странах, — там тракторы и автомобили с газогенераторными установками имеют широкое применение.

Однако, в СССР этот вопрос еще далеко не разрешен, хотя и известны опыты, проведенные в этом направлении отдельными организациями, но они не сделались достоянием широких технических кругов и не вошли в практику лесотранспорта. Значительная часть проделывающихся в этом направлении опытов имеет целью использование в транспортном газогенераторе древесного угля. Следует признать, что такое направление едва ли соответствует лесозаготовительной практике, необходимость заготавливать уголь для транспортных машин осложняет дело лесозаготовок.

Углежжение лесосечных отходов в кучах должно дать большие потери в готовом угле вследствие хрупкости

пережженных мелких частей древесины, да и засоренность землей мелкого кучевого угля из отходов делает его непригодным для транспортных генераторов. Иначе — для снабжения углем транспортных генераторов его надо получать из отходов в особых передвижных печах — ретортах, что является значительным накладным расходом на перевозку заготовленного леса.

Наиболее удобно непосредственное применение лесосечных отходов в транспортных генераторах. На исследование этой задачи и следует направить усилия лиц, занимающихся изучением применения древесины в транспортных газогенераторах. Лесосечные отходы имеются на лесозаготовках везде, а изготовление из них угля требует затрат.

Исследование газового генератора в теплотехнической лаборатории Лесотехнической академии показало, что при обратном процессе возможно почти полное сжигание побочных продуктов газогенераторного процесса и газ получается чистый, но конечно при наличии мокрого очистителя. Выше было указано, что для лесозаготовок нужно не свыше 25% той энергии, которую можно получить из отходов, т. е. 85 750 л. с., а остальные 257 250 л. с. должны быть использованы для снабжения местной промышленности.

При разбросанности промышленных предприятий по области необходимо изучение возможного получения отходов в тех районах, где сосредоточиваются уже существующие предприятия или там, где таковые намечаются к постройке для проектирования районных электрогазогенераторных станций в целях снабжения предприятий энергией.

Возможно также и такое решение вопроса о снабжении энергией существующих предприятий и предположенных к постройке.

Избыточное количество отходов подвергается сухой перегонке в передвижных ретортах с получением побочных продуктов, а ретортный уголь после брикетирования перевозится на силовые станции для энергетических целей.

По контрольным цифрам на 1932 г. должно было выйти отходов 4 млрд. кг, и могло быть использовано 2,4 млрд. кг для получения энергии, из коих газифицировано без побочных продуктов все то количество, которое необходимо для силовых целей, т. е. 25% или 600 млн. кг. Из остающейся массы 1,8 млрд. кг, за вычетом 50% отходов на нагревание реторт можно было бы получить ретортный уголь в количестве 180 т.т. с побочными продуктами в количестве от 4 — 5% от веса перегонной древесины, т. е. от 36 т. — 45 т. тонн.

Перевірено 1948 р.

Оглавление

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
1. Техническое описание газогенераторной установки теплотехнической лаборатории ЛТА. . . . .	5
2. Уход за газогенератором . . . . .	10
3. Топливо . . . . .	14
4. Испытания газогенератора — прямой процесс . . . . .	19
5. Испытание газогенератора — обратный процесс . . . . .	36
6. Исследование обратного процесса . . . . .	41
7. Испытание двигателя . . . . .	67
I. Определение расхода газа при помощи диафрагмы . . . . .	—
II. Основная характеристика газового двигателя . . . . .	—
III. Оценка работы двигателя . . . . .	69
8. Газофикация опилок . . . . .	71
9. Испытание двигателя при различных нагрузках . . . . .	73
10. Использование лесосечных и лесопильных отходов в энергетических целях . . . . .	76
11. Размеры газогенераторных установок на лесозаготовках в Ленинградской области . . . . .	80



Ответ. редактор Л. Лецин.

Тех. редактор Э. Бейлина.

84 стр., 25 фиг.

Сдано в набор 9/VI 1933 г. Подписано к печати 9/IX 1933 г.  
Формат бумаги 82 × 110<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Тип. зн. в 1 б. л. 135.000.  
Индекс X-III-2. ЛОГЛТИ № 184. Ленгорлит № 20232 Тираж 2200.  
Объем 5<sup>1</sup>/<sub>4</sub> п. л. Заказ № 1072.

№ 04221

ПРОДАЖА КНИГ И ЖУРНАЛОВ ПО ЛЕСНОЙ И БУ-  
МАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В МАГАЗИНАХ КНИ-  
ГОЦЕНТРА ОГИЗа. ЛЕНИНГРАД, ПР. 25 ОКТЯБРЯ, Д. 28,  
ДОМ КНИГИ.

ПРИ ЗАКАЗЕ ПО ПОЧТЕ КНИГИ ВЫСЫЛАЮТСЯ  
НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ В ЛЮБОЙ ПУНКТ СССР.

В СЛУЧАЕ НЕНАХОЖДЕНИЯ ЭТИХ КНИГ В МАГАЗИ-  
НАХ КОГИЗа, ПРОСИМ НЕМЕДЛЕННО СООБЩИТЬ  
В ГОСЛЕСТЕХИЗДАТ, ПР. 25 ОКТЯБРЯ, Б.