

2149  
375  
Наркомлес СССР — ГУУЗ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени В. В. КУЙБЫШЕВА

---

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР

ВЫПУСК XII

Н. П. ВОЗНЕСЕНСКИЙ,  
доцент, кандидат технич.  
наук

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
ПРОВЕРКИ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ  
СКОРОСТНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ТОПЛИВА

---

Издание АЛТИ

1940 г.

375



11/62

# Введение

Целью проведенных нами в 1938 г. экспериментальных работ, освещению результатов которых посвящена настоящая брошюра, являлась проверка принципиальной возможности скоростной газификации в газогенераторах транспортного типа, а также выявление необходимой высоты активной зоны в зависимости от размеров кусков топлива.

Решение последней задачи дает материал для проектирования скоростных газогенераторов и возможность, дополнительно, проверить основные выводы физико-химической теории газификации твердого топлива, разработанной нами ранее.

## 1. Сущность вопроса и предпосылки

Работая на испытаниях газогенератора в 1936 г., мы убедились, что при известных условиях горения древесного угля (невысокая скорость дутья при малом слое топлива) становится отчетливо заметным синее пламя около частиц угля, характеризующее, по нашему мнению, сгорание вынесенной с поверхности угля  $CO$ , как первичного продукта окисления углерода.

Вскоре мы убедились, что указанное явление давно подмечено и нашло аналогичное объяснение у ряда авторов.

Указанное явление прямо наводит на мысль о возможности образования окиси углерода на поверхности горящего угля, причем выделяющаяся  $CO$  за время диффузии через застойный слой (газовую пленку) сгорает, давая коронку синего пламени.

Если это явление сгорания  $CO$  за время диффузии через газовую пленку действительно имеет место, то можно создать такие условия для горения угля, когда вынесенная быстрым потоком газа  $CO$  из тонкой пленки сгорит в виде пламени среди дополнительно подведенного воздуха. Именно такой опыт и был проделан нами.

Ламповое стекло 3 (см. рис. 1) в своей нижней части связано со всасывающей трубой компрессора (через систему газогенераторной установки). Древесный уголь 1 влажностью 4,1% обработан по форме правильного цилиндрика с отверстием  $2 \varnothing = 4$  мм по его оси.

Уголь разжигался по отверстию в нем. Держа уголь в руке, мы изменяли величину зазора  $\delta$  между стеклом и нижним торцом угля, добиваясь требуемой скорости прохода дутья по отверстию в угле и необходимого количества воздуха для дожигания выносимой окиси углерода.

Действительно, изменением положения угля мы добивались ясно видимого синего пламени  $CO$ , длиной до 35 мм. Толщина угля в опытах была от 30 до 40 мм.

Это хорошо доказывает возможность непосредственного выноса  $CO$  с поверхности топлива, а раз это так, то необходимо лишь создать условия, при которых окись углерода в генераторах будет получаться непосредственно (минуя процесс восстановления).

Возможность получения  $CO$  без процессов восстановления впервые была доказана лабораторным путем интересными опытами М. К. Гродзовского и З. Ф. Чуханова в Институте азота; они сделали предложение об одновременном образовании  $CO$  и  $CO_2$  на поверхности углерода.

Сопоставление данных последних научных изысканий и данных испытаний различных типов транспортных газогенераторов с результатами наших опытов привело автора этой работы к разработке физико-химической теории газификации твердого топлива, опубликованной в книге „Легкие газогенераторы“ (ОНТИ, 1938 г.).

Указанная теория дала объяснение процессам газификации, учитывая не только химическую, но и физическую сторону явления.

Нам удалось дать также метод расчета высоты активной зоны и ее диаметра для газогенераторов, установив их конкретные величины для ряда условий газификации.

Настоящей работой мы поставили перед собой задачу проверить ранее сделанные вычисления с тем, чтобы последние с большей уверенностью применять на практике при конструировании газогенераторов.

Кроме этого, мы повторно проверили принципиальную возможность скоростной газификации (хотя мы и не сомневались в точности опытов Гродзовского и Чуханова), по-

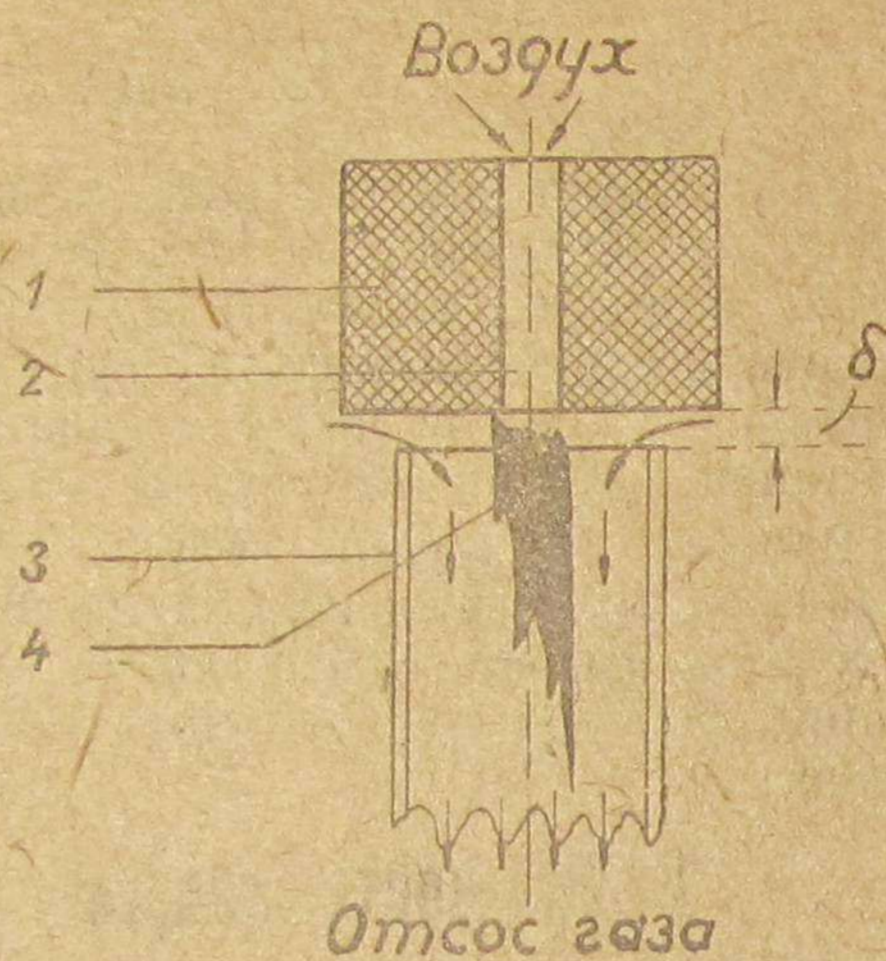


Рис. 1.

сколько в литературе высказано сомнение по этому поводу.

Вот что пишет по опытам Гродзовского и Чуханова проф. Гинзбург: „Соображения авторов исследования о возможности благодаря повышению скорости газов увеличения содержания окиси углерода в газе противоречат установившимся взглядам на процесс газификации и требуют дополнительного подтверждения“.

Основными выводами физико-химической теории газификации являются следующие:

1. Основные реакции газификации твердого топлива — реакции гетерогенного типа, а следовательно, в определенных условиях протекают при наличии двух фаз: твердой и газообразной.

На границе фаз образуется газовая пленка, толщина которой складывается из толщины неподвижной пленки, весьма тонкой, облегающей куски топлива, и толщины ламинарного течения в непосредственной близости к поверхности топлива. Эта пленка может быть пройдена молекулами реагирующих веществ только с помощью диффузии.

2. Скорость реакции горения (полного и неполного) углерода не менее, чем в 4500 раз более скорости диффузии через газовую пленку; следовательно процесс лимитируется не скоростью химических реакций, а скоростью диффузии через газовую пленку.

3. Рассмотрение процессов газификации твердого топлива — есть рассмотрение процессов диффузии через газовую пленку вместе с процессами, параллельно протекающих, химических реакций.

4. Толщина газовой пленки не зависит от размеров кусков топлива. Средняя толщина пленки с необходимой точностью может быть подсчитана по выражению:

$$\delta = \frac{D \cdot q \cdot (C_0 - C_1) \cdot t}{n}$$

где:

$\delta$  — средняя толщина газовой пленки в мм;

$D$  — коэф. диффузии кислорода через газовую пленку в  $см^2/сек.$ , соответствующий средней температуре зоны;

$C_0 - C_1$  — разность концентраций кислорода на поверхности топлива и в дутье (в  $кг-молях/см^3$ );

$n$  — количество продиффундировавшего кислорода через газовую пленку по всей активной поверхности топлива, заключенного в камере газификации (в молях за время  $t$  секунд);

$q$  — активная поверхность топлива в  $см^2$ .

5. Толщина газовой пленки зависит от скорости движения воздуха по зазорам топлива, т. е. от скорости

дутья. Для условий газификации твердого топлива в транспортных газогенераторах имеет место зависимость гиперболического типа

$$\delta \cdot V = 0,22,$$

где:

$\delta$  — средняя толщина газовой пленки в см,

$V$  — скорость дутья по зазорам топлива в м/сек.

6. Максимальная толщина газовой пленки (средняя для камеры газификации), еще допускающая значительный вынос  $CO$ , составляет величину порядка 0,7 мм. Это критическая толщина пленки. Скорость, соответствующая этой толщине пленки, — критическая скорость и составляет около 3 м/сек., считая по зазорам топлива с поправкой на среднюю температуру зоны (около  $1100^\circ C$ ).

При меньших скоростях дутья толщина пленки увеличивается и окись углерода, образовавшаяся на поверхности раскаленного топлива, за время диффузии через утолщенную пленку, сгорает до  $CO_2$ , что имеет место в зоне горения обычных газогенераторов с малой скоростью дутья.

При увеличении скорости дутья пленка делается тоньше — создаются условия для непосредственного выноса  $CO$  (скоростная газификация).

7. Концентрация кислорода по высоте активной зоны падает с расстоянием от плоскости подвода воздуха по логарифмической кривой.

$$C = -10,91 \cdot \lg x + 23,21, \text{ где:}$$

$C$  — концентрация кислорода в дутье для данного слоя топлива в % по объему,

$x$  — расстояние по толщине активного слоя топлива от плоскости подвода воздуха в % от высоты зоны распространения кислорода, принятой за 100.

8. Средняя концентрация кислорода в цилиндрической камере газификации

$$C_{\text{ср}} = \frac{1}{x_0 - x_1} \int_{x_1}^{x_0} (23,21 - 10,91 \lg x) dx, \text{ где}$$

$C_{\text{ср}}$  — в % по объему,

$x_0$  и  $x_1$  — в % от полной высоты зоны распространения кислорода, принятой за 100,

$x$  — символ подинтегрального выражения.

9. Площадь сечения камеры газификации скоростного генератора может быть определена по выражению:

$$F = \frac{L_0 Q'_{\text{газ}} (t + 273)}{273 \cdot 3600 \cdot \alpha_1 V_{\text{кр}}} \text{ м}^2, \text{ где}$$

$L_0$  — количество первичного воздуха в  $\text{м}^3$ , необходимое для образования 1  $\text{м}^3$  сухого газа,

$Q'_{\text{газ}}$  — часовой отбор сухого газа в  $\text{м}^3$ , считая на наименьшие, практически необходимые обороты мотора, относенный к  $0^\circ C$  и 760 мм ртутного столба,

$t$  — средняя температура активной зоны в градусах  $C$  (напр. для дров по обратному процессу  $t = 1100^\circ C$ ),

$\alpha_1$  — коэффициент заполнения сечения (около 0,532 для обычных размеров топлива),

$V_{\text{кр}}$  — критическая скорость м/сек.

10. Величина необходимой и достаточной высоты активной зоны скоростного генератора определится из выражения

$$H = \frac{\delta \cdot n}{D \cdot b \cdot F (C_0 - C_1) t \cdot 10^4} \text{ м, где}$$

$\delta$  — критическая толщина газовой пленки,

$b$  — величина активной поверхности топлива в одном насыщенном куб. метре —  $\text{м}^2/\text{м}^3$ .

11. Зависимость высоты активной зоны (зоны распространения кислорода) скоростного генератора от размеров кусков топлива определяется выражением

$$H \cdot b = 8,6.$$

Последующие наши работы позволили уточнить постоянную величину приведенного выражения, причем она оказалась равной 17.

Вычисленная по приведенной выше формуле высота активной зоны скоростного генератора представлена в таблице 1. Объем в 0,011  $\text{см}^3$  соответствует размеру кусков угля от 2 до 5 мм, т. е. близок к размеру угля в опытах

Табл. 1.

Объем средн. куска топлива см	Высота активн. зоны скоростн. генератора мм
0,011	5,7
40	90
80	104
100	110
200	136
300	160
400	184

проф. Гродзовского и Чуханова. Верность вычислений подтверждается: а) опытами проф. Гродзовского и Чуханова, где для частиц угля от 2,5 до 5 мм высота зоны была от 4 до 8,5 мм; б) опытами НАТИ (скоростной газогенератор Мезина), при размерах кусков от 80 до 250  $\text{см}^3$  высота активной зоны была 111 мм; в) опытами конструкторского бюро ГАЗ. При тех же, что и предыдущий, условиях, генератор „ГАЗ-40“ работал с высотой активной зоны в 100 мм.



струе воды, вытекающей из мелких отверстий, часть ее разбрызгивалась на мелкие капли. Это способствовало быстрому охлаждению газа, выходящего из колосников, и предотвращало возможность течения обратных реакций. Стекающая со стенок камеры и летящая в брызгах вода собиралась в зольнике, оттуда уже выливалась через патрубок отсоса газа 17 в нижнюю часть пылеотделителя, снабженного гидравлическим затвором. Благодаря охлаждению водой колосников и нижней части стенок камеры газификации при исправно действующей водоподаче, мы могли работать, не опасаясь порчи камеры и колосников от действия высоких температур. Кроме того, зольник газогенератора не нуждался ни в какой чистке, ибо вся зола и уголь уносились через гидравлический затвор наружу и генератор самоочищался. Это последнее качество было нам особенно ценно, ибо при больших скоростях отсоса газа имел место некоторый унос мелких углей. По окружности камеры было высверлено 8 фурм диаметром 8 мм.

Для предохранения от ожогов при опытах вокруг основной камеры газификации располагается кожух камеры 16 из листовой стали. Кожух уплотнен сверху и снизу азбестовыми прокладками и выполнен разъемным на 2 половины, соединяемые болтами. Для подвода воздуха к фурмам в конце имеется 2 футорки 15, могущие плотно закрываться.

Для наблюдения за процессом газификации и для разжига на одном уровне с фурмами, в наружном кожухе проделаны 4 отверстия, закрываемые пробками 20.

В основную камеру газификации вставлена другая, тоже цилиндрическая, камера с толщиной стенок 7 мм—это сменная камера. По желанию можно поставить вместо ее камеру другого диаметра.

Центрирование сменной камеры достигается путем постановки стальных колец 8, между которыми помещается уплотнительная набивка из азбестовых уплотняющих колец 5 и зольной засыпки 6.

В верхней части сменной камеры высверлено 8 фурм (7) диаметром 8 мм. Для лучшего осыпания топлива имеется направляющий конус 19 сменной камеры. Конус удерживается с помощью 3 болтов. В нижней части сменная камера фиксируется специальным болтом и имеет окна для прохода газа.

Колосниковые решетки сменные,—соответственно диаметру внутренней камеры. При помощи перемещения по вертикали колосниковой решетки можно менять и высоты зон генераторного процесса. Кроме этого данная конструкция позволяла работать и иным способом. Бункер сни-

мался, колосниковая решетка опускалась возможно ниже, фурмы отключались и слой топлива, насыпанного в камеру, поджигался сверху. В результате получаем генератор с переменной величиной активной зоны.

Общая схема установки  
для испытания скоростного  
газогенератора

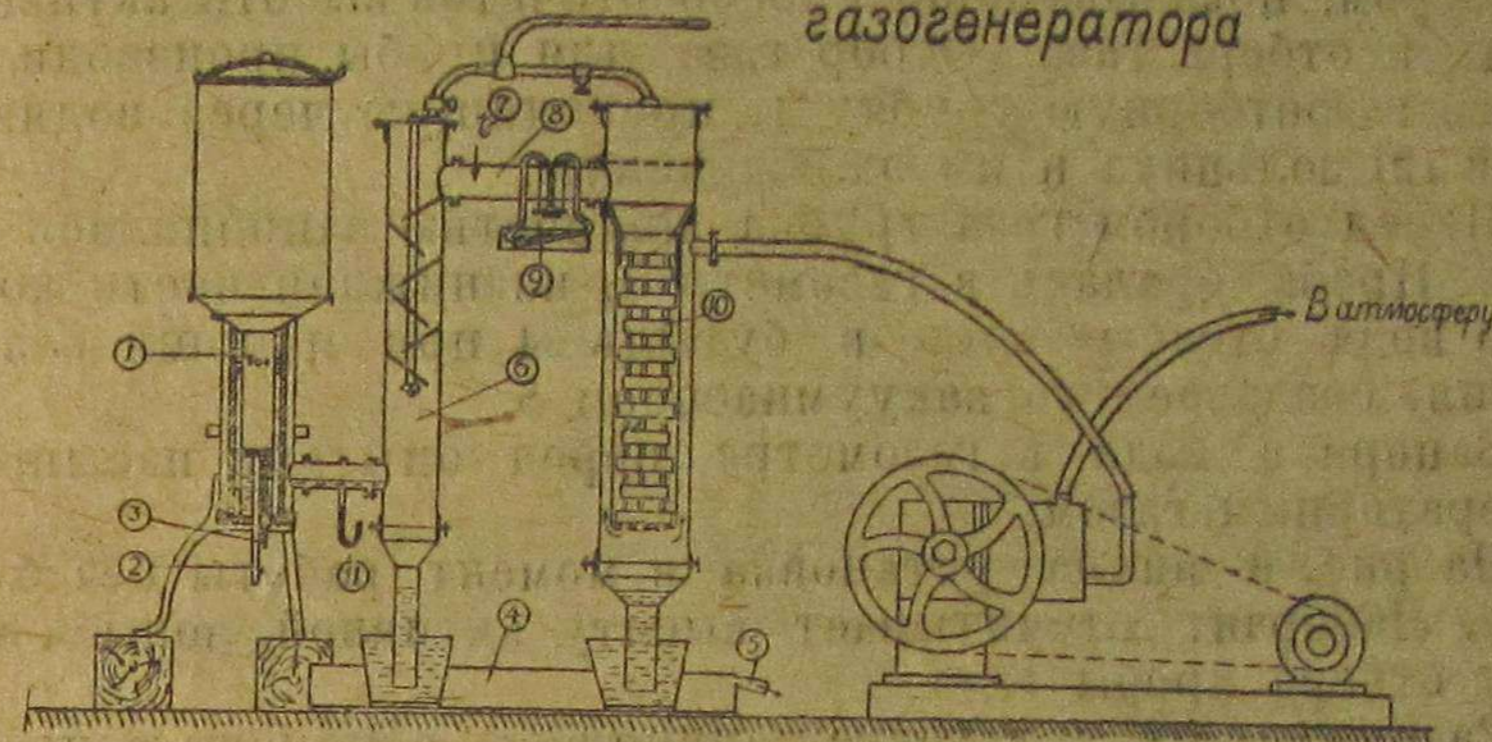


Рис. 3.

Беря анализы газов, при той или иной толщине слоя, мы имели соответствующие результаты. Поскольку опускание топлива при таком малом сечении активной зоны (благодаря высокой напряженности процесса) шло очень быстро, то часть топлива не успевала опуститься. Образовывались пустоты и провалы, не дающие возможности установить истинную картину скоростной газификации. При отключенном бункере активная часть слоя всегда была перед глазами, почему образовавшиеся провалы можно было выравнивать или забраковать пробу газа, а это давало более надежный результат, вот почему почти все опыты пришлось вести с отключенным бункером.

В опытах следующего года намечена работа с бункером, снабженным мешалкой топлива.

На рис. 3 изображена общая схема установки. Из рис. 3 видно, что газ по выходе из газогенератора поступает в нижнюю часть пылеотделителя 6, где проходит между наклонными дисками, омываемыми водой, и очищается от грубых примесей, одновременно охлаждаясь.

Сверху пылеотделитель имеет глухую крышку, а снизу гидравлический затвор. Газ, по выходе из пылеотделителя, проходит по прямому патрубку через диафрагму 8 в тонкий очиститель—холодник газа 10. Внизу холодильника имеется гидравлический затвор; вверху поставлена резиновая диафрагма в целях смягчения пульсирующего действия компрессора, вредно влияющего на точность отсче-

тов по пьезометрам. Из холодильника газ поступает в компрессор 11, а оттуда выбрасывается в атмосферу по трубе 12.

На рис. 4 приведена фотография общего вида установки. Вода для охлаждения во время опытов бралась из водопровода; отработанная вода спускалась в канализацию.

На рис. 5 приведена схема установки с отключенным бункером, показывающая способ отсчетов высоты активной зоны и отбора газа. Отбор газа для пробы производился через газоотборную трубку 1, проходящую через водяной слой (2) зольника и им охлаждаемую.

Перед отбором газа трубка полностью заполнялась водой. Проба бралась в газометр 3, из нижней части которого вода отсасывалась в бутылку 4 при помощи разряжения, создаваемого вакуумнасосом 5.

Запорная вода в газометре перед опытами насыщена генераторным газом.

На рис. 6 видна установка в момент работы без бункера. Лаборант отсчитывает высоту активной зоны в момент отбора пробы газа.

Разряжение в установке измерялось с помощью пьезометров (тягомеров) в мм водяного столба.

Расход газа определялся с помощью диафрагмы и дифференциального тягомера Креля. Температура газа измерялась ртутным термометром.

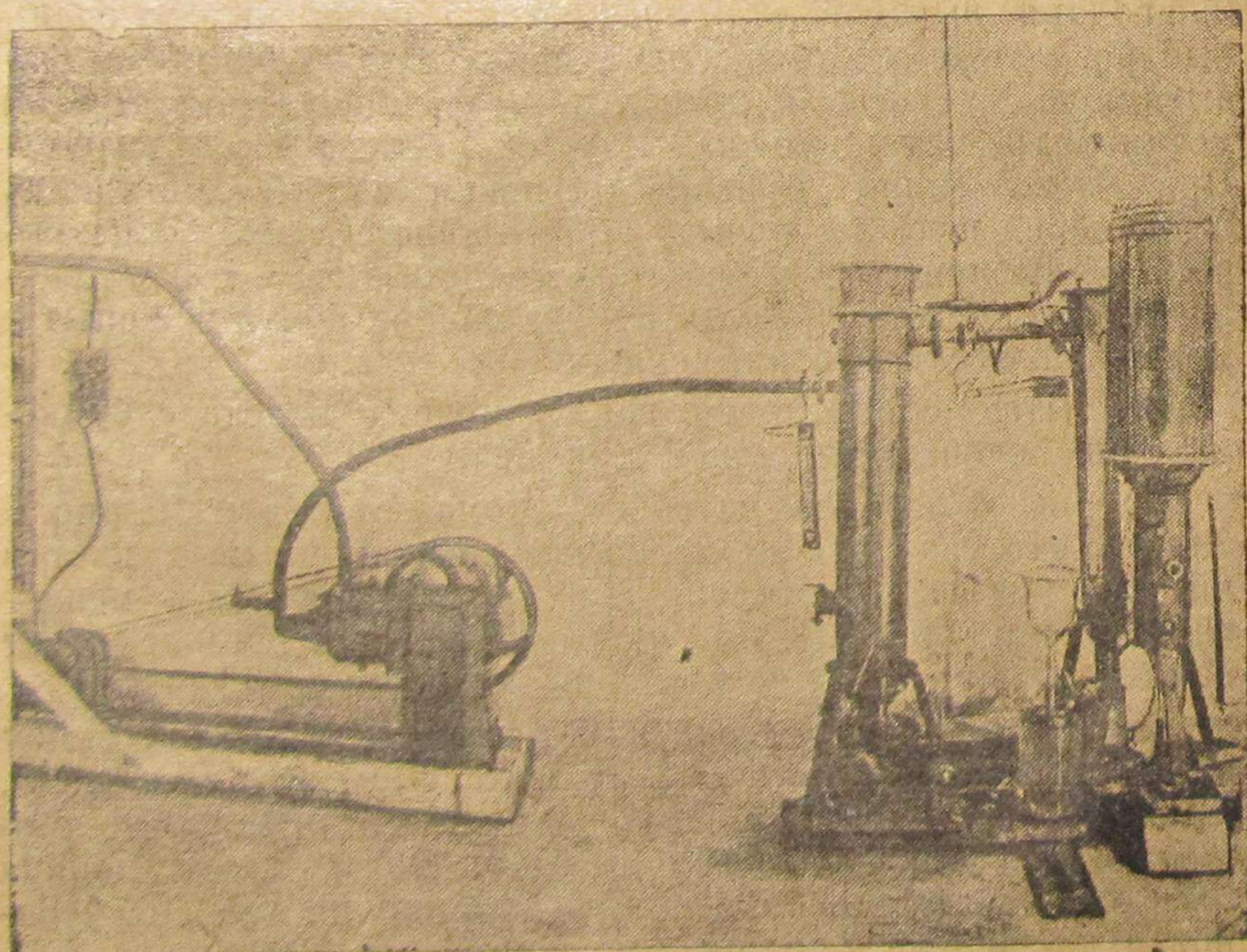


Рис. 4.

### 3. Испытание скоростного газогенератора<sup>1</sup>

В качестве топлива употреблялся древесный уголь с абсолютной влажностью от 4,1% до 3,5% (в среднем около 3,8%). Анализ угля, произведенный в лаборатории органической химии АЛТИ, дал следующий его элементарный состав:

$$C - 63,0\% \quad , \quad H_2 - 4,5\%$$

$$O + N = 32,1\% \quad , \quad A = 0,4\%$$

Уголь был рассортирован по размеру на 3 сорта путем просеивания его через решета. Размеры и вес м<sup>3</sup> отдельных сортов угля видны из таблицы 2.

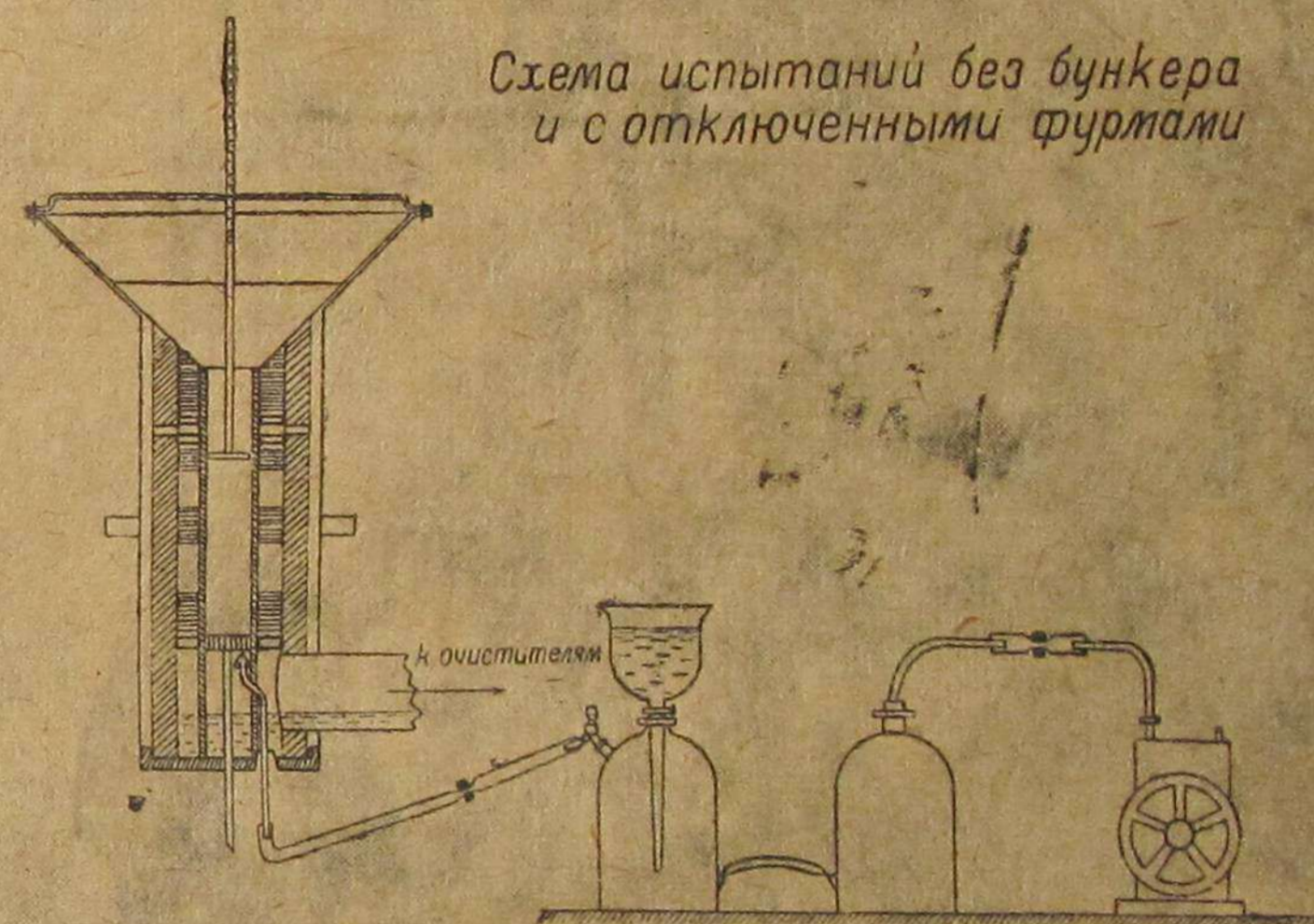


Схема испытаний без бункера и с отключенными фуртами

Рис. 5.

Таблица 2.

Сорт	Размер ячейки в мм		Размеры кусков угля в мм		Насыпн. вес угля кг/м <sup>3</sup>	Влажн. % абс.
	Первое решето	Второе решето	Поперечник	Длина		
1	1	5	5 ÷ 7	до 12	—	3,8
2	10	7	7 ÷ 10	до 18	183,7	3,8
3	17	10	10 ÷ 17	до 25	185,0	3,8

Нужно сказать, что поперечник углей выдерживался

<sup>1</sup>) В изготовлении чертежей, монтаже и испытаниях установки принимал участие механик Хвостов Ф. А.

точно по размеру, а длина сильно варьировала. Вследствие этого при недосмотре могли образоваться сводики топлива, дающие себя знать по резкому ухудшению качества газа. Поэтому перед засыпкой уголь тщательно просматривался, а при взятии проб для анализов газа велись наблюдения за слоем топлива и верхний его слой выравнивался с помощью специальной мешалки—мерной линейки. Вследствие этих мер активная зона представляла правильный цилиндр с диаметром, равным диаметру камеры газификации. Анализы газа, соответствующие неплотному лежанию слоя топлива (со сводиками или провалами), браковались.

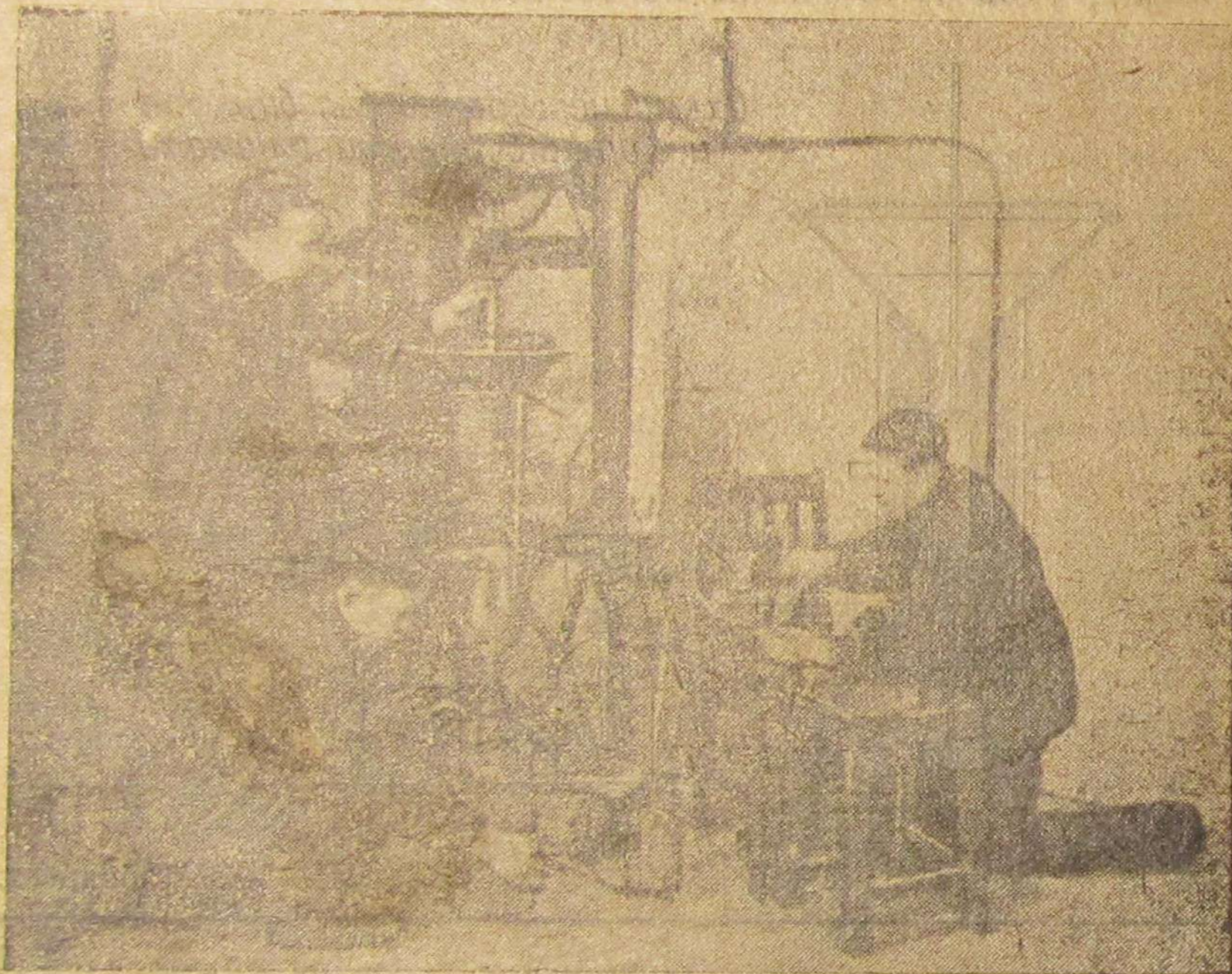


Рис. 6.

Для предварительного определения влияния скорости газового потока на его качество, а также для подтверждения принципиальной возможности скоростной газификации нами был произведен ряд опытов по глазомерному определению качества генераторного газа. Подобно тому, как это принято в практике эксплуатации газогенераторных машин, мы пробовали газ на горючесть, причем по интенсивности пламени горящего газа можно было судить о его качестве.

Газ отсасывался из низа активной зоны у колосников через газозаборную трубку, охлаждаемую водой—компрес-

сором. По выходе из компрессора газ пропускаться над пламенем спиртовой горелки. Длина пламени и интенсивность горения газа оценивались баллами на глаз. Приняты следующие оценочные единицы:

- 2—газ не горит,
- 3—газ дает чуть видное пламя,
- 4—газ хорошо горит, пламя длиной 8 см,
- 5—самое сильное пламя длиной до 12 см.

Отметки 4 и 5 соответствуют газу, на котором двигатель вполне может работать (из практики работы с газогенераторными автомобилями). Отметки 2 и 3 соответствуют газу, использование которого в двигателях не может иметь места.

В таблице 3 приведены данные этих испытаний для топлива 3 сорта, с размером углей 10—17 мм.

Во всем дальнейшем изложении принято обозначение через  $V$  м/сек. скорости дутья (воздуха), считая на полное сечение камеры и нормальные условия ( $0^\circ C$  и 760 мм рт. ст.).

$q$  — напряженность горения кг/м<sup>2</sup> час, считая на уголь (если считать на древесину, напряженность будет примерно вдвое более).

Зависимость качества газа от скорости дутья для топлива с размером 10—17 мм приведена в табл. 3.

Таблица 3.

$V$ м/сек	0,13	0,25	1,12	2,25				
$q$ кг/м <sup>2</sup> час	110	200	1200	2280				
Высота активн. зоны в см.	Сопротивл. газогенер. в мм вод. ст.	Качество газа	Сопротивл. газогенер. в мм вод. ст.	Качество газа	Сопротивл. газогенер. в мм вод. ст.	Качество газа	Сопротивл. газогенер. в мм вод. ст.	Качество газа
15	9	3	14	3	28	4	380	4
13	9	3	13	3	26	4	350	4
11	9	2	12	2	24	4	350	4
9	9	2	12	2	20	4	350	4
7	9	2	10	2	20	4	350	4
5	8	2	10	2	—	3	300	3
3	8	2	9	2	—	2	280	2
1	—	—	—	—	—	—	—	—
							Среднее из 4 испытаний	

Из таблицы видно повышение горючести газа с увеличением скорости дутья и напряженности горения. Кроме того, цифры указывают на минимальную величину активной зоны для данного сорта угля. Величина активной зоны из таблицы № 3 равна 7 см. В таблице учтено время опаз-



дывания подачи газа при проходе через отсасывающую систему. Аналогичная картина горючести газа наблюдалась нами и для топлива второго сорта размером частиц 7—10 мм.

Данные приводим в табл. № 4.

Таблица 4.

V м.сек	0,03	0,13	0,37	2,12				
$q \frac{кг}{м^2/час}$	22	110	400	2200				
Высота активной зоны см.	Сопротивл. газогенер. в мм вод.ст.	Качество газа	Сопротивл. газогенер. в мм вод.ст.	Качество газа	Сопротивл. газогенер. в мм вод.ст.	Качество газа	Сопротивл. газогенер. в мм вод.ст.	Качество газа
14,5	2	2	13	4	55	4	420	5
13,5	1	2	13	4	55	4	360	5
10,5	1	2	17	4	55	4	400	5
8,5	2	2	13	4	55	4	320	5
6,5	2	2	13	4	50	4	330	5
4,5	2	2	16*	4	50	4	300	5
3,5	2	2	19*	3	50	3	290	4
2,5	1	2	20*	3	50	3	280	3
1,5	—	—	22*	2	—	—	—	—

\*) Засорились колосники

Сопротивление газогенератора меняется по высоте незначительно, ибо с уменьшением активной зоны растет отбор газа (обозначенные скорость и напряженность горения лишь средние за время опыта). Во избежание недоразумения, в таблице 5 приводится изменение сопротивления газогенератора и отбора газа за время одного из опытов, результаты которого приведены в предыдущей таблице.

Табл. 5.

Высота активной зоны	Отбор газа м <sup>3</sup> /час.	V дутья м/сек.	Сопр. т/г в мм в. ст.
14,5	13	1,6	420
12,5	15	1,9	360
10,5	18	2,0	400
8,5	17,5	2,2	320
6,5	19	2,3	330
4,5	21	2,6	300
3,5	22	2,75	290
2,5	23	2,83	280

Поэтому на некоторых скоростях (малых) увеличение скорости, с уменьшением высоты активной зоны, компенсирует падение сопротивления газогенератора.

Из сравнения табл. 3 и 4 видно, что для получения газа хорошего качества крупное топливо требует больших скоростей дутья (по сравнению с мелким). Это положение подтверждается и испытаниями на 1-м сорте топлива. Как видно, минимальная высота активной зоны для

топлива 2 сорта лежит в пределах 3,5—4,5 мм.

Для топлива 1 сорта подобные глазомерные испытания горючести газа показали минимальную высоту активной

зоны в 1,5—2,5 см, причем как для высоты 1,5 см, так и для высоты 2,5 см газ по горючести оценен на 5 при напряженности горения около 900 кг/м<sup>2</sup> час и скорости дутья 0,85 м/сек.

Вынос хорошего газа замечался на более низких скоростях, чем для топлива 2 и 3 сорта. При одинаковых скоростях дутья и напряженности горения газ горит тем интенсивнее, чем мельче куски топлива.

Это явление очень ясно обнаруживается простым сравнением на глаз. В дальнейшем все эти явления были подтверждены анализом газа и нашли свое объяснение в основных выводах физико-химической теории газификации твердого топлива.

Итак, высоты активных зон, допускающих значительный вынос CO при больших скоростях дутья, зависят от размеров кусков топлива. Чем больше куски топлива, тем больше и необходимая высота активной зоны. Полученные высоты близки к вычисленным нами ранее (см. фиг. 37 в литературном источнике 2).

Кроме того, судить о величине активной зоны можно было и другим глазомерным способом. Сквозь слой топлива большей толщины пропускался стальной прутки диаметром 3 мм на короткое время (5—10 сек), после чего быстро вынимался. Величина зоны активных процессов (кислородной зоны) ясно обнаруживалась по свечению раскаленных мест прутка. Величина раскаленной части близка к минимальным зонам, допускающим вынос горючего газа по предыдущим опытам. Было видно совершенно ясно, что эта высота уменьшается с уменьшением кусков топлива.

Даже из этих глазомерных данных можно сделать 3 основные вывода, являющиеся по существу целью настоящей работы.

1. Принципиальная возможность газификации в транспортных газогенераторах доказана, ибо получался вполне горючий газ при сопротивлении газогенератора до 300 мм вод. столба. Повышение сопротивления газогенератора сверх 300 мм заметно скажется на мощности двигателя для размеров угля в поперечнике до 17 мм и длине до 25 мм.

2. С увеличением скорости газов по зазорам топлива растет и качество газа. Это положение идет в разрез с существующей теорией газификации, ориентирующейся на процессы восстановления. Согласно этой теории должно быть наоборот. С уменьшением скорости—увеличивается время контакта CO<sub>2</sub> с раскаленным углеродом топлива, а следовательно, большее количество CO<sub>2</sub> восстановится до CO. Нет, конечно, сомнения в существовании процессов вос-

становления в газогенераторах вообще, но для этого необходимо значительное время контакта (малая скорость газов по большой активной зоне). В наших опытах время контакта очень мало—от 0,02 до 0,05 сек., что очевидно недостаточно для течения процесса восстановления. Окись же углерода (чье синее пламя хорошо видно) видимо образуется как первичный продукт горения.

3. Необходимая и достаточная высота (для выноса первичной  $CO$  с полным израсходованием в зоне  $O_2$ ) активной зоны зависит от размеров кусков топлива. С уменьшением размера кусков уменьшается и потребная высота зоны, чем лишний раз подтверждается физико-химическая теория газификации твердого топлива.

Не довольствуясь указанными опытами, мы произвели ряд анализов газа, доказывающих высказанные положения физико-химической теории.

Газ отбирался из газозаборной трубки, охлаждаемой водой, в водяной газометр. Вода в газометре предварительно насыщалась газом во избежание растворения пробы.

Анализ производился газоанализатором Норзе с дожиганием.

Поскольку в первых опытах мы задались целью проследить за изменением минимальной высоты активной зоны скоростной газификации (кислородной зоны) в зависимости от размеров кусков топлива, то наиболее подходящим и быстрым методом являлось исследование на переменной величине зоны. Для этого от газогенератора отнимался бункер, выключались фурмы (см. рис. 5 и 6), колосниковая решетка опускалась возможно ниже и насыпанный уголь разжигался сверху. По мере газификации слой топлива уменьшался и мы могли взять анализ газа на любой ее высоте. Результаты анализов приведены в приложении (табл. 8).

Скорость дутья применялась возможно большая при данной конструкции системы очистки.

Нужно сказать, что гидравлический затвор системы очистки газа давал возможность поднимать сопротивление газогенератора не выше как в 500 мм вод. столба, при дальнейшем повышении разрежения вода попадала из затвора в компрессор. Вот почему стремление к наибольшей скорости лимитировалось возможностью довести сопротивление газогенератора лишь до 500 мм вод. столба.

Чем выше слой данного топлива, тем больше и его сопротивление. Поэтому на больших зонах скорости дутья менее, а на малых более.

Чем мельче топливо, при одной и той же высоте зоны, тем более сопротивление газогенератора и тем меньшую скорость можно было допустить.

Однако указанный предел сопротивления вполне охватывает собою возможные значения подобных величин для транспортных газогенераторов, где, как известно, сопротивление генератора при нормальной работе мотора находится в границах 80—200 мм вод. столба и очень редко 300 мм.

В силу больших скоростей газа по слою топлива, время контакта его с поверхностью топлива было крайне небольшим. Например, для топлива 3 сорта (размер 10—17 мм) минимальная зона для получения газа хорошего качества (кислородная зона) составляет 7 см, причем газ имеет в

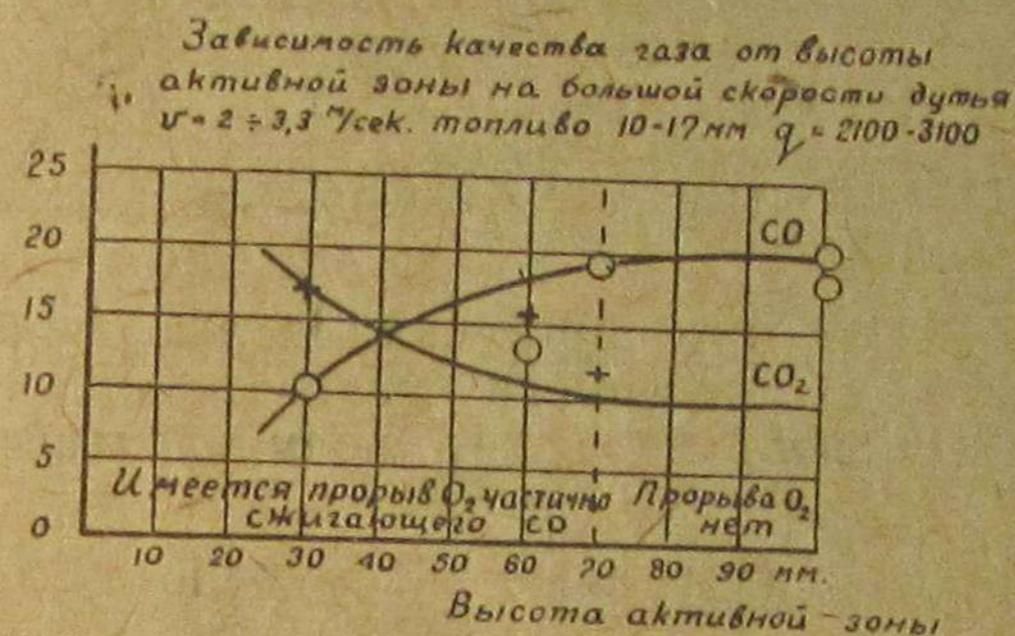
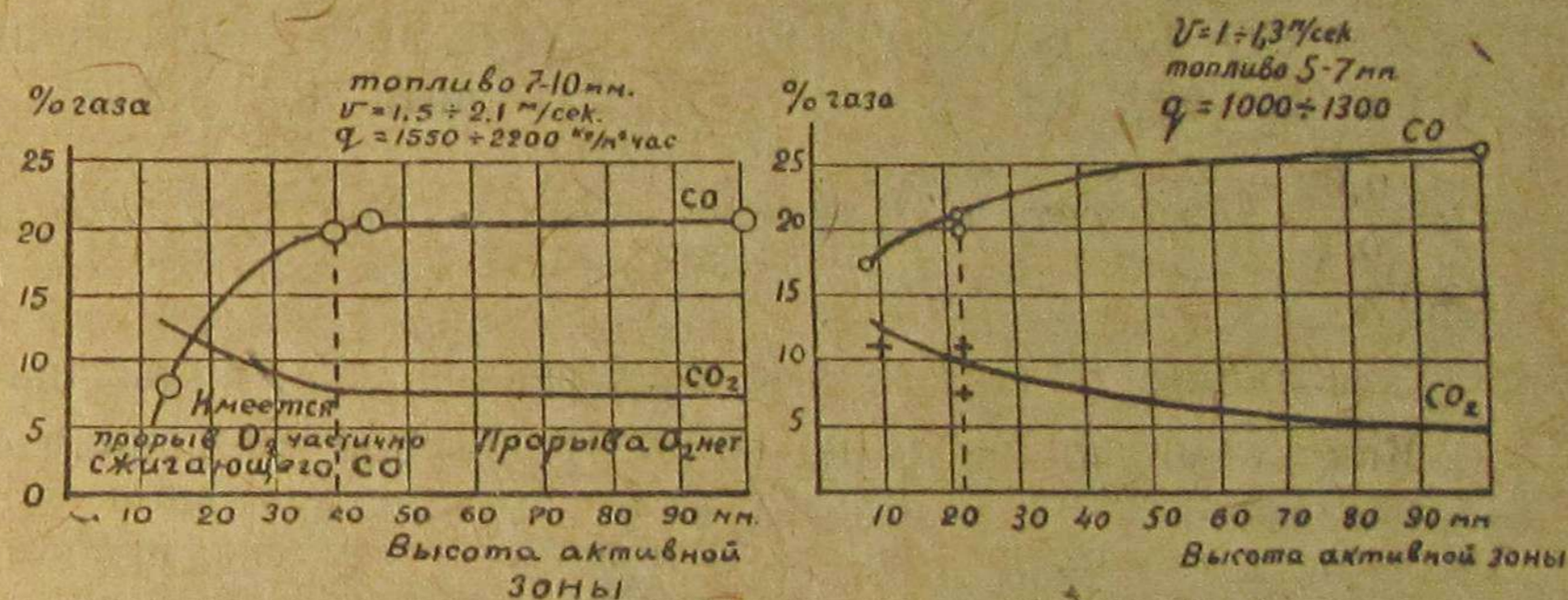


Рис. 7, 8 и 9.



своем составе 19,4%  $CO$ . Скорость дутья, соответствующая получению такого газа (газ в таблице № 3), — 2,62 м/сек. при  $0^\circ C$  и 760 мм. ртутного столба, считая на полное сечение камеры (напряженность горения  $q = 2700$  кг/м<sup>2</sup>/час, считая на уголь, и около 5000, считая на древесные чурки).

Время контакта газов с топливом третьего сорта:

$$t = \frac{S}{V} = \frac{0,07}{2,62} = 0,027 \text{ сек.}$$

Для топлива 2 сорта (7—10 мм) время контакта для минимальной высоты, допускающей почти максимальную

газификацию при данных условиях (анализ № 10), равно:

$$t = \frac{0,04}{1,45} = 0,028 \text{ сек.}$$

Вынос окиси углерода при этом составлял 19,4%.

Для топлива 1 сорта это время соответственно равно (анализ № 14)  $t = \frac{0,022}{1,3} = 0,017 \text{ сек.}$  Вынос окиси углерода был 21%.

Такое малое время контакта, естественно, не может обеспечить процесс восстановления, и подавляющее количество окиси углерода получено путем прямого выноса из газовой пленки малой толщины.

В Институте азота Чухановым З. Ф. и Сазоновой К. А. был проделан следующий опыт:

Чистый углекислый газ был пропущен через раскаленный до  $1100^{\circ}\text{C}$  слой древесного угля толщиной 2 см., при скорости 1 м/сек., что дает время контакта

$$t = \frac{0,02}{1} = 0,02 \text{ сек.}$$

При этих условиях получено от 1,5

до 7%  $\text{CO}$ . Когда же скорость пропускания была понижена до 0,1 м/сек., т. е. время контакта составляло

$$t = \frac{0,02}{0,1} = 0,2 \text{ сек.}$$

и получено окиси углерода от 26,5 до 28,0%.

Эти данные подтверждают высказанное выше положение.

Как упоминалось выше, нами произведен ряд анализов газов, характеризующих влияние высоты активной зоны на качество газа. На рис. 7, 8 и 9 представлены графики выноса  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  из зон различной толщины. Как видно из этих графиков, вначале кривая  $\text{CO}$  резко растет и после достижения некоторого, приближающегося к максимальному, значения изменяет свой рост до минимума. На рис. 7 и 8 это видно довольно ясно. На рис. 9 — слабее. Возможно, это результат неточности анализа или частичного прорыва дутья через малую зону (22 мм), сжигающего частично  $\text{CO}$ .

Из рисунков видно, что максимальные размеры активных зон (кислородных зон) близки к их размерам, полученным при испытании газа на горючесть.

Размеры кислородных зон, в которых практически заканчиваются процессы газификации, соответственно равны (См. табл. 6):

Таблица 6.

Сорт топлива	Размер кусков угля в мм		Средн. объем куска в $\text{см}^3$	Высота кислородной зоны в см
	Поперечник угля в мм	Длина угля в мм		
1	5 ÷ 7	до 12	0,4	2,2
2	7 ÷ 10	до 18	1,3	4,0 ÷ 4,5
3	10 ÷ 17	до 25	2,5	7,0

Нужно заметить, что для получения хорошего газа из зон столь малой величины требуется тщательное выравнивание слоя топлива; небольшие провалы, прогары и прочие неравномерности в залегании слоя резко ухудшают состав газа. При том малом сечении камеры газификации, с которым мы имели дело, эти неравномерности в залегании слоя топлива без выравнивания его верхней части часто, если не всегда обнаруживались и при работе с бункером, когда в силу большого расхода топливо не успевало равномерно заполнять камеру, получая газ худшего

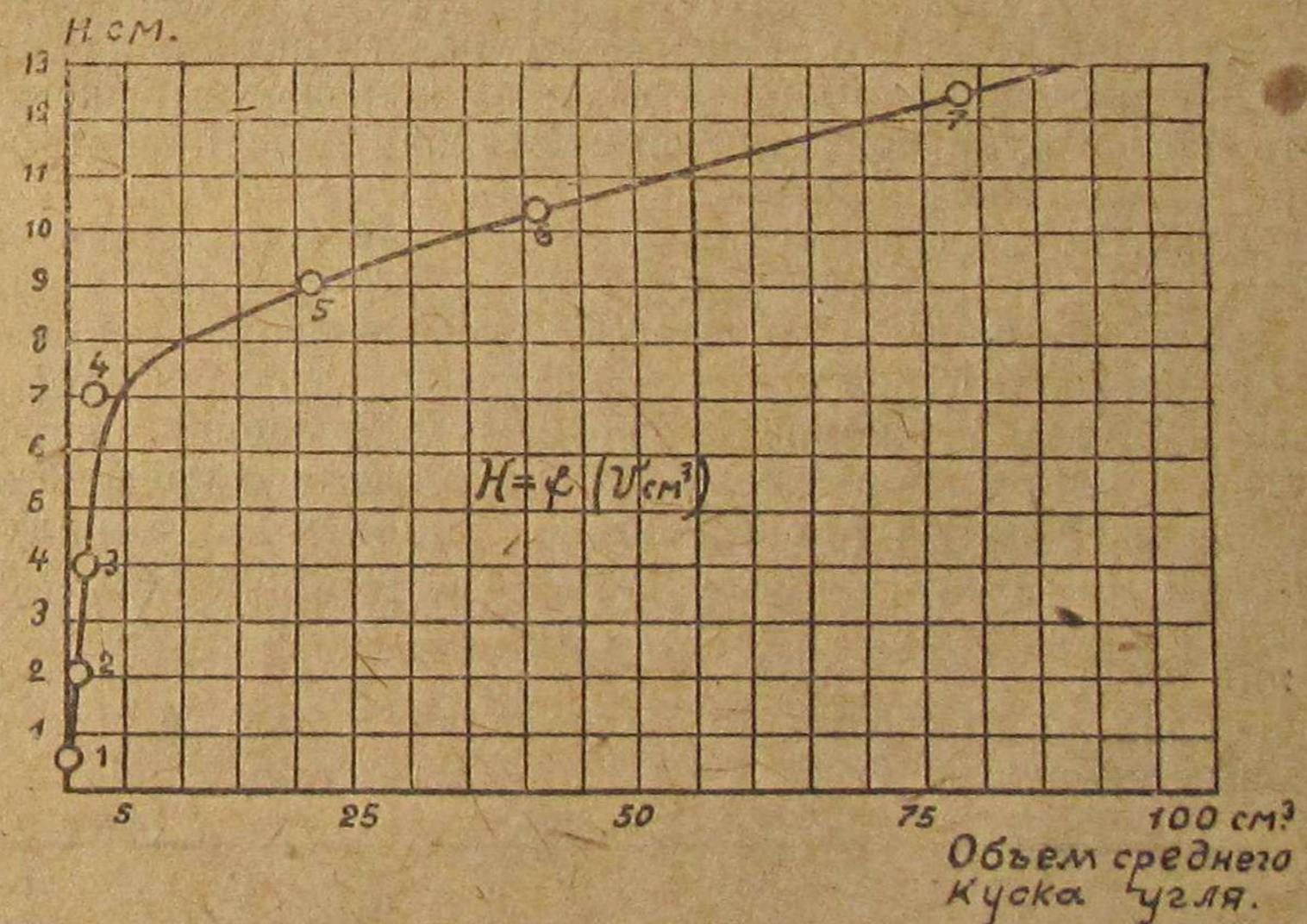


Рис. 10.

качества. Так, при высоте активной зоны в 4 см для топлива 2 сорта (7—10 мм) был получен газ с содержанием  $\text{CO}$  всего лишь 14% (см. газ № 19).

Этот недостаток, вероятно, будет отсутствовать у газо-

генераторов большой производительности, где сечение камеры газификации значительно больше и есть возможность достигнуть более равномерного слоя топлива (давление вышележащего слоя).

Введя дополнительные, найденные в этом испытании, точки на наш график зависимости высоты активной зоны от размеров кусков топлива, получим недостающую ветвь для размеров кусков от 2,5 см и ниже. Как видно из рис. 10, точки достаточно хорошо уложились на график. Точки 1, 5, 6 и 7 были нанесены еще в 1937 году и точки 2, 3 и 4 из данных настоящих испытаний. Высоты активных зон, отмеченные точками 1, 5, 6 и 7, найдены путем вычислений, согласно физико-химической теории газификации. Опытные точки расположились между вычисленными (точка № 1 кроме того подтверждена лабораторными опытами в Институте азота) достаточно хорошо.

Точка № 4 несколько отклоняется от кривой—возможно, что действительная высота активной зоны несколько менее 7 см, ибо при пробе газа на сжигание у топлива 10—17 мм газ удовлетворительно горел и при высоте активной зоны в 6½ см.

Данными опытами доказана как принципиальная возможность скоростной газификации в транспортных газогенераторах, так и подтвержден основной вывод физико-химической теории о зависимости высоты активной зоны от размеров кусков топлива и даже в цифровом выражении, а это дает в руки конструктору материал при проектировании новых газогенераторов.

Итак, предыдущими опытами установлено наличие значительного количества окиси углерода в газе при времени контакта от 0,017 до 0,027 сек. Зададимся теперь таким вопросом—как будет меняться качество газогенераторного газа при тех же условиях, но при уменьшении скорости дутья, т. е. при увеличении времени контакта. Согласно принятого взгляда на процесс газификации, мы в этом случае должны получить более богатый газ (больше  $CO$ ), ибо с увеличением времени контакта увеличится и % восстановления  $CO_2$ .

В табл. 7 приводим 5 анализов газа, взятые для различных скоростей его.

Таблица 7.

№ анализа	Размер угля мм	Высота зоны см	$V$ м/сек.	$q$ кг/м <sup>2</sup> /час	% $CO$
9	7—10	4,5	1,50	1540	20,4
16	"	4,5	1,00	1050	18,9
17	"	4,5	0,42	400	11,3
3	10—17	7,0	2,62	2700	19,4
18	"	7,0	0,85	900	12,0

Как видно из таблицы, явление получено обратное. С уменьшением скорости дутья количество  $CO$  уменьшается и притом у обоих сортов топлива. Подобный же вывод был ранее получен в Институте азота Гродзовским и Чухановым.

Это показывает на безусловную принципиальную верность последнего заключения. Однако принятая теория газификации, ориентирующаяся на процессы восстановления, не может объяснить этот факт. Физико-химическая теория дает этому ясное толкование. Вынос  $CO$  с поверхности угля, несомненно, имеет место (синяя коронка пламени), диффузия через пленку также и совершенно очевидно, что при уменьшении диффузионного слоя будет облегчен и вынос  $CO$ . Зависимость толщины пленки (застойной части) от скорости дутья мы установили,—уравнение этой зависимости имеет вид

$$\delta \cdot V = 0,22$$

$\delta$  — толщина пленки в см,

$V$  — скорость дутья по зазорам топлива м/сек. (а не на полное сечение камеры).

Следовательно, с увеличением скорости дутья уменьшается толщина газовой пленки, диффузия  $CO$  через нее облегчена и протекает за короткий промежуток времени, что и способствует выносу  $CO$  быстрым потоком газа. Процессы же восстановления не успевают произойти даже и при несколько пониженной скорости дутья, но при низкой зоне.

Очевидно, слой топлива для этого следует в несколько раз увеличить, а скорость газа уменьшить. Это мы имеем в генераторах обычного типа.

В заключение следует упомянуть, что газификация в нашей установке протекала не полностью. Окиси углерода получено на больших скоростях дутья около 20% и при особо мелком топливе 26%, что не может считаться очень хорошим результатом.

Вероятно, для получения газа еще лучшего качества следует скорости дутья повысить еще более.

Анализы генераторного газа

Табл. 8.

№ анализа	Разм. угля мм	Выс. зоны см	Скор. дутья м/сек при 0 и 760	Напр. гор. кг/м <sup>2</sup> ч.	Диф. ман. мм в ст.	Состав газа в % по объему					
						CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
1	10-17	10,0	1,95	2000	5,5	20,0	—	3,0	—	10,6	66,4
2	"	10,0	1,95	2000	5,5	19,1	4,2	0,3	—	9,5	66,9
3	"	7	2,62	2700	10,0	19,4	2,0	—	—	12,0	66,6
4	"	6	2,75	2850	11,0	13,4	0,5	0,8	—	15,8	69,5
5	"	6	1,55	1600	3,5	9,8	—	0,3	—	12,0	77,9
6	"	6	0,80	850	1,0	5,0	0,5	1,0	—	17,0	76,5
7	"	3	3,25	3400	16	8,0	—	0,8	4,8	12,8	73,6
8	7-10	10,0	2,10	2200	6,5	20,6	4,1	—	—	7,5	67,8
9	"	4,5	1,50	1540	3,2	20,4	4,2	—	—	12,5	62,9
10	"	4,0	1,45	1480	3,0	19,4	2,4	2,4	—	7,6	68,2
11	"	1,5	1,45	1480	3,0	6,0	—	1,0	4,4	9,0	79,6
12	5-7	10,0	1,0	1050	1,5	25,8	4,0	1,5	—	5,0	63,7
13	"	2,2	1,0	1050	1,5	20,0	2,1	0,4	—	7,4	70,1
14	"	2,2	1,3	1200	2,0	20,8	—	0,2	—	11,2	67,8
15	"	0,8	1,0	1050	1,5	6,0	—	2,0	13,2	4,8	74,0

Примечание. При анализах газа, взятого при толщине слоя топлива, равной или превышающей величину зоны распространения кислорода, был обнаружен проскок кислорода от 0,2 до 1,0%. Состав газа для таких случаев указывается с поправкой на этот незначительный проскок (проскок приблизительно одинаков для минимальной высоты и максимальной).

№ анализа	Разм. куск. угля	Выс. зоны см	м/сек.	кг м <sup>2</sup> /ч.	Состав газа в % по объему					
					CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
9	7-10	4,5	1,50	1540	20,4	4,2	—	—	12,5	62,9
16	"	4,5	1,00	1050	18,9	—	3,0	—	11,0	67,1
17	"	4,5	0,42	400	11,3	—	2,5	—	13,5	72,7
3	10-17	7,0	2,62	2700	19,4	2,0	—	—	12,0	66,6
18	"	7,0	0,85	900	12,0	—	—	—	15,0	63,0
19	7-10	4,0	1,00	1050	14,4	1,0	1,6	—	12,0	71,0

Список использованной литературы

- И. М. Ленин Лабораторный практикум по испытанию двигателей Г. Т. И. 1936.
- Н. П. Вознесенский. Легкие газогенераторы. ОНТИ 1938 г.
- В. Р. Вильямс. Топливо, смазочные материалы и вода. ОГИЗ 1938 г.
- В. Уокер. Типовая химическая аппаратура ОНТИ. Химтеорет 1935 г.  
В. Льюис  
В. Мак-Адамс.
- Д. Б. Гинзбург. Газогенераторные установки. 1936 г.
- З. Ф. Чуханов и Исследование применения больших скоростей Х. А. Сазонова воздушно-кислородного дутья при газификации слоя топлива. Институт азота, 1934 г.
- М. К. Гродзовский Проблема горения углерода в современной и З. Ф. Чуханов технике. Журнал „Сорена“, вып. III 1936 г.

Ответственный редактор Н. В. Новосельцев.  
Технический редактор В. Костылев.

Уп. Архобллита № Б-195, г. Архангельск 1940 г. Формат бумаги 42×60<sup>1/16</sup>  
Объем 1,5 п. л. 43000 зн. в п. л. Сдано в набор 1/X-40 г. Подписано к печ. 13.V-40 г. Тираж 300. Зак. 547. Типография АЛТИ, Петроградский, 43.