

358

248

Инж.-мех. М. Д. АРТАМОНОВ

АВТОТРАКТОРНЫЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ

ОГИЗ — СЕЛЬХОЗГИЗ — 1937

R 358
248

Инж.-мех. М. Д. АРТАМОНОВ

АВТОТРАКТОРНЫЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ

Handwritten notes on a piece of paper pasted on the left side of the cover.



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
КОЛХОЗНОЙ И СОВХОЗНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
«СЕЛЬХОЗГИЗ»
МОСКВА—1937

В книге инженера-механика М. Д. Артамонова «Авtotракторные газогенераторы» освещены теоретические основы газогенераторного процесса, основы теплового и конструктивного расчетов газогенераторов и второстепенных органов газогенераторных установок.

Книга содержит систематизированный материал по наиболее типичным конструкциям газогенераторов и газогенераторных установок как отечественного, так и заграничного происхождения.

В книге развит весьма актуальный в настоящее время вопрос о топливе для газогенераторов. Книга М. Д. Артамонова предназначена для механиков и инженеров МТС и совхозов, преподавателей школ трактористов и школ тракторных механиков.

Просьба все замечания о книге присылать по адресу: Москва, Орликов пер., 3, Сельхозгиз.



ГЛАВА I

ТОПЛИВО ДЛЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

ВИДЫ ТОПЛИВА И ЕГО СОСТАВ

Для авtotракторных газогенераторов могут быть применены почти все виды твердого топлива, как-то: древесина, древесный уголь, торф, солома, каменный уголь, антрацит, каменноугольный и торфяной кокс, а также брикеты, полученные из древесных отходов, торфа, соломы и др. В настоящее время наиболее распространенным топливом для авtotракторных газогенераторов является древесина и древесный уголь.

Всякое твердое топливо содержит, кроме горючих частей, также и негорючие, называемые балластом. Горючая часть топлива состоит из органических соединений, содержащих углерод, водород, кислород, азот и летучую серу. Негорючая часть топлива состоит из влаги, золы и нелетучей серы.

Углерод является наиболее важной горючей частью топлива. При любом соединении углерода с другими элементами, при сгорании его, будет выделено такое же количество тепла, которое выделилось бы при сгорании свободного углерода. Свободный углерод, при полном его окислении, выделяет на каждую килограмм-молекулу 97 650 кал тепла, что на 1 кг даст $97\,650 : 12 = 8\,137$ кал.

Водород, который находится в соединении с кислородом и другими элементами в виде органических соединений, называется свободным. Свободный водород при полном окислении (в воду при 18°C) выделяет на 1 кгм $68\,360$ кал, что на 1 кг дает $68\,380 : 2 = 34\,180$ кал.

Водород, который находится в соединении с кислородом в виде воды (H_2O), называется связанным. Связанный водород в тепловом отношении является потеряннным и при сгорании не может выделить тепла вследствие того, что вся его тепловая энергия оказывается уже полностью израсходованной. Этот водород является, с точки зрения термического эффекта топлива, вредной составной частью, так как образующаяся

из него вода требует на свое испарение определенного количества тепла, получаемого за счет сгорания других элементов.

Количество связанного водорода в топливе должно быть в 8 раз меньше по весу количества кислорода, т. е. если кислорода в топливе O кг, то связанного водорода будет $\frac{O}{8}$ кг. Следовательно, количество свободного водорода в топливе будет $H - \frac{O}{8}$ кг; это при сгорании выделит определенное количество тепла.

Азот, находясь в виде органических соединений с составными элементами топлива, почти не понижает их активности, так как сам он является неактивным. При горении он легко освобождает соединенные с ним элементы, а сам выделяется в свободном состоянии.

Наличие золы в топливе уменьшает горючую массу и вызывает потери горючего.

Большой вред приносит зола при ее легкоплавкости, так как при плавлении золы заливается колосниковая решетка, что нарушает равномерность работы газогенератора. Легкоплавкая зола плавится при температурах $1100-1200^\circ$, тугоплавкая зола плавится при температурах $1300-1500^\circ$ и выше.

Несмотря на то, что сера при сгорании выделяет некоторое количество тепла, наличие ее в топливе все же является крайне нежелательным, так как получаемые при газификации топлив, содержащих серу, окислы серы и сероводород вредно отражаются на здоровье обслуживающего персонала и действуют разрушающе на металлические поверхности газогенератора и двигателя.

При нагревании твердого топлива без доступа воздуха оно распадается на летучую часть, состоящую из паров воды и продуктов сухой перегонки, и на твердую часть (коке), состоящую из углерода, золы и летучей серы.

Наличие в топливе углерода, водорода, кислорода и азота является обязательным для любого вида топлива и объясняется только условиями его образования. Наличие же в топливе серы, золы и влаги необязательно и зависит от самого топлива, его доставки и прочих причин.

Чтобы иметь более полное представление о топливе, необходимо, помимо его химического состава и выхода горючих летучих, знать теплотворную способность топлива.

Различают высшую и низшую теплотворные способности топлива.

Под высшей теплотворной способностью понимают все тепло топлива, которое может быть выделено при полном его сгорании и при условии, что водород сгорает в воду, а не в пар.

Под низшей теплотворной способностью разумеется все тепло, выделенное при полном сгорании топлива, за вычетом из него тепла, пошедшего на испарение влаги, заключающейся

в топливе до его сгорания, и той влаги, которая получается при сгорании водорода.

Существует целый ряд эмпирических формул для определения теплотворной способности топлива. В СССР пользуются формулой Д. И. Менделеева, которая для низшей теплотворной способности будет:

$$H_u = 81 C + 300 H + 26 (S - O) - 6 (9 H + W) \frac{\text{кал}}{\text{кг}}, \quad (1)$$

а для высшей

$$H_0 = 81 C + 300 H + 26 (S - O) \frac{\text{кал}}{\text{кг}}. \quad (2)$$

Кроме формулы Менделеева, применяются формулы Дюлонга и О-ва германских инженеров.

Формула Дюлонга для низшей теплотворной способности имеет следующий вид:

$$H_u = 81,4 C + 342 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 25 S - 6 (9 H + W). \quad (3)$$

Формула О-ва германских инженеров для низшей теплотворной способности имеет следующий вид:

$$H_u = 81 C + 290 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 25 S - 6 W. \quad (4)$$

Здесь C , H , S , O и W — содержание углерода, водорода, серы, кислорода и влаги в процентах от веса рабочего топлива.

Во всех приведенных формулах для определения теплотворной способности топлива сделано допущение, что элементы, входящие в состав данного топлива, выделяют при сгорании последнего такое же количество тепла, какое эти элементы способны выделить в свободном состоянии.

Существующие в технических сортах топлива химические связи между элементами могут заметно изменить величину теплотворной способности. Следовательно, все приведенные формулы могут дать результат, лишь приближающийся к истинному, в зависимости от характера химических соединений, имеющих в топливе.

Академик Д. П. Коновалов предложил другой метод определения теплотворной способности топлива, который основан на количестве тепла, выделяемого единицей горючего на единицу израсходованного при его сгорании кислорода.

Низшая теплотворная способность для древесины по Коновалову выражается формулой:

$$H_u = 3250 K; \quad (5)$$

для торфа и сланцев

$$H_u = 3150 K; \quad (5a)$$

для древесных и каменных углей, кокса и нефти

$$H_u = 3050 K, \quad (5b)$$

где K — кислородный коэффициент, определяемый по процентному составу топлива.

$$K = \frac{2,67 C + 8 H + S - O}{100}$$

Формула Коновалова имеет такие же недостатки, как и вышеприведенные.

Теплотворная способность топлива характеризует его тепловой эффект с количественной стороны, но не с качественной, что в технике сжигания топлива бывает очень важно. Качественную характеристику теплового эффекта топлива дает так называемая теоретическая температура горения, т. е. такая максимальная температура, которая может быть достигнута при следующих условиях;

а) горение происходит с теоретически необходимым количеством воздуха;

б) продуктами горения должны быть продукты полного окисления (C сгорает полностью в CO_2 и H_2 — в H_2O);

в) отсутствие потерь; следовательно, все тепло, полученное от сгорания топлива, расходуется только на нагрев продуктов сгорания.

Вполне очевидно, что данная температура, при горении в обычных условиях, получена быть не может и является пределом, к которому нужно стремиться при сжигании топлив.

Если обозначить через Q общее количество тепла, выделившегося при сгорании топлива, через m_1, m_2, m_3, \dots — количество отдельных продуктов горения и через c_1, c_2, c_3, \dots — соответствующие продуктам горения теплоемкости, то можем написать равенство:

$$Q = (m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3 + \dots) t_{\max}$$

откуда и определится максимальная температура горения:

$$t_{\max} = \frac{Q}{m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3 + \dots} \quad (6)$$

Величина t_{\max} не зависит от количества сжигаемого топлива, так как при изменении числителя соответственно будет изменяться знаменатель, за счет изменения количества продуктов горения.

Определение t_{\max} дает нам возможность сравнения между собой разных видов топлив, которые требуют различных условий для горения.

ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО

Состав и теплотворная способность топлива

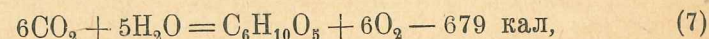
В настоящее время древесина является основным видом топлива для автотракторных газогенераторов союзного производства.

Общая площадь лесов СССР составляет около 900 млн. га, из которых обследовано 500 млн. га. По запасу древесного топлива СССР занимает первое место в мире, имея около 30% всей мировой площади лесов. При рациональном ведении лесного хозяйства площадь лесов не уменьшается; следовательно, отбросы древесины, которых получается при переработке около 30%, могут служить неиссякаемым источником топлива для автотракторных газогенераторов.

Поперечный разрез любого дерева показывает, что оно имеет следующее строение: в центре его будет находиться сердцевина, затем ядро, которое есть собственно древесина; за древесиной идет заболонь и наружная часть — кора.

Заболонь и древесина (ядро) являются наиболее ценной частью топлива, которые почти исключительно состоят из клетчатки и целлюлозы. Состав целлюлозы может быть выражен следующей химической формулой $C_6H_{10}O_5$ и относится к группе углеводов. Чистая целлюлоза, состоящая, как показывает ее формула, из 44,4 весовых частей углерода, 6,2 частей водорода и 49,4 частей кислорода, представляет собой вещество белого цвета, обладающее коллоидальными свойствами.

Целлюлоза образуется из углекислоты и влаги под действием солнечной энергии:



где 679 кал есть молекулярная теплота образования.

Кроме целлюлозы, в дереве находится органический цемент, служащий для скрепления клеток, который носит название лигнина и представляет собой смесь различных органических веществ.

В древесине сырого дерева целлюлоза и лигнин составляют около 45% всего веса, а остальные 55% приходятся на древесный сок, представляющий собой почти исключительно воду, и на минеральные вещества.

Горючей частью древесины являются целлюлоза и лигнин. Так как целлюлоза представляет собой определенное химическое соединение и имеет постоянный состав, а состав лигнина колеблется в очень незначительных пределах, то вполне естественно, что химический состав органической массы древесины различных пород очень мало отличается между собой.

Поэтому при технических расчетах в большинстве случаев задаются средним составом органической массы для дре-

весного топлива, независимо от его породы. Этот состав может быть выражен следующими цифрами:

C ₀	50,0%
H ₀	6,25%
(O + N) ₀	43,75%

Содержание азота обычно колеблется от 0,5 до 1,3% и в среднем может быть принято около 1%, что не дает заметной практической ошибки. Часто содержание азота отдельно не учитывается, а дается вместе с кислородом.

Средний состав сухой древесины по Д. И. Менделееву будет:

C	50,0%
H	6,0%
O	43,1%
N	0,3%
Зола	0,6%

Теплотворная способность древесины может колебаться в довольно значительных пределах. В табл. 1 приводится теплотворная способность и химический состав органической массы для различных пород древесины.

Таблица 1

Название древесной породы	Состав органической массы в %				Теплотворная способность органической массы древесины в кал/кг
	C ₀	H ₀	O ₀	N ₀	
Дуб	50,35	6,05	42,34	1,29	4 390
Бук	49,5	6,1	43,49	0,91	4 500
Лиственница	50,1	6,3	43,6		4 465
Береза	49,3	6,1	43,45	1,15	4 460
Ясень	49,2	6,27	43,83	0,7	4 410
Ольха	49,0	6,25	44,0	0,75	4 140
Сосна	50,2	6,0	43,4	0,4	4 560
Ель	49,95	6,4	43,65		4 510

Для автотракторных газогенераторов могут служить топливом лиственные и хвойные породы древесины. При этом необходимо помнить, что сам газогенератор и вся установка должны проектироваться для определенной породы древесины.

На основании эксплуатационных данных, лучшим топливом для автотракторных газогенераторов можно считать древесину твердых лиственных пород — дуб, бук, ясень и березу.

Применение хвойных пород древесины (сосна, ель) в качестве топлива для газогенераторов также может быть рекомендовано, но при этом необходимо учесть, что этот вид топлива, особенно ель, дает при сгорании большое количество мелкого угля, который попадает через колосниковую решетку

в зольниковое пространство и тем самым способствует быстрому засорению трубопроводов и очистителей установки.

Мягкие породы древесины (ольха, осина) при отсутствии других пород также могут быть применены в качестве топлива для газогенераторов, так как при газификации они дают вполне удовлетворительные результаты.

Влажность и зольность древесины

Влага содержится в дереве в трех видах: 1) в виде главной составной части сока, 2) в виде поглощенной стенками клеток и 3) в виде наполняющей пустоты клеточек.

Различают влажность относительную и абсолютную. Относительная влажность представляет собой отношение веса влаги к весу сырой древесины и может быть представлена формулой (в процентах):

$$W_{от} = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100. \quad (8)$$

Абсолютная влажность представляет собой отношение веса влаги к весу абсолютно сухой древесины и может быть выражена формулой:

$$W_{аб} = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \cdot 100, \quad (9)$$

где G_1 — вес сырого образца,

G_2 — вес сухого образца, высушенного при температуре 105° С до постоянного веса.

Если известна одна из влажностей, то другая может быть найдена по одной из следующих формул:

$$W_{аб} = \frac{W_{от}}{100 - W_{от}} \cdot 100$$

или

$$W_{от} = \frac{W_{аб}}{100 + W_{аб}} \cdot 100.$$

Содержание влаги в свежесрубленном дереве колеблется от 35 до 60% относительной влажности и зависит от породы древесины, возраста дерева, условий роста, времени рубки и др. Колебания влажности, в зависимости от породы древесины, в свежесрубленном дереве представляются в следующем виде:

Хвойные породы	54—61%
Мягкие лиственные	45—53%
Твердые лиственные	35—41%

Отсюда видно, что наибольшее количество влаги имеют хвойные, а наименьшее — твердые лиственные породы.

Наибольшее количество влаги у лиственных пород падает на январь и февраль; у хвойных — на январь, май, июнь и июль. Наименьшее количество влаги у лиственных пород падает на апрель, июнь и ноябрь; у хвойных — на апрель, октябрь и ноябрь.

В различных частях дерева содержание влаги неодинаково. Наибольшей влажностью отличаются древесные корни, верхние части дерева и части ствола, прилегающие к корням. Содержание влаги в древесине разных возрастов также неодинаково: молодая древесина имеет большую влажность, чем старая. Наименее влажной частью является средняя часть ствола.

Свежесрубленное дерево, находясь на воздухе, постепенно теряет заключающуюся в нем влагу и высыхает. Высушивание дерева на воздухе происходит до тех пор, пока не наступит состояние равновесия между влажностью дерева и влажностью окружающего его атмосферного воздуха.

Процесс естественной сушки свежесрубленного дерева, в зависимости от времени, представлен в табл. 2.

Таблица 2

Порода дерева	Время в месяцах после рубки			
	6	12	18	24
Дуб	29,63	23,75	20,74	19,16
Бук	23,24	19,14	17,40	17,74
Береза	23,28	18,10	15,98	17,17
Ольха	24,08	20,18	18,77	19,94
Пихта	28,56	16,65	14,78	17,22
Ель	29,31	28,54	15,81	17,76
Осина	31,00	21,55	15,87	17,17
Сосна	29,31	18,54	15,81	17,96

Из приведенной таблицы видно, что наиболее интенсивное высыхание древесины происходит в первые шесть месяцев, а затем просушка замедляется. Минимальное содержание влажности в древесине наступает через 18 месяцев. Дальнейшее нахождение древесины на воздухе не уменьшает влажности, а увеличивает, что происходит вследствие начала загнивания дерева.

Достигнуть содержания относительной влажности в древесине ниже 15%, даже при условии выполнения всех требований, не представляется возможным. Обычно воздушно-сухая древесина, поступающая для газификации, содержит не меньше 20—25% относительной влажности; такое содержание влаги в древесине для нормального процесса газификации является большим.

Произведенные в Лесотехнической академии исследования показали, что мощность двигателя уменьшается с увеличением влажности древесного топлива; это особенно делается заметным при влажности выше 20%. Результаты указанных исследований приводятся ниже.

Влажность древесины в %	Мощность двигателя в л. с.
13	42
18	40
23	36
30	32
38	28

Древесное топливо для автотракторных газогенераторов должно иметь не больше 15—20% абсолютной влажности. Как было отмечено, древесину с такой степенью влажности при естественной сушке получить невозможно, поэтому ее приходится подвергать искусственной сушке.

Искусственная сушка древесного топлива может быть осуществлена в самом газогенераторе, путем использования тепла отработанных газов двигателя, и в специальных сушилках.

Сущность процесса сушки древесины в газогенераторе заключается в том, что пары воды, полученные в верхних слоях топлива, конденсируются в рубашке бункера и удаляются.

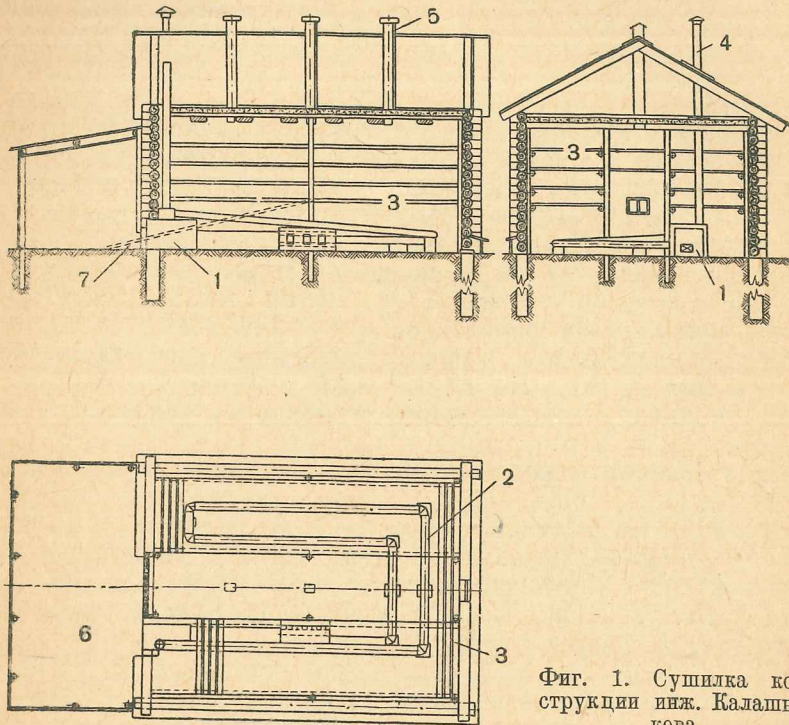
Использование отработанных газов двигателя для сушки и обугливания древесины в 1925 г. предложил Мальбей. Построенная им установка способна была выработать в сутки такое количество древесного угля, которое вполне обеспечивает работу двигателя в следующие сутки. Однако, при работе этой установки возникает опасность неполного обугливания и образования головней.

Сушка древесины в специальных сушилках может быть осуществлена тремя способами: 1) сушка топочными газами, 2) контактная сушка и 3) сушка подогретым воздухом.

Сушка древесины топочными газами является наиболее простой и экономически выгодной, хотя этот способ имеет тот недостаток, что регулирование топочных газов здесь осуществляется очень трудно. Температура топочных газов не должна повышаться выше 170° С, так как при более высоких температурах из древесины начинают обильно выделяться горючие летучие вещества, которые могут воспламениться и затем зажечь древесину.

Контактная сушка осуществляется следующим образом. Подсушиваемая древесина, находясь в непрерывном движении, соприкасается с нагретой металлической поверхностью, омываемой с другой стороны горячими газами или паром. Для равномерной сушки необходимо или перемешивать древесину или вращать нагреваемую металлическую поверхность.

Сушка древесины подогретым воздухом осуществляется в сушилках, где атмосферный воздух нагревается от стенок печи и передает тепло предназначенной для сушки древесине. Для увеличения теплоотдачи воздуху от топочных газов, последний пропускают по трубам или по газоотходам с большой поверхностью. Этот тип сушилок вследствие простоты конструкции и надежности в работе получил у нас наибольшее распространение. В настоящее время имеются две конструк-



Фиг. 1. Сушилка конструкции инж. Калашникова.

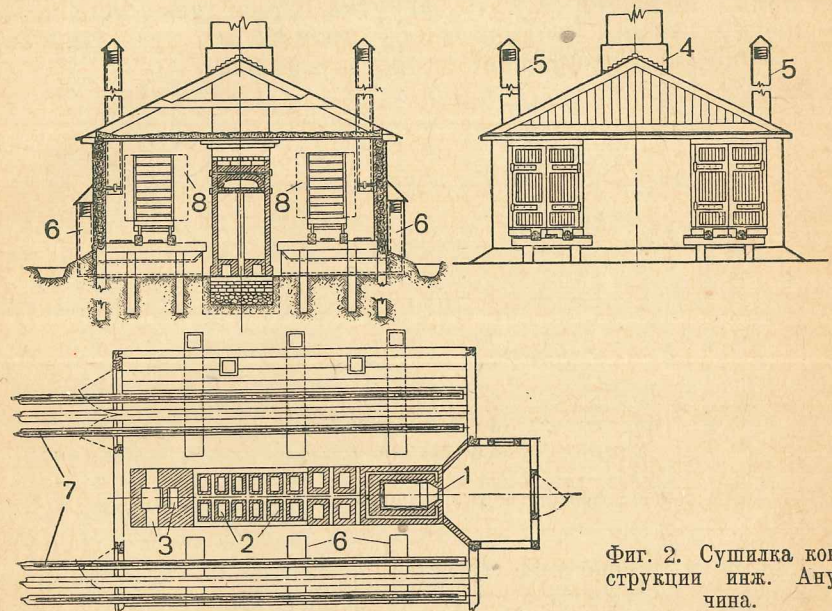
ции таких сушилок, которые работают на автотракторных газогенераторных базах Наркомлеса. Ниже приводим их описание.

На фиг. 1 показана сушилка для газогенераторного древесного топлива конструкции инж. П. Л. Калашникова. Сушилка имеет печь 1, в которой сжигается топливо; полученные в печи топочные газы, проходя по трубам 2, подгревают воздух и удаляются в атмосферу через дымовую трубу 4. Топливо, предназначенное для сушки, загружается на сетки 3; выгрузка высушенного топлива производится при помощи устанавливаемого на время выгрузки настила 7. Насыщенный водяными парами воздух удаляется при помощи трех вытяжных труб 5. Помещение 6 предназначено для склада сырых

чурок и дров, причем последние расходуются на отопление сушилки.

Производительность этой сушилки около 10 м³ плотной древесины за 40 часов работы, при этом топливо подсушивается с 50 до 12%, абсолютной влажности. Температура в верхней части поддерживается около 80—85° С. Расход дров на сушку, примерно, 0,35 м³ на каждый 1 м³ высушенной древесины.

Эта сушилка проста по своей конструкции, но имеет следующие недостатки: 1) отсутствие поступления свежего воздуха через специальные подводящие каналы, вследствие



Фиг. 2. Сушилка конструкции инж. Анучина.

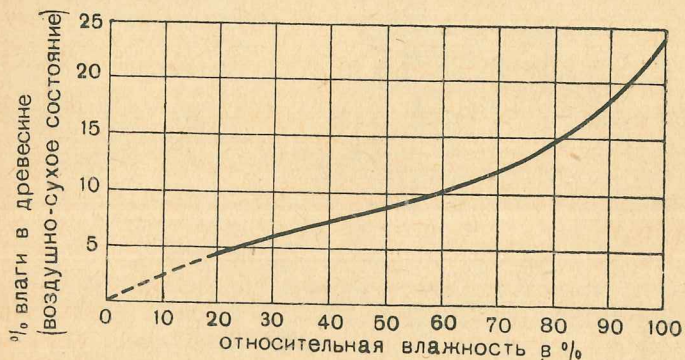
чего ухудшается циркуляция нагретого воздуха, 2) нагрузку и выгрузку древесного топлива в большинстве случаев приходится производить в условиях высокой температуры, 3) быстро прогорают железные трубы, по которым движутся дымовые газы.

На фиг. 2 показана сушилка конструкции инж. Н. П. Анучина. Сушилка имеет топку 1, откуда горячие газы проходят по газоходам 2, служащим для увеличения поверхности нагрева, после чего попадают в дымовую трубу 4. В противоположном конце топки имеются два канала 3; первый предназначен для выхода газов, а второй для частичного отвода паров влаги топлива. Топливо загружается на специальные ящики с дном из сетки, которые устанавливаются на вагонетки 8, а последние по рельсовому пути 7 поступают в сушилку. На каждую вагонетку помещается 18 ящиков, сушилка

одновременно вмещает 6 вагонеток. Атмосферный воздух поступает в сушилку по каналам 6; воздух, насыщенный водяным паром, отводится по трубам 5.

Производительность сушилки около 10—12 м³ плотной древесины за 24 часа работы, при этом древесное топливо подсушивается с 45—50 до 12% абсолютной влажности. Температура в верхней части сушилки поддерживается около 80—110° С, в нижней части 50—60° С. Расход дров на сушку около 0,35—0,4 м³ на каждый 1 м³ высушенной древесины.

Сушилка инж. Анучина устраняет все недостатки предыдущей, но имеет более сложную конструкцию. Преимуществом сушилки является то, что загрузка и разгрузка предназначенного к сушке топлива здесь происходят вне сушилки, что значительно упрощает ее эксплуатацию.



Фиг. 3. Соотношение между влажностью древесины и воздуха.

Подсушка древесного топлива обыкновенно производится до 12—15%; дальнейшее уменьшение влажности является нерациональным вследствие того, что при хранении древесины, даже в закрытом помещении, последняя в течение 4—5 суток вновь будет иметь влажность 12—16% (в зависимости от влажности и температуры воздуха).

На фиг. 3 изображена кривая зависимости процентного содержания влаги в воздушно-сухой древесине от относительной влажности воздуха при температуре 21° С. Относительная влажность воздуха колеблется в зависимости от времени года и местности; в течение года она изменяется от 65 до 85%, имея наибольшую величину осенью и зимой, а наименьшую — весной и летом.

Ниже, в табл. 3, приводятся данные о поглощении влаги из воздуха березовой щепой в зависимости от времени пребывания ее на воздухе. Щепы имели следующие размеры: длина от 30 до 100 мм, ширина от 20 до 60 мм и толщина от 7 до 15 мм. Опыты производились в сентябре в ясные дни, щепы

была предварительно высушена до абсолютно сухого состояния, т. е. до постоянного веса.

Таблица 3

Время нахождения щепы в воздухе в часах	Абсолютная влажность в %	Время нахождения щепы в воздухе в часах	Абсолютная влажность в %
1	1,7	16	7,2
2	2,7	20	8,1
3	3,3	24	8,9
4	3,8	32	10,3
5	4,2	40	11,2
6	4,6	48	11,6
7	4,9	72	12,9
8	5,2	96	14,1
12	6,3	120	15,3

При нахождении щепы на воздухе больше 120 часов влажность не увеличивалась, следовательно, эта влажность соответствовала состоянию равновесия. Вполне очевидно, что влажность 15,3% соответствует полному насыщению только для сентября; для зимнего времени влажность древесины должна возрасти, а для летнего — снизиться.

Интересно отметить, что за границей искусственно высушенное древесное топливо для газогенераторов упаковывается в специальные трехслойные плотные бумажные мешки или в одинарный бумажный мешок, имеющий внутри редкую ткань, покрытую смолистым веществом. Применение такой упаковки для топлива гарантирует от насыщения его влагой из воздуха.

Древесина содержит в себе очень малое количество золы по сравнению с другими твердыми топливами. Зола составляет в среднем от 0,5 до 2%.

Размеры древесного топлива

Для автотракторных газогенераторов древесное топливо применяется в виде чурок, полуметровых дров и щепы.

Чурки должны иметь размер, обеспечивающий равномерное опускание топлива в газогенераторе, а также не создавать больших сопротивлений при прохождении через них газа. Применение чурок больших размеров в газогенераторе может образовывать сводики, вследствие чего будет нарушаться нормальный процесс газификации, что отразится на мощности и равномерности хода двигателя. Применение чурок малых размеров в слое газифицируемого топлива будет создавать большие сопротивления прохождению газа, кроме того,

стоимость заготовки чурок с уменьшением их размеров будет увеличиваться.

Для современных конструкций автотракторных газогенераторов размер древесных чурок должен быть от $40 \times 40 \times 50$ до $60 \times 60 \times 80$ мм, при этом нужно помнить, что размер их должен вполне соответствовать внутренним размерам камеры сгорания газогенератора. Практически установлено, что максимальная длина чурок, во избежание образования сводиков, не должна превышать $\frac{1}{4}$ диаметра камеры сгорания. Загружаемые в генератор чурки должны быть одних размеров, так как устойчивость и постоянство состава газа в значительной степени зависят от равномерного течения воздуха и газа через слой топлива, а последнее возможно только при одинаковых пустотах в слое, представляющих собой каналы.

Вес 1 м^3 воздушно-сухих чурок, в зависимости от породы, влажности и размеров, колеблется в пределах 250—350 кг. Для чурок вышеуказанных размеров коэффициент заполнения равен 0,5—0,55; следовательно, зная удельный вес древесины, можно будет определить вес 1 м^3 чурок.

В табл. 4 приведены удельные веса различных пород свежесрубленной, воздушно-сухой и абсолютно сухой древесины. Для воздушно-сухой древесины принято следующее содержание влаги:

Хвойные породы 15% абс. влажности
Листоветные породы 18% абс. влажности

Таблица 4

Древесная порода	Удельный вес		
	Свежесрубленная	Воздушно-сухая	Абсолютно сухая
Дуб	0,98	0,76	0,65
Бук	0,98	0,75	0,64
Листоветница	0,82	0,57	0,49
Береза	0,91	0,64	0,56
Ясень	0,85	0,69	0,59
Ольха	0,88	0,55	0,47
Сосна	0,89	0,54	0,46
Ель	0,83	0,52	0,44

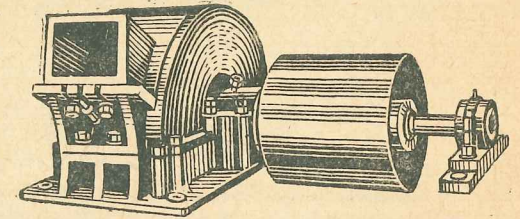
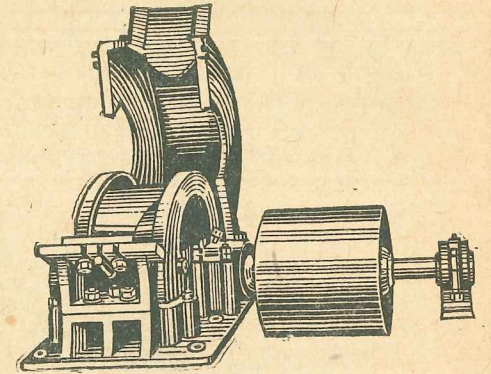
Применение полуметровых дров в качестве топлива для газогенераторов пока не получило широкого распространения. Имеющиеся две конструкции газогенераторов для длинных дров (проф. Ветчинкина и инж. Кузнецова) являются опытными образцами, хотя при пробеге испытания газогенератора инж. Кузнецова были уже получены хорошие показатели. Использование длинных дров в автотракторных газогенера-

торах является экономически более выгодным по сравнению с чурками, так как стоимость заготовки полуметровых дров значительно меньше стоимости заготовки чурки (полуметровые дрова должны быть расколоты и иметь площадь поперечного сечения не больше $20\text{—}30 \text{ см}^2$). Недостатком применения длинных дров для газогенераторов является неравномерное опускание их в бункере и камере сгорания.

Заготовка древесных чурок для автотракторных газогенераторов является весьма трудоемким процессом и составляет основную часть стоимости топлива. В последнее время в западноевропейских странах и у нас стал проявляться большой интерес к дробленой древесине — щепе. Преимущество щепы перед чурками заключается в том, что стоимость ее заготовки значительно ниже стоимости заготовки чурок; производительность машины, изготовляющей щепу, около $10\text{—}12 \text{ м}^3$ древесины в час, при затрате мощности $15\text{—}20 \text{ л. с.}$

Дробилка (фиг. 4) представляет собой литой отливкой кожух, внутри которого вращается двухконусный тяжелый барабан, имеющий на себе по каждой стороне по 5 ножей. Между конусами барабана к основной части кожуха прикреплен на болтах неподвижный массивный стальной нож. Если между неподвижным и вращающимися ножами попадает древесина (полено, рейка, горбыль и т. д.), то она будет измельчена на куски следующих размеров: длина $40\text{—}80 \text{ мм}$, ширина $20\text{—}60 \text{ мм}$ и толщина $5\text{—}30 \text{ мм}$. В кожухе имеется специальное отверстие, через которое поступает древесина, предназначенная для дробления. Полученная щепка из нижней части кожуха поступает в специальный лоток, откуда и подается на склад. Вращающиеся ножи на барабане и неподвижный нож могут регулироваться для получения различной длины щепы.

Полученная из дробилки щепка имеет $10\text{—}12\%$ мелочи, которая является нежелательной примесью. Перед употре-

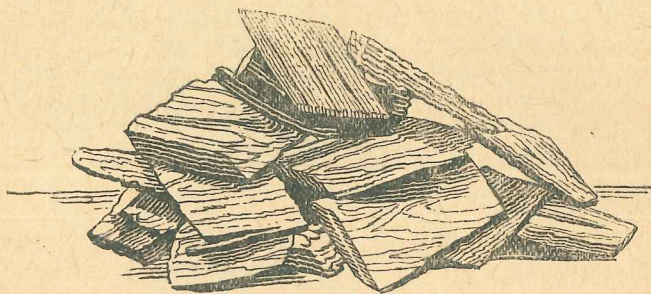


Фиг. 4. Дробилка для получения щепы.

блением в газогенераторах щепы должна быть пропущена через грохот, имеющий сетку с ячейками 10×10 мм. Древесная мелочь может сжигаться в сушилках, которые должны иметь специальные топки с ступенчатыми колосниковыми решетками.

На фиг. 5 показана щепа, полученная из твердых пород и пропущенная через грохот.

Испытание щепы в автотракторных газогенераторных установках в Лесотехнической академии (ЛТА) показало, что щепа очень хорошо газифицируется вследствие мелких размеров и увеличенной поверхности; получаемая калорийность газа и мощность двигателя не отличаются от полученных при работе на чурках (в ЛТА получены даже лучшие результаты, чем при чурках). Сопротивление газогенераторной установки при щепе на 30—40% больше, чем при работе на



Фиг. 5. Щепа, пропущенная через грохот.

чурках. Кроме того, при газификации древесной щепы в зольнике и трубопроводах отлагается большее количество угольной мелочи, чем при чурках; это особенно заметно при работе на щепе, полученной из еловой древесины.

Вес 1 м³ воздушно-сухой щепы, в зависимости от размеров, влажности и породы древесины, колеблется от 200 до 300 кг. Для щепы средний коэффициент заполнения может быть принят 0,4—0,44.

Сухая перегонка древесины

Сухой перегонкой древесины называется процесс термического разложения ее без доступа воздуха. В результате этого процесса древесина претерпевает химические изменения и разлагается, вследствие чего получают древесный уголь, смола и газообразные продукты.

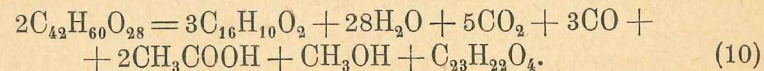
При нагревании древесины до 100—105° С начинает выделяться (в виде паров) влага. Разложение древесины начинается, примерно, около 130°, но до температуры 170° идет очень слабо, почти без выделения газов. Дальнейшее нагревание

древесины с 170°С до 270° характеризуется выделением газов, содержащих кислород, а именно CO₂ и CO. Если сухой перегонке подвергаются хвойные породы, то в пределах указанных температур будет также выделяться скипидар и уксусная кислота; в случае лиственных пород будет выделяться уксусная кислота и в незначительном количестве метиловый спирт и смолистые вещества. Полученная обугленная древесина при температуре 275° имеет темнобурую окраску и носит название „бурый древесный уголь“.

Процесс разложения древесины, начинающийся при температуре 270—280°С, характеризуется экзотермической реакцией, при этом углерод начинает концентрироваться в угле и образуется большое количество смолистых веществ, углеводов и метилового спирта. При дальнейшем нагревании до 350—400° из древесины получается черный уголь, который не отличается большой твердостью, является марким в работе, при ударе издает глухой звук и очень легко загорается.

С увеличением температуры нагрева от 350 до 800° происходит увеличение процентного содержания углерода в органической массе древесного угля, начинает выделяться водород и повышаться механическая прочность древесного угля. Древесный уголь, выжженный при температурах 600—800°, при ударах издает металлический звук и горит только при вдувании в него воздуха.

Занимаясь разложением древесины, Классон и др. установили, что разложение березовой древесины при атмосферном давлении и конечной температуре 400°С происходит по следующему уравнению:



В результате этого разложения получают следующие продукты: древесный уголь, вода, углекислота, окись углерода, уксусная кислота, метиловый спирт, смолистые вещества и другие органические соединения (масла, газы и т. д.).

На основании приведенного уравнения разложения березовой древесины можно определить процентное содержание получаемых продуктов:

Древесного угля	34,8%
Воды	24,9%
CO ₂	10,9%
CO	4,1%
CH ₃ COOH	5,9%
CH ₃ OH	1,5%
Смолистых веществ	17,9%
	100%

Эти данные были получены Классоном в лабораторных условиях, поэтому содержание смолистых веществ было полу-

чено большее. В действительности же количество смол в продуктах сухой перегонки содержится около 6%. Это большое расхождение получается вследствие того, что вся парогазовая смесь, в том числе и смолистые вещества, в аппарате не задерживаются, вследствие чего возможность вторичного разложения смолистых веществ при прохождении их в холодильник (в виду одинакового температурного режима в аппарате, не превышающего 400°) является очень незначительной. Кроме того, нагреванию подвергались небольшие куски древесины и в небольшом количестве, что также повлияло на большой выход смолистых веществ.

При сухой перегонке 100 кг абсолютно сухой древесины различных пород в среднем получается следующее количество продуктов:

Древесного угля	32 кг.
Газов	16 »
Смолы	6 »
Уксусной кислоты	6 »
Метилового спирта	1 »
Подсмольной воды	39 »
Всего	100 кг

В табл. 5 приведены данные о распределении углерода древесины между отдельными продуктами сухой перегонки при конечной температуре 400° С, полученные Классоном для различных пород.

Таблица 5

Продукты сухой перегонки.	Сосна в %	Ель в %	Береза в %	Бук в %
Древесный уголь	61,3	62,1	53,5	59,0
Смола	24,1	19,9	19,2	17,1
Уксусная кислота	3,4	2,5	5,8	5,0
Углекислота	5,4	5,6	5,6	6,1
Окись углерода	3,1	3,2	2,9	3,7
Остальные продукты	2,7	6,7	13,0	9,1

Как видно из таблицы, при березовой древесине в уголь переходит значительно меньшее количество углерода по сравнению с другими древесными породами; это получается вследствие большого перехода углерода в паробразные органические соединения.

Средний состав неконденсирующихся газов, получающихся при разложении древесины, по данным Бергстрема, Ф. Фишера, Дитмара и др. будет следующий:

CO ₂	50—56%
CO	28—38%
CH ₄	3,5—8,4%
C ₂ H ₄	2—3%
H ₂	0,5—3%

Состав газов в различные температурные интервалы сухой перегонки различен, что видно из табл. 6, составленной по данным Юона, полученным при обугливания хвойной древесины в печах Шварца.

Таблица 6

Температура в °С	Процентный состав газа				Теплотворная способность 1 м ³ газа
	CO ₂	CO	Углево- дороды	H	
150—200	68,0	30,0	2,0	0,0	1 110
200—280	66,5	30,0	3,3	0,2	1 210
280—380	37,5	20,5	36,5	5,5	4 020
380—500	31,5	12,3	48,7	7,5	4 780
500—700	12,2	24,5	20,4	42,7	3 630
700—900	0,4	9,6	8,7	80,7	3 160

Из приведенной таблицы видно, что до температуры 280°С, т. е. до начала экзотермического процесса разложения древесины, происходит выделение, главным образом, кислородосодержащих газов, имеющих малую теплотворную способность. По мере повышения температуры выше 280°С количество кислородосодержащих газов уменьшается вначале за счет увеличения углеводородов (метан, этилен и др.), а потом за счет увеличения водорода.

Следовательно, при перегонке древесины до температуры 280°С происходит выделение только водяных паров, углекислоты и небольшого количества окиси углерода. Полученная таким способом древесина (бурый древесный уголь) имеет большие преимущества как топливо для автотракторных газогенераторов.

Произведенные Ж. Дюпоном исследования газификации пяти различных топлив, полученных из сосновой древесины, также показали, что бурый древесный уголь (обожженный при 275°С) имеет целый ряд преимуществ перед другими видами топлива древесного происхождения. Результаты исследования приведены в табл. 7.

Из приведенной таблицы видно, что выход газа и его теплотворная способность, отнесенные к 1 кг первоначальной сухой древесины, получаются максимальными для угля, полученного при 275°С; также для этого угля получается максимальным и объем газа, полученного из одного и того же объема топлива. Это происходит благодаря тому, что содержащиеся в древесине углеводороды, водород и большая часть окиси углерода будут выделяться при температурах выше 275°, т. е. в заключительной фазе сухой перегонки, которая в данном случае будет протекать в газогенераторе.

Таблица 7

Характер топлива	Выход газа из 1 кг данного топлива в м ³				
	Выход газа из 1 кг первоначальной сухой древесины в м ³	Выход газа на один и тот же объем топ- лива	Теплотворная способ- ность газа на 1 кг угля в калориях	Теплотворная способ- ность газа, отнесе- нная к 1 кг первоначальной сухой дре- весины, в калориях	Теплотворная способ- ность газа, отнесе- нная к 1 кг первоначальной сухой дре- весины, в калориях
Уголь при температуре 550°	6,500	1,780	8,200	4 350	1 190
» » » 275°	4,500	3,670	9,500	2 960	2 430
» » » 250°	3,100	2,670	8,500	2 260	1 960
» » » 200°	2,880	2,670	7,100	1 900	1 760
Сосновая древесина (15% влаги)	2,700	3,100	8,200	2 040	1 720

Теплотворная способность рабочей смеси, полученной из газа и воздуха на 1 м³ цилиндра двигателя, также имеет наибольшее значение для угля, полученного при температуре 275°С, что видно из табл. 8, составленной Дюпоном по анализам углей, полученных при разных температурах.

Таблица 8

Состояние древесины и температура образования угля	Выход угля из 100 г сухого дерева, в г	Объемный состав сухо- го газа, полученного из 100 г угля, литры				Общий объем получен- ного газа в л	Теплотворная способ- ность 1 м ³ газа в ка- лориях	Количество необходи- мого воздуха для сжиган- ия газа, получен- ного из 100 г угля	Теплотворная способ- ность 1 м ³ рабочей смеси в калориях
		CO	CO ₂	H ₂	N ₂				
Дерево с 36% влаги	136	41,0	24,0	48,0	80,0	193,0	1 290	223	600
» » 18% »	118	54,1	20,5	58,5	88,2	213,3	1 470	281,5	628
Уголь, выжжен. при 275°	81,7	100,0	8,0	57,0	133,8	298,8	1 510	392,8	656
» » » 290°	79,1	101,0	8,0	62,5	137,8	309,3	1 515	408,8	655
» » » 400°	38,1	142,0	8,0	55,0	225,0	422,0	1 350	492,0	623
» » » 545°	27,5	169,0	8,0	32,2	305,9	509,0	1 200	511,0	594

На основании исследований, полученных при сухой перегонке и газификации древесины, можно заключить, что древесина, выжженная при температуре 275—290°С, является наилучшим древесным топливом для автотракторных газогенераторов. Это топливо имеет следующие преимущества:

1. Твердость, плотность, легкий вес, малая гигроскопичность и отсутствие пыли.

2. Максимальный выход тепловой энергии в отношении исходной древесины.

3. Максимальная теплотворная способность рабочей смеси на 1 м³ цилиндра двигателя.

4. Малое выделение паров и газов при остановке двигателя, которое начинается только при 275—290°С, тогда как при нормальной древесине выделяющиеся продукты сухой перегонки при низких температурах будут загрязнять трубопроводы и двигатель.

Приготовление бурого древесного угля может производиться в специальных ретортах и в переносных углевыжигательных печах с умеренным процессом нагревания.

ДРЕВЕСНЫЙ УГОЛЬ

Общие сведения

Выше уже отмечалось, что при нагревании древесины выше 350°С получается черный древесный уголь, представляющий собой совершенно новое тело, в котором отсутствуют качества, свойственные древесине. Количество получаемого древесного угля, химический состав, механическая прочность и его теплотворная способность зависят, главным образом, от температуры, скорости обугливания, качества и породы древесины.

Зависимость среднего химического состава и выхода угля от температуры обугливания изучалась В. А. Коробкиным, Бергштремом, Виолеттом, Ульманом и др.; результаты этих исследований приведены в табл. 9.

Таблица 9

Температура в °С	По данным В. А. Коробкина			По данным Бергштрема				По данным Ульмана			
	C	H ₂	O+N	C	H ₂	O+N	Выход угля в весовых процентах от веса аб- солютно сухого дерева	C	H ₂	O+N	Выход угля в весовых процентах от веса аб- солютно сухого дерева
110	50,58	6,24	43,18	—	—	—	—	—	—	—	—
150	50,58	5,87	42,45	—	—	—	—	—	—	—	—
200	54,5	5,30	40,20	52,3	6,3	41,4	91,8	52,3	6,3	41,4	91,3
250	60,50	4,88	34,62	70,6	5,2	24,2	65,2	70,6	5,2	24,2	65,2
300	72,78	4,27	22,95	73,2	4,9	21,9	51,4	73,2	4,9	21,9	51,4
350	76,11	3,93	19,96	—	—	—	—	—	—	—	—
400	80,18	3,51	16,31	77,7	4,5	18,10	40,6	82,7	3,8	13,5	37,8
450	84,86	3,07	12,07	—	—	—	—	—	—	—	—
500	88,99	2,85	8,16	89,2	3,1	6,7	31,0	89,6	3,1	6,7	33,0
600	94,34	2,19	3,47	92,2	2,6	5,2	29,1	92,6	2,6	5,2	31,0
700	95,53	1,63	2,84	92,8	2,4	4,8	27,8	93,7	2,4	4,8	28,7
800	96,94	1,25	1,81	95,7	1,0	3,3	26,7	95,8	1,0	3,3	26,7
900	97,32	0,95	1,73	96,1	0,7	3,2	26,6	96,1	0,7	3,2	26,6
1 000	97,65	0,58	1,77	96,6	0,5	2,9	26,8	96,6	0,5	2,9	26,5
1 100	—	—	—	96,4	0,4	3,2	26,1	—	—	—	—
1 135	98,10	0,30	1,60	—	—	—	—	—	—	—	—
1 500	99,73	0,09	0,18	—	—	—	—	—	—	—	—

Из приведенных в таблице данных можно установить, что с повышением температуры выжигания угля: 1) количество содержащегося углерода в органической массе древесного угля увеличивается; 2) количество кислорода и водорода в угле уменьшается; 3) весовой выход угля из обугливаемой древесины уменьшается.

Увеличение содержания углерода в органической массе древесного угля происходит сравнительно быстро в пределах температур 250—300°C, а при температурах выше 600°C содержание углерода в угле увеличивается незначительно.

Кроме того, при повышении температуры выжигания угля уменьшается способность поглощения углем кислорода воздуха. Эти свойства древесного угля, при различных температурах выжигания, являются особенно важными при газификации угля в газогенераторах, но, к сожалению, влияние указанных факторов на процесс газификации совершенно не изучалось.

При повышении температуры обугливания вначале механическая прочность угля уменьшается, имея минимальную величину при 325—375°C, при дальнейшем повышении температуры выжигания механическая прочность его возрастает.

Влияние породы древесины и скорости обугливания на механическую прочность древесного угля, выжженного в пределах температур 400—500°C, по данным исследования В. А. Коробкина, приведено в табл. 10.

Таблица 10

Порода древесины, из которой выжжен уголь	Сопротивление раздавливанию в кг/см ²					
	Нормальная скорость обугливания		Увеличенная скорость обугливания		Форсированная скорость обугливания	
	Вдоль волокон угля	Поперек волокон угля	Вдоль волокон угля	Поперек волокон угля	Вдоль волокон угля	Поперек волокон угля
Ель	135,0	16,5	105,0	12,5	59,0	9,0
Сосна	169,0	26,0	115,0	19,8	103,0	12,2
Осина	171,0	21,7	143,0	17,5	113,0	12,0
Береза	334,0	43,5	284,0	37,5	195,0	20,9

Из таблицы видно, что с увеличением скорости обугливания древесины механическая прочность угля уменьшается.

Влияние скорости обугливания древесины на выход угля, смолы, скипидара и др. было обстоятельно изучено Классоном, который установил, что с увеличением скорости ведения процесса обугливания древесины количество получаемого угля и смолы уменьшается. В табл. 11 приводятся результаты исследования, полученные Классоном при обугливании березовой древесины.

Таблица 11

Продолжительность обугливания	Уголь в %	Смола в %	Древесный спирт в %
При атмосферном давлении в течение 3 часов	25,51	18,00	1,49
То же в течение 8 часов	30,85	16,94	1,47
» » » 16 »	33,18	10,10	1,50
» » » 14 суток	39,44	1,8	1,41

При большой скорости обугливания древесины малый выход угля может быть объяснен тем, что при быстром нагревании угля, вследствие малой его теплопроводности, наружные слои успеют уже накалиться, тогда как внутри остается еще влага, которая, проходя через раскаленную наружную часть, сгорает с выделением CO, H₂ и небольшой части CH₄. Следовательно, чем больше будет содержать влаги обугливаемая древесина, тем меньше будет весовой выход угля.

При малой скорости обугливания древесины выход угля будет больше; это объясняется медленным повышением температуры, что обеспечивает большее соединение кислорода древесины с водородом в виде H₂O, а также больший процент выхода CO₂ за счет соединения кислорода древесины с углеродом.

Влияние скорости ведения процесса обугливания древесины на химический состав угля видно из табл. 12.

Таблица 12

Скорость обугливания	C в %	H в %	O + N в %
Обугливание произведено при атмосферном давлении.			
Конечная температура обугливания 400°C в течение 8 часов	83,00	3,84	13,16
То же в течение 14 дней	86,16	3,82	10,02
Конечная температура обугливания 500°C в течение 3 часов			
То же в течение 14 дней	90,5	3,22	6,28
	91,66	3,15	5,19

Увеличение углерода в угле при медленном процессе обугливания объясняется тем, что при медленном нагревании древесины удаляется больше кислорода, главным образом, в виде CO₂ и H₂O, т. е. в соединении с малым расходом углерода.

Наиболее ценным для процесса газификации угля является нелетучий углерод. Этот углерод не выделяется из древесины при обугливания, а сохраняется в угле и в том случае, когда уголь прокален до высоких температур; следовательно, нелетучий углерод поступит в восстановительную зону газогенератора и там произведет восстановление углекислоты и водяных паров. Чем выше температура выжигания угля, тем больше в единице веса такого угля содержится нелетучего углерода. Уголь, выжженный при температуре 700°C , содержит нелетучего углерода больше на 2—3%, чем уголь, выжженный при температуре 400°C .

Древесный уголь обладает характерной особенностью вступать в химическое и физическое соединение с кислородом воздуха при нормальных температурах. В случае химического поглощения углем кислорода воздуха кислород не может быть выделен обратно в чистом виде, а выделяется, главным образом, в виде CO_2 , CO и H_2O . При физическом поглощении кислород и газы CO_2 и N_2 могут быть выделены без изменения их состава путем разрежения. Интенсивность поглощения углем кислорода воздуха непостоянна и зависит от следующих причин: 1) от температуры среды, окружающей уголь, 2) конечной температуры выжигания, 3) содержания влажности в угле, 4) размера куска и давления, при котором происходит обугливание, и 5) качества породы и способа обугливания древесины.

Химическое соединение угля с кислородом при нормальной температуре вначале происходит с интенсивным выделением тепла, потом количество выделяющегося тепла постепенно уменьшается, и дальнейшее поглощение кислорода идет почти без выделения тепла. С повышением температуры среды, окружающей уголь, поглощение кислорода углем происходит в большем количестве и с большой скоростью, при этом количество выделяющегося тепла увеличивается. Если уголь, выжженный в ретортах при 400°C , нагрет до температуры 107°C в атмосфере, содержащей кислород, то поглощение кислорода углем будет около 15%, считая на вес органической массы угля.

На основании исследования Бергштрема, наибольшей способностью поглощать кислород воздуха обладает уголь, выжженный при температуре 400°C . Такой уголь в течение трех месяцев поглощает 40 см^3 кислорода на 1 г угля, что составляет 0,06 г, или 6%. Уголь, выжженный при 600°C , поглощает кислорода в 3,5 раза меньше, чем первый.

Влажный уголь, как показали исследования Бергштрема, поглощает кислород воздуха при одинаковых условиях на 20% больше, чем уголь меньшей влажности. Считают, что древесный уголь, хранившийся в хорошем складе, в который не было доступа атмосферных осадков, содержит от 7 до 15% влаги.

Размер кусков угля существенного влияния на его способность химически присоединять кислород воздуха не оказывает.

Полученный в ретортных и калориферных печах уголь поглощает кислорода больше, чем уголь кучной, хотя последний, вследствие разного теплового режима в куче, получается различных качеств и имеет к кислороду различную чувствительность.

Способность древесных углей химически связывать кислород зависит от тех химических соединений, которые в них содержатся. Характер этих соединений в настоящее время точно не установлен, но известно, что соединения угля с кислородом при нормальной температуре являются вполне устойчивыми и распадаются только лишь при нагревании угля до высоких температур. Отсюда следует, что древесный уголь нужно рассматривать как насыщенное самоокисляющееся химическое соединение.

При поглощении углем кислорода выделяющееся при этом тепло расходуется на нагрев угля, вследствие чего может произойти его самовозгорание. Уголь, выжженный при высоких температурах, будет менее склонен к самовозгоранию, чем уголь, выжженный при низких температурах обугливания. Мелкий уголь более склонен к самовозгоранию, чем крупный уголь, при одном и том же объеме и толщине слоя угля.

При обугливании гнилой древесины получаемый уголь имеет большую склонность к самовозгоранию, что объясняется большей способностью его химически поглощать кислород, а также слабой его механической прочностью, так как из такого угля при перегрузке образуется много мелочи, способствующей самовозгоранию.

На основании вышеприведенного анализа древесных углей можно сделать заключение, что наиболее желательным для газогенераторов будет уголь из здоровой древесины, выжженный при малых скоростях, при конечной температуре обугливания $600\text{—}800^{\circ}\text{C}$.

Приведенные выше цифры выхода угля из древесины действительно только для лабораторных условий и являются теоретическими. В производственных условиях выход угля будет более низкий (особенно при углежжении в кучах), так как часть исходной древесины расходуется как топливо на высушивание и обугливание остальной древесины. По данным М. Рингельмана, из каждых 100 кг углерода, содержащегося в исходной древесине, 27 кг сгорают для получения температуры, обеспечивающей развитие всех фаз углежжения, а 26 кг подвергаются разложению и уходят в виде газов смол и кислот. Таким образом, только 47 кг углерода, содержащегося в древесине, может быть превращено в этом случае в древесный уголь. Из приведенных данных следует, что из

100 кг древесины, содержащей 30% влаги, выход древесного угля составляет всего 18,04 кг.

Древесный уголь, применяемый для газогенераторов, должен иметь размеры от 15 × 15 до 50 × 50 мм. Необходимо, чтобы размер угля соответствовал конструкции и мощности газогенераторной установки. Уголь более мелких размеров создает большие сопротивления прохождению газов, а уголь более крупных размеров образует большое количество пустот, вследствие чего генераторный газ будет содержать очень много углекислоты и азота, что будет уменьшать его теплотворную способность.

По исследованиям М. Рингельмана, из 100 кг древесного угля, размельченного до размеров 25—40 мм, необходимо было пропустить через дробилку 133—143 кг соснового угля, 130 кг дубового и 116—119 кг березового угля. При этом вес одного гектолитра (100 л) дробленого угля составляет 18,65 кг для соснового угля, 18,82 кг для березового и 16,82 кг для дубового угля.

Отсюда следует, что целесообразно подвергать переугливание древесину, предварительно раздробленную до необходимых размеров. При этом возможно будет использовать отходы на заводах и в лесу (рейка, горбыль, сучья и ветви).

Удельный вес и вес 1 м³ угля, выжженного из различных древесных пород, приводятся в табл. 13.

Таблица 13

Уголь	Удельный вес угля	Вес 1 м ³ угля, получаемого в печах, в кг	Вес 1 м ³ угля, получаемого в кучах, в кг
Еловый уголь . . .	0,215	120	127
Сосновый » . . .	0,270	137	145
Осиновый » . . .	0,276	140	147
Березовый » . . .	0,400	175	184

Допустимая влажность для древесного угля, применяемого в газогенераторах, не должна превышать 20—25%.

Древесный уголь очень быстро поглощает влагу, но освобождается от последней значительно медленнее. М. Рингельман проделал следующее исследование над углем. Взяв уголь, содержащий обычный процент влажности, поместил его на 72 часа в воду (по истечении этого периода он уже в весе не увеличивался, достигнув предела насыщения), затем пропитанный водой уголь был выставлен для сушки на открытом воздухе в тенистое место, защищенное от дождя. Лишь по истечении 168 часов прекратилось дальнейшее изменение веса угля, и последний почти достиг своего исходного веса. Результаты наблюдений приведены в табл. 14.

Поглощение воды сухим углем		Испарение воды угля, предельно насыщенного	
Время	Исходный вес в кг	Время	Исходный вес в кг
0 час	100	0 час	218,6
По истечении 2 час.	152,6	По истечении 2 час.	209,9
5 час.	162,0	5 час.	187,1
8 » 19 мин.	169,3	8 »	172,5
24 » 16 »	189,3	25 » 45 мин.	150,6
32 »	195,3	31 » 45 »	136,6
72 »	218,6	72 »	110,6
		104 »	102,5
		120 »	102,5
		168 »	100,5

Теплотворная способность древесного угля колеблется в очень широких пределах от 6800 до 8200 кал на 1 кг. Средние величины теплотворной способности для различных углей, выжженных из воздушно-сухой древесины при конечной температуре обугливания 600—800 °С, приведены в табл. 15.

Таблица 15

Способ углежжения	Древесные породы	Теплотворная способность в кал/кг
В кучах	Береза	7842
	»	7532
	»	7479
	»	7566
	»	7637
В печах	Бук	7278
	Береза	7253
	»	7556
	»	7519
	»	7519
	»	7344

Зольность древесного угля колеблется от 1 до 4%.

Древесный уголь является очень хорошим топливом для газогенераторов и имеет следующие положительные свойства: 1) отсутствие смол, 2) однородность состава выжженного из любых пород древесины и 3) устойчивая работа газогенератора.

К недостаткам древесного угля, применяемого как топливо для газогенераторов, следует отнести: 1) малый удельный вес, 2) большую поглощаемость влаги, 3) измельчение при перевозках и 4) большое содержание пыли, маркость в работе.

Первые автотракторные газогенераторы как за границей, так и у нас работали на древесном угле, но в последнее время значительная часть газогенераторов работает непосредственно на древесном топливе. Непосредственное использование древесного топлива в газогенераторах было вызвано следующим. При переугливание древесины из 1 т получается около 200 кг древесного угля. Считая теплотворную способность обугливаемых дров 3 500—4 000 кал, а древесного угля около 7 500 кал, видно, что при углежжении теряется около 60% тепла. Указанные потери тепла при углежжении, главным образом, повлияли на непосредственное применение в газогенераторах древесного топлива.

Способы получения древесного угля

Существует четыре способа получения древесного угля: в кучах, в стационарных печах, в переносных печах (карбонизаторах) и в ретортах.

Кучное углежжение является очень старым способом получения древесного угля, который сохранился и до сих пор. Кучи устраиваются малых размеров, на 10—20 м³ дров, и больших—100—150 м³.

Процесс углежжения происходит за счет тепла, полученного от сгорания части дров, примерно, около 15% от общего количества.

Обугливание и охлаждение кучи емкостью 10—12 м³ продолжаются 3—3,5 дня, а кучи емкостью 100 м³—14—18 дней.

Наибольшим распространением в настоящее время пользуются углевыжигательные печи Шварца, в которых на Урале выжигается около 95% всего получаемого угля.

Емкость печи 30—35—120 м³. Наиболее распространенной является печь в 60 м³.

Расход дров в печах Шварца составляет 10—12% от общего количества, предназначенного для углежжения. Этот расход может быть снижен на 8—10%, если газы, получаемые от сухой перегонки в печи, использовать также в качестве топлива, т. е. по газоходам направлять в топку.

Выход угля из шварцевских печей, в среднем по Уралу, считается равным 76% по объему, т. е. из 1 м³ переугливаемых и расходуемых в топке дров получается 0,76 м³ древесного угля.

Существует ряд конструкций переносных углевыжигательных печей. Наиболее рентабельными оказались печи Симплекс и Реманец, которые при испытании Ленхимлесом в 1931—32 г. показали лучшие результаты по переугливанию древесины и лесосечных отходов.

Выход древесного угля в переносных печах колеблется от 17 до 20% исходного веса древесины.

Продолжительность процесса углежжения зависит от емкости печи; для печи емкостью 7—8 м³ он длится 25—30 часов.

Кроме вышеописанных, существует еще один способ получения древесного угля—в ретортах. При этом способе древесный уголь является как бы побочным продуктом, а основными являются жидкие и газообразные продукты разложения древесины, обладающие более высокой ценностью. В ретортах разложение древесины происходит без доступа воздуха, за счет внешнего обогрева ее и тепла, выделяющегося при разложении.

Существует ряд конструкций стационарных и передвижных реторт. Выход древесного угля в ретортах колеблется от 25 до 30% от исходной древесины. В большинстве случаев газы, получаемые от сухой перегонки древесины, используются также для обогрева реторты.

ТВЕРДОЕ ИСКОПАЕМОЕ ТОПЛИВО

К ископаемым топливам относятся торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит и горючие сланцы.

В табл. 16 приводится состав торфа в зависимости от глубины залегания (по данным Детмера).

Таблица 16

Состав торфа	Торф с поверхности	Торф с 2-метровой глубины	Торф с 4-метровой глубины
Зола	2,72	7,42	9,16
C	57,70	62,00	64,10
H	5,43	5,21	5,00
N	0,80	2,10	4,00
O	33,35	23,27	17,74

Средний состав органической массы торфа, по данным Инсторфа, приведен ниже:

C ₀	51,73—62,26%
H ₀	4,5 — 6,14%
S ₀	0,2 — 0,3%
H ₀ = 5200—5300 кал/кг	

Влажность торфа в сыром виде колеблется от 60 до 90%. Воздушно-сухой торф содержит влаги 20—30%.

Зольность торфа колеблется от 2 до 10% и зависит от места образования и глубины залегания. По данным инж. Крюкова, содержание золы в торфе в зависимости от глубины залегания следующее (борового торфа Владимирского района):

Верх залежи	1,1—1,8%
На глубине 1,5 м	2,2—3,3%
На глубине 3 м	4,5—5%

Содержание серы в торфе колеблется от 0,12 до 0,4%.

Вес 1 м³ торфяных брикетов в кладке колеблется от 330 до 480 кг.

При сухой перегонке торфа, по данным проф. К. Блахер, получаются следующие продукты:

Торфяной кокс	27,3%
Смола	4,5%
Газы	37,0%
Подсмольная вода	31,2%

По данным экспериментального бюро Торфяной академии, выход кокса доходит до 36—37%.

В зависимости от температуры торфококсования получается кокс двух видов: черный и бурый. Химический состав торфяного кокса и его теплотворная способность приводятся в табл. 17.

Таблица 17

Вид торфяного кокса	Состав органической массы					Рабочее топливо		
	C ₀	H ₀	(O+N) ₀	$\frac{H_0}{C_0}$	H _{орг}	A	W	H _{раб}
Черный	91	2,1	6,9	0,0231	7755	3,0	5,5	7077
Бурый	80,5	3,9	15,6	0,0484	7115	2,5	6,0	6464

Проф. Вл. Р. Вильямс в своей книге по топливу указывает, что при нагревании торфа в условиях низких температур получается продукт неполной сухой перегонки, называемый карбоцитом. Средний состав его: C=68,48; H=3,84; O+N=20,72; S=0,8; W=2,13 и A=4,65%. Теплотворная способность карбоцита H_ц=6105 кал/кг.

Торфяные брикеты с влажностью не выше 15—20%, торфяной кокс и карбоцит могут быть вполне применимы в качестве топлива для автотракторных газогенераторов. В настоящее время имеется несколько зарубежных конструкций газогенераторов, работающих на торфяном коксе. Испытания по применению торфяного кокса в генераторах транспортного типа производились Инсторфом и ВНИДИ (Всесоюзный научно-исследовательский дизельный институт), которые пришли к заключению, что торфяной кокс является вполне хорошим топливом.

Применение бурого угля в автотракторных газогенераторах без термической или механической обработки почти невозможно, так как он при нахождении на воздухе рассыпается на мелкие части и имеет большую влажность.

При сухой перегонке бурого угля получается 65—70% буроугольного кокса, который имеет, примерно, следующий состав органической массы:

C	91%
H ₀	0,6%
(O+N) ₀	8,4%

Теплотворная способность H_{орг}=7300 кал/кг.

Буроугольный кокс содержит серы около 1%, влаги 3—4% и золы 5—7%.

Буроугольный кокс и буроугольные брикеты вполне могут быть применимы как топливо для автотракторных газогенераторов. Имеются газогенераторные установки, которые работают на буроугольных брикетах, имеющих зольность не выше 5%.

Каменный уголь имеет более древнее происхождение, чем торф и бурый уголь. Состав каменных углей колеблется в очень широких пределах: от углей, близких к бурым, до антрацитов, представляющих по составу почти чистый углерод.

Для донецких углей в СССР официально принята классификация Госплана, которая приведена в табл. 18.

Таблица 18

Название углей	Торговые марки	Процентное содержание в беззольной и безводной массе						H _{раб}	W в %	Характеристика кокса
		C	H	O+N	В том числе N	Летучих веществ	Летучей S			
Длиннопламенный	Д	79,9	5,7	14,4	1,8	47	4,5	7500	7,1	Не спекшийся, порошкообразный
Газовый	Г	83,0	5,6	11,4	1,7	42	3,4	7850	6	Слабо спекшийся, вспученный, рыхлый
Паровичный жирный	ПЖ	88,8	5,2	6,0	1,7	28	2,1	8350	3,5	Спекшийся, умеренно плотный
Флотский	Ф	89,5	5,1	5,4	1,7	25	1,5	8400	3,0	То же
Коксовый	К	90,0	4,8	5,0	1,7	23	2,0	8350	3,0	Спекшийся, плотный
Паровичный спекающийся	ПС	91,0	4,6	4,4	1,7	17	2,5	8450	3,0	То же
Тощий	Т	91,7	4,3	4,0	1,7	14	2,3	8450	3,0	Не спекшийся, порошкообразный

Влажность каменных углей весьма различна. Подмосковный уголь (Богхед и Курной) имеет влажность 16—25%. Донецкие каменные угли содержат влаги от 1 до 7%.

Зольность подмосковных углей 10—25%, а донецких 4—12%.
Температура плавления золы от 1040 до 1520° С.

Содержание серы для подмосковных углей 2—4%, для донецких от 0,5 до 3%.

Вес 1 м³ донецкого каменного угля составляет 800—860 кг, удельный вес равен 1,2—1,5.

Средний выход продуктов сухой перегонки из различных каменных углей приводится в табл. 19.

Таблица 19

Продукты перегонки	Коксовый уголь		Кузнечный уголь	Газовый уголь
	тощий	жирный		
Кокс	85,9	80,9	76,4	74,5
Смола	1,4	1,2	3,4	2,7
Аммиачная вода	3,4	4,3	5,2	5,4
Газ	8,6	12,5	14,2	16,8

Средний состав органической массы каменноугольного кокса может быть принят:

C _o	96—98%
H _o	0,4—1%
(O + N) _o	1,6—3%

Теплотворная способность этого кокса будет $H_{орг} = 8000$ кал/кг.

Вес 1 м³ каменноугольного кокса колеблется от 360 до 500 кг, при этом меньшие цифры относятся к газовым коксам, а большие — к металлургическим и литейным.

Каменноугольный кокс содержит влаги 1—4%, золы 8—15% и серы 0,5—2%.

Антрацит представляет собой последнюю стадию в образовании угля и содержит по сравнению с другими твердыми топливами малое количество кислорода и водорода. Следовательно, выход летучих в них будет незначительным, поэтому они горят без образования дыма, с очень коротким пламенем.

Антрацит очень тверд, загорается при высоких температурах и при этом не спекается.

Средний состав органической массы антрацита следующий:

C _o	94,5—97,5%
H _o	1,4—2,7%
(O + N) _o	1—3,5%

Теплотворная способность органической массы $H_{орг} = 8000—8500$ кал/кг.

Колебание состава и рабочей теплотворной способности донецкого антрацита для различных районов добычи дано в табл. 20, составленной проф. К. Э. Рерих.

Таблица 20

Наименование антрацита	Содержание в % веса органической массы			Количество горючих летучих в %	Содержание в % веса рабочего топлива			Рабочая теплотворная способность в калориях
	C _o	H _o	(O + N) _o		W	A	S	
Чистяковский	от 94,0	2,7	3,3	7,7	5,2	12,2	2,6	7 040
	до 96,8	1,7	1,5	4,6	1,0	1,5	0,7	7 715
Боково-Хрустальский	от 94,6	2,7	2,7	8,2	4,9	12,2	2,8	6 800
	до 96,6	1,5	1,9	2,7	0,9	1,3	0,9	7 770
Должанский	от 96,0	1,5	2,5	6,1	4,8	11,0	4,7	7 030
	до 97,6	1,4	1,0	2,9	2,6	2,0	0,9	7 670
Замчалово-Сулинский	от 97,6	1,6	1,8	3,9	4,6	8,5	3,1	6 975
Грушевско-Власьевский	от 96,0	1,7	2,3	5,1	4,4	11,7	4,7	6 710
	до 97,2	1,5	1,3	3,9	1,6	3,2	0,7	7 690

Донецкий антрацит, главным образом, классифицируется по размерам кусков. Существующие сорта и торговые марки для антрацитов приводятся в табл. 21.

Таблица 21

Сорт	Марка	Размеры кусков
Плиты	АП	Свыше 100 мм
Крупный орех	АКО	От 100 до 25 мм
Мелкий орех	АМО	» 25 » 13 »
Рядовой со штыбом	АРШ	» 100 » 0 »
Семячко	АС	» 13 » 6 »
Зубок	АЗ	» 6 » 3 »
Штыб	АШ	» 3 » 0 »

Влажность антрацита может быть в среднем принята от 3 до 5%.

Зольность антрацита колеблется в пределах от 2 до 12%, в мелких же сортах может доходить и до 20%. Температура плавления золы равна 900—1360° С.

Сера в антраците содержится в количестве 1—3%.

Вес 1 м³ антрацита составляет 800—1000 кг и зависит от его марки: например, 1 м³ марки АС весит 900 кг. Удельный вес антрацита 1,4—1,8.

Каменный уголь Донецкого бассейна, кокс и антрацит являются хорошим топливом для автотракторных газогенераторов. Однако, до 1935 г. существовало мнение, что этот вид топлива для газификации в небольших транспортных газогенераторах является нежелательным вследствие большого содержания золы и серы.

В настоящее время имеется целый ряд способов очистки газа от серы (активированный уголь и др.), поэтому применение каменных углей для газификации в автотракторных газогенераторах не является для современной техники непреодолимым препятствием.

Применение антрацита и родственных ему каменных углей для газогенераторов автотракторного типа имеет большое преимущество по сравнению с другими видами топлива благодаря большой концентрации тепловой энергии в единице объема, что дает возможность работать автомобилю или трактору продолжительное время на одной загрузке газогенератора.

В 1935 г. инж. Б. П. Прошаковым был построен и испытан газогенератор на антраците (марки АС) для двигателя ГАЗ. При испытании выяснилось, что генератор давал вполне устойчивый и хорошего качества газ.

Сланцы являются весьма низкосортным топливом.

Вследствие большой зольности это топливо для газогенераторов неприменимо, так как при сгорании объем полученной золы составляет около 70—80% объема свежезагруженного топлива.

БРИКЕТЫ

Кроме разобранных видов топлива, существует еще целый ряд сельскохозяйственных и промышленных отходов: лужга, хвоя, хвойные шишки, древесная кора, стружки, опилки, древесноугольная мелочь и др. Эти отходы как топливо в естественном виде для газогенераторов неприменимы по следующим причинам: 1) незначительный вес и теплотворная способность единицы объема, 2) быстрота сгорания отдельных частиц, 3) образование слабого угля и 4) хранение и транспорт сопряжены с большими неудобствами.

Указанные недостатки могут быть устранены, если отходы брикетировать. Брикетирование может происходить с прибавлением и без прибавления связующих веществ.

При выборе связующего вещества приходится считаться с увеличением зольности и уменьшением теплотворной способности брикетов, поэтому неорганические вещества в качестве связующих применять не рекомендуется. Наибольшим распространением в качестве связующего вещества пользуются каменноугольный и древесный пек, который получается при разгонке смол в виде твердого остатка. Выход пека из смолы составляет около 60% ее веса.

Сорт пека определяется температурой его размягчения и плавления.

	Температура размягчения	Температура плавления
Твердый пек	100° С	150—200° С
Средний »	60° С	100° С
Мягкий »	40° С	60° С

Наилучшим является пек, полученный из березовой смолы с разгонкой до 230° С, при этом смола теряет в весе 12—17%.

Предназначенное для брикетирования топливо предварительно обогащается удалением пустой породы, влаги и т. д. Бурые угли перед брикетированием коксуют в целях удаления влаги и летучих веществ. Торф подсушивают до содержания в нем влаги не больше 14—16%, так как сухой и сырой торф брикетированию не поддается. Древесный уголь подсушивают до 5% влажности.

Чтобы получить брикеты достаточной прочности, необходимо топливо раздробить до определенной величины зерна. При ископаемых углях эта величина должна быть около 1 мм. При древесных углях такая величина зерна является недопустимой, поэтому его пропускают через вальцы и шаровые мельницы, после чего просеивают через сита, имеющие от 900 до 2200 отверстий на 1 см².

Процесс получения древесноугольных брикетов состоит в следующем. Измельченный древесный уголь перемешивают с древесным пекем в количестве 8—20% и затем полученную массу прессуют при давлении 300—800 кг/см². Такие брикеты прокаливают при температуре 250° С без доступа воздуха. После этого брикеты охлаждаются до 40—50° С (в защищенном от наружного воздуха месте) и поступают на склад.

Установлено, что прочность древесноугольного брикета повышается с увеличением процентного содержания в нем пека. Полученные данные приведены ниже.

Таблица 21а

	Процент пека			
	9,1	13,0	16,7	20
Сопротивление на раздвливание в кг/см ² . . .	92—114	119—126	128	156

Результаты проведенных сравнительных испытаний трех видов топлива: древесного угля, брикетов из березового угля и из початкового угля, полученного переугливанием початков кукурузы, приведены в табл. 22.

Древесным брикетам может придаваться различная форма: яйцеобразная, шестигранная, цилиндрическая и др. Для газогенераторов наиболее удобной формой брикета будет яйцеобразная или вообще сферическая, так как при этой форме брикеты в камере горения будут соприкасаться в одной точке, оставляя промежутки для воздуха, вследствие чего горение будет происходить равномерно.

Большой интерес как сырье для получения брикетов представляет хвойный отпад, который состоит из хвои, сучьев и шишек. Сосновый лес дает хвойного отпада на 1 га около

Таблица 22

	Древесный уголь	Брикеты из березового угля	Брикеты из порчаткового угля
Теплотворная способность в калориях	7 600—7 800	7 400—7 600	7 000—7 200
Зола в %	2—1,5	2,0—1,5	5,0—4,0
Удельный вес	0,3—0,5	0,9—1,2	0,9—1,2
Вес м ³ в т	0,15—0,225	0,6—0,8	0,6—0,8
При падении	—	Не разбивается	
Накаленный добела и брошенный в воду	—	Не разрушается	
В печи, накаленный добела	Быстро уменьшается и от легкого удара рассыпается	Уменьшается в размерах весьма медленно и до последнего момента не разрушается. При ударе издает «каменный звук»	
Потери на месте производства в %	10—15	Нет	Нет
Потери при транспорте в %	10—15	1—2	1—2
Транспортability	Не выдерживает ни транспорта, ни разгрузок	Выдерживает любой вид транспорта и перегрузки	
Гигроскопичность в %	12—14	—	1—2

4,4 т, при этом он состоит из хвои — 85%, сучьев — 12% и шишек — 3%. Еловый лес на 1 га дает хвойного отпада около 7,15 т, который состоит из хвои — 75%, сучьев — 15% и шишек — 10%.

Площадь хвойных лесов в плотно населенной средней полосе европейской части СССР равна около 12,5 млн. га соснового и около 14 млн. га елового леса. С этой площади можно будет получить 80—100 млн. т хвойных брикетов, что обеспечит топливом не только автотракторные газогенераторы, но и всю потребность страны. Необходимо учесть, что это количество хвойного отпада образуется ежегодно.

По данным Равиковича, передвижная хвойно-брикетная станция может дать около 80 т брикетов по цене 8 р. 29 к. за 1 т франко-станция.

Процесс изготовления хвойных брикетов заключается в следующем. Собранный хвойный отпад в воздушно-сухом виде подается в дробитель, после чего раздробленная до табакообразного состояния масса поступает в сушилку, где подогрывается до 60°С и подсушивается до 10% влажности. Затем масса подается в пресс, где под давлением 300—500 кг/см² спрессовывается в брикет. Брикетирование происходит без связующих веществ, так как последние имеются в самой массе.

Хвойный брикет имеет следующие показатели:

Рабочая теплотворная способность	4 300—4 500 кал/кг
Зольность	2—3%
Влажность	10%
Удельный вес	1,0—1,25

Хвойные брикеты имеют большую прочность, выдерживают транспорт, не самовозгораются на открытом воздухе и при сгорании горят равномерно до конца сгорания, не разваливаясь.

Брикетирование измельченной древесины, соломы, торфа и др. может производиться и без связующих веществ, если произвести их подогрев. Этот способ брикетирования предложил изобретатель А. А. Глотов в 1929 г. Такие брикеты названы изобретателем экзобрикетами.

Процесс изготовления экзобрикетов заключается в следующем. Измельченная и подсушенная масса поступает в реторту, где равномерно нагревается до температуры от 300 до 400°С. Затем масса при помощи шнека поступает в пресс, причем как шнек, так и пресс должны быть нагреты до температуры не ниже 300°С. Брикет необходимо продержать под давлением 200—300 кг/см² не меньше 10—15 секунд, так как при более быстром прессовании брикеты получаются слабыми.

Изготовление экзобрикетов можно производить из любого вещества, имеющего растительное происхождение: древесины коры, листьев, веток, опилок, соломы, торфа, хлопковых отбросов, различных трав и т. д.

Теплотворная способность экзобрикетов, полученных из различных измельченных топлив (по данным Уралхимлеса), будет следующая:

Древесные опилки	5 179—6 286 кал/кг
Солома	4 579—5 761 »
Торф	4 341 »

Для сельского хозяйства наибольший интерес представляют экзобрикеты из соломы, которой получается 2—3 ц на каждый центнер зерна. При использовании только небольшой части получающейся соломы для экзобрикетов можно было бы обеспечить газогенераторным топливом все тракторы и автомобили, работающие в сельском хозяйстве.

Солома имеет зольность от 3,5 до 7,5% и влажность 8—12% (при хранении в местах, не защищенных от атмосферных осадков, влажность может повышаться до 40%). Рабочая теплотворная способность соломы в среднем принимается около 3000 кал/кг. Элементарный состав абсолютно сухой соломы разного вида приводится в табл. 23.

На основании многочисленных исследований УНИЛХИ (уральский научно-исследовательский лесохимический институт) были получены качественные показатели экзобрикетов из древесных опилок. Эти показатели приведены в табл. 24, где для сравнения взята сосновая древесина, сосновый уголь и древесноугольные брикеты.

Различаются бурые и черные экзобрикеты, полученные соответственно при температурах 300 и 400°С.

Бурые и черные брикеты значительно прочны и при сильном увлажнении не меняют своей формы. Искусственно увлаж-

ненные брикеты, содержащиеся 20—30 дней под водой, через 4 дня пребывания на воздухе содержат не больше 6% влажности.

Таблица 23

Наименование растений	Содержание в %			
	С	Н	N	Зола
Лен	47,6	5,8	0,63	3,3
Озимая пшеница	46,1	5,6	0,42	4,1
Яровая »	45,8	5,6	0,51	4,9
Рожь	45,8	5,7	0,52	3,5
Просо	44,6	5,2	0,90	5,9
Овес	44,38	5,18	0,45	7,2
Ячмень	42,7	5,28	0,90	6,5
Гречиха	42,0	5,15	0,50	7,2

Выше было отмечено, что нагревание массы должно происходить равномерно, поэтому масса в ретортах должна непрерывно перемешиваться.

Таблица 24

	Сосна	Экзобрикеты					Древесно-угольный брикет	Древесно-сосновый уголь
		200°	250°	300°	350°	400°		
Временное сопротивление сжатию вдоль волокон в кг/см ²	500	1 010	1 150	1 430	710	300	90	103
То же поперек волокон в кг/см ²	50	122	98	37	—	44	22	12
Удельный вес	0,55	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9—1,2	0,5
Выход в %	100,0	95,5	86,0	76,0	44,5	33,5	110	38,0
Теплотворная способность	3 500	4 620	5 030	5 380	5 770	6 370	6 520	6 750
Водопоглощаемость в %	105	100	54	33	—	63	—	240
Гигроскопичность в %	20	12	5	3	—	4	—	10

Существует несколько реторт, в которых равномерный подогрев массы осуществляется двумя способами: 1) устройством внутри реторты перемешивающего приспособления (шнека и др.), которое перемещает и перемешивает массу (реторта Галидея), и 2) вращением всей реторты или внутренней ее части (реторты Гейзена, Ларсена, Зимана, Шнейдера и др.).

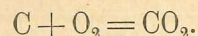
ГЛАВА II

РАСЧЕТ АВТОТРАКТОРНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ ПРОЦЕССЫ ГАЗИФИКАЦИИ ТОПЛИВА

Все автотракторные газогенераторы в зависимости от способа ведения процесса газификации можно разделить на три группы:

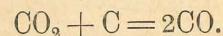
1. Прямого процесса газификации.
2. Опрокинутого (обратного) процесса газификации.
3. Горизонтального процесса газификации.

Работа генератора по прямому процессу газификации (фиг. 6) заключается в следующем. Атмосферный воздух, необходимый для газификации твердого топлива, поступает под колосниковую решетку газогенератора вследствие разрежения, создаваемого двигателем. На колосниковой решетке кислород воздуха соединяется с углеродом топлива по следующей реакции:

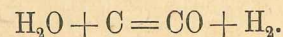


Так как эта реакция протекает с значительным выделением тепла (экзотермическая), то температура в этой части газогенератора устанавливается 1100—1300°С. Эта часть газогенератора носит название зоны горения, или окисления, и располагается над колосниковой решеткой на высоте 120—150 мм. В зоне горения кислород воздуха полностью расходуется на окисление углерода топлива, следовательно, в конце ее будет максимальное количество углекислоты.

Продукты горения и перегретый водяной пар, полученный из воздуха и специально подаваемый в некоторых газогенераторах, поднимаются выше и попадают в восстановительную зону, где углекислота под действием раскаленного углерода восстанавливается в окись углерода по реакции:



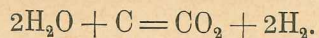
Разложение водяных паров будет протекать по следующей реакции:



Эта реакция будет протекать при условии, что температура в восстановительной зоне поддерживается не ниже



900°С; если температура будет ниже, то реакция разложения водяного пара будет протекать по следующему уравнению:



Восстановительная зона является основной в газогенераторном процессе, поэтому необходимо, чтобы эта зона обеспечивала течение реакции $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ и $\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{CO} + \text{H}_2$. Следовательно, температура в ней должна быть 900—1100°С, а высота 200—300 мм.

Зона горения и зона восстановления вместе называются активной зоной.

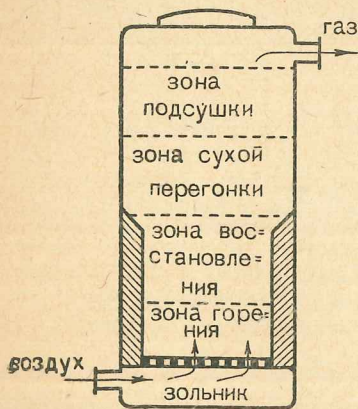
Поднимаясь выше, продукты газификации поступают в зону сухой перегонки, где топливо за счет теплоты газов нагревается до температуры 300—600°С. В этой зоне происходит выделение продуктов сухой перегонки, состав которых зависит от газифицируемого топлива. При газификации смолистых топлив (дрова, торф, солома и др.) продукты сухой перегонки будут содержать CO_2 , CO , H_2 , CH_4 , смолы и др.; в случае же газификации бессмольных топлив — древесный уголь, кокс, карбонит и антрацит; эти продукты будут состоять, главным образом, из H_2 , CH_4 , C_2H_4 и незначительного количества CO_2 и CO .

Продукты сухой перегонки и продукты газификации дальше проходят через зону подсушки, где захватывают с собой влагу топлива

и покидают газогенератор. Следовательно, в результате прямого процесса газификации получают следующие продукты: газы основного процесса, газы сухой перегонки, пары смол (для смолистых топлив) и пары воды.

Если по прямому процессу газифицируется смолистое топливо, то смолы, попадая вместе с газом в двигатель, могут вывести его из строя. Очистка газа от смол требует установки сложных и громоздких очистителей, что для автотракторной газогенераторной установки не представляется возможным. Поэтому для газогенераторов, работающих по прямому процессу газификации, можно использовать только топливо, не содержащее смол.

Работа газогенератора по опрокинутому процессу газификации (фиг. 7) заключается в следующем. Воздух за счет разрежения, создаваемого двигателем, поступает в среднюю часть газогенератора через специальные фурмы или щели, где кислород соединяется с углеродом топлива. Эта часть



Фиг. 6. Схема газогенератора прямого процесса.

газогенератора носит название зоны окисления, или горения. Затем газы опускаются ниже и поступают в восстановительную зону, где происходит восстановление углекислоты в окись углерода, а также разложение паров воды, смол, уксусной кислоты и др.

Выше зоны горения располагается зона сухой перегонки и зона подсушки, которые получают тепло за счет лучеиспускания от зоны горения. В зоне сухой перегонки выделяются продукты сухой перегонки топлива, а в зоне подсушки — влага, при этом в последней температура поддерживается в пределах 80—200°С. Часть газогенератора, где располагаются указанные зоны, называется бункером.

При опрокинутом процессе газификации пары смол и воды обязательно должны будут пройти через активную зону газогенератора, где произойдет их разложение на горючие компоненты газа. Следовательно, опрокинутый процесс дает возможность работать на смолистых сортах топлива.

Горизонтальный процесс газификации (фиг. 8) был вызван желанием сделать газогенератор менее чувствительным к колебаниям уровня топлива и вписать газогенератор в ограниченные габариты автомобиля и трактора. При этом процессе газификации газы, образовавшиеся в зоне горения, движутся перпендикулярно опускающемуся слою топлива, так как поступление воздуха производится с одной стороны газогенератора, а отсос газа — с другой стороны.

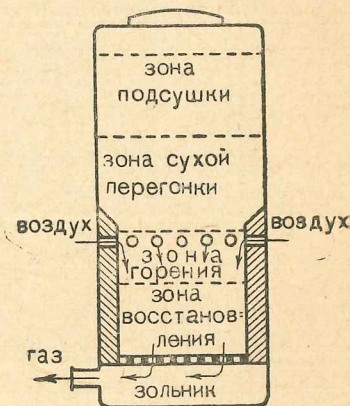
При горизонтальном процессе можно газифицировать, как и при прямом, только бессмольные виды топлив.

В настоящее время большинство газогенераторов автотракторного типа работает по опрокинутому процессу газификации, так как этот процесс имеет целый ряд значительных преимуществ.

При опрокинутом процессе в восстановительной зоне будет находиться почти чистый нелетучий углерод (так как уже топливо пройдет зону горения с температурами 1110—1300°С), что значительно улучшит восстановительный процесс.

При газификации бессмольных и сухих топлив по опрокинутому процессу не требуется вводить в зону горения водяных паров, что упрощает установку как с конструктивной, так и с эксплуатационной стороны.

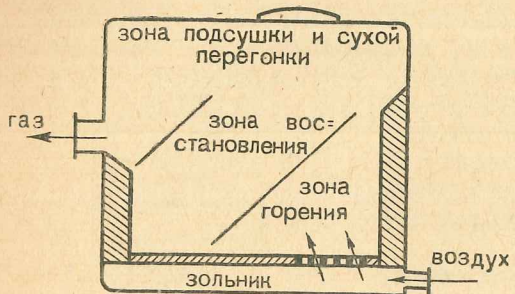
Загрузка топливом газогенератора, работающего по опрокинутому процессу, может производиться во время работы двигателя.



Фиг. 7. Схема газогенератора обратного процесса.

Прямой и горизонтальный процессы газификации в авто-тракторных газогенераторах большого распространения не получили вследствие имеющегося у них целого ряда недостатков, заключающихся в следующем: возможность газификации только бессмольных топлив, необходимость подвода в зону горения водяных паров, загрузка газогенератора топливом (без сложных приспособлений) может производиться только при остановке двигателя.

Однако, в последних конструкциях автотракторных газогенераторов прямой процесс находит себе применение для



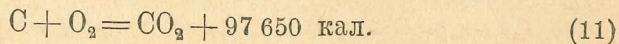
Фиг. 8. Схема газогенератора горизонтального процесса.

кокса и антрацита. Применение прямого процесса для указанных топлив вызывается тем, что в этом случае температуры на колосниковой решетке и выходящего газа из газогенератора будут ниже, чем при обратном процессе. Следовательно, уменьшается возможность прогорания газогенератора и зашлаковывания колосниковой решетки вследствие высоких температур горения указанных топлив и низких температур плавления получающейся золы.

ТЕОРИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА

Изучение газогенераторного процесса сводится к исследованию теоретических условий течения отдельных реакций, причем заключения, полученные при этих исследованиях, делаются таким образом, чтобы они могли быть применимы к работе газогенератора в действительных условиях.

Выше уже указывалось, что кислород воздуха, соединившись с углеродом топлива, сгорает по реакции:



Выделяющееся при этой экзотермической реакции тепло расходуется на осуществление эндотермических реакций — подогрев топлива, подогрев газа и потери в окружающую среду (конвекция и лучеиспускание).

Для этой реакции константа равновесия выразится следующей формулой:

$$K = \frac{CO_2}{O_2}$$

где CO_2 и O_2 — концентрация соответствующих газов. При температуре $900^\circ C$ эта константа будет приблизительно равняться:

$$K = \frac{CO_2}{O_2} = 3,5 \cdot 10^{17}$$

Отсюда видно, что в равновесной смеси при данной температуре количество углекислоты превышает количество кислорода в $3,5 \cdot 10^{17}$ раза, т. е. только очень малое количество кислорода может оставаться в соприкосновении с углеродом при $900^\circ C$:

$$O_2 = \frac{CO_2}{3,5 \cdot 10^{17}} = 2,9 \cdot 10^{-18} CO_2$$

Поэтому реакция (11) может рассматриваться как необратимая при температурах, имеющих место в окислительной зоне газогенератора.

Скорость реакции (11) в настоящее время установлена недостаточно, однако, по данным Хаслам и Руссель, при температуре выше $982^\circ C$ можно принять, что она протекает мгновенно. Относительные скорости этой реакции, по данным Рида и Уилера, при низких температурах будут следующими:

Температура	Относительная скорость реакции
$350^\circ C$	1
$400^\circ C$	10
$500^\circ C$	400

Углекислота, полученная в окислительной зоне, проходя через раскаленный слой угля, восстанавливается в окись углерода по реакции.

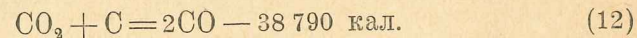


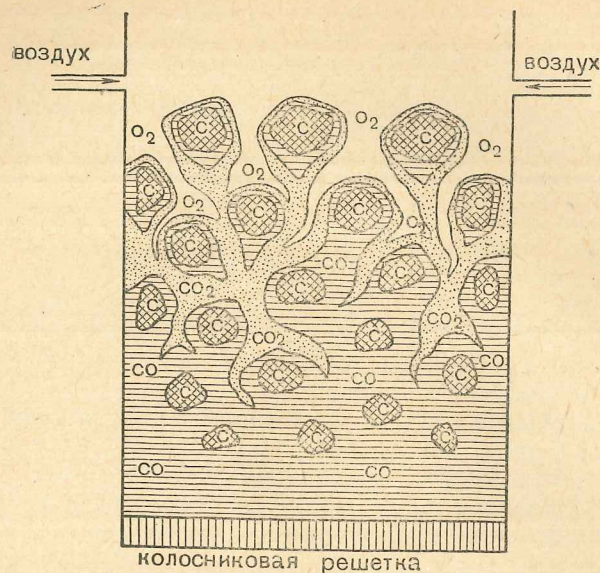
Схема получения воздушного газа (по Штрахе) по реакциям (11) и (12) показана на фиг. 9 для опрокинутого процесса.

Эта эндотермическая реакция является обратимой, и константа ее равновесия определится формулой:

$$K = \frac{(CO)^2}{CO_2}$$

Реакция $CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$ является основной в газогенераторном процессе, поэтому очень важно знать, при каких температурах она будет протекать в ту или другую сторону и в каких пределах. Эта реакция изучалась очень многими исследователями (Будуар, Рид и Уилер, Юшкевич и др.).

Первым исследователем условий равновесия этой реакции при различных температурах был Будуар, который определил состав газовой фазы при равновесии опытным путем



Фиг. 9. Схема газификации (по Штрахе).

и при помощи константы равновесия, определяемой из упрощенного уравнения следующего вида:

$$\ln K + \frac{21\,000}{T} - 21,4 = 0.$$

Результаты исследований Будуара приведены в табл. 25.

Таблица 25

Температуры опытов в °С	Состав газовой фазы при равновесии, найденный из опыта, в %		Состав газовой фазы, подсчитанный по уравнению: $\ln K + \frac{21\,000}{T} - 21,4 = 0,$ в %	
	CO	CO ₂	CO	CO ₂
445	0,6	99,4	—	—
550	10,7	89,3	11,0	89,0
650	39,0	61,0	39,0	61,0
800	93,0	7,0	90,0	10,0
925	96,0	4,0	97,0	3,0

Юшкевич („Известия Уральского государственного университета“, 1921 г.) для определения константы равновесия принял уравнение:

$$\lg K + \frac{37\,520}{4,571 T} - 5,46 = 0,$$

которое очень хорошо согласуется с опытными данными в интервале температур 404—904°С и при давлениях от 0,3 до 2,0 ата.

Результаты, полученные Юшкевичем при давлении 1,09 ата, приведены в табл. 26.

Таблица 26

Температуры опытов	Состав газовой фазы при равновесии в %		Средние константы равновесия $K = \frac{(CO)^2 \cdot P}{CO_2 \cdot 100}$
	CO	CO ₂	
404	1,2	98,8	0,000141
504	7,25	92,75	0,006221
567	17,9	82,1	0,04105
617	31,15	68,85	0,15305
667	49,5	50,5	0,5217
717	67,0	33,0	1,4930
804	88,65	11,35	7,488
904	97,15	2,85	36,163

Некоторые расхождения в исследованиях Будуара и Юшкевича могут быть объяснены тем, что Будуар производил исследования при 1 ата, а Юшкевич — при 1,09 ата.

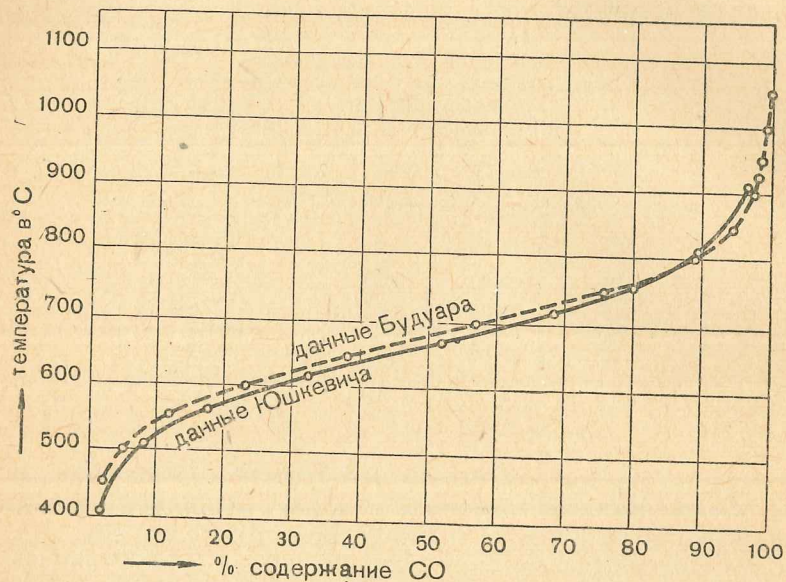
Графическое сопоставление исследований равновесия реакции $CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$ Будуара и Юшкевича, составленное последним, приводится на фиг. 10.

В работах Будуара и Юшкевича выявлено равновесие газовой фазы реакции восстановления углекислоты в зависимости от температуры, но без учета времени, необходимого для достижения этого равновесия. В условиях работы газогенератора, где время контакта газа с раскаленным топливом исчисляется в десятых долях секунды, приведенные результаты в табл. 25 и 26 не могут быть применимы вследствие того, что указываемые в таблицах равновесия достигаются в течение продолжительного времени, которое исчисляется часами, а для низких температур даже сутками. Однако, эти таблицы дают нам возможность судить о тех минимальных температурах, которые должны быть в восстановительной зоне правильно работающего газогенератора.

Скорость реакции $CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$ в правом направлении значительно больше, чем в левом, и, по исследованиям Рида и Уилера, при 850°С первая реакция протекает в 166 раз

быстрей, чем вторая. Кроме того, эта скорость реакции увеличивается с увеличением температуры. По данным Клемента, Адамса и Хескинса, скорость в правом направлении при увеличении температуры с 900 до 1000°С увеличивается в 10 раз, а при увеличении температуры с 1000 до 1100°С — в 6 раз.

Влияние времени контакта и температуры на процент образования CO из CO₂ было исследовано Клементом, Адамсом и Хескинсом. Исследование производилось пропусканием CO₂ через раскаленный слой топлива при определенных тем-



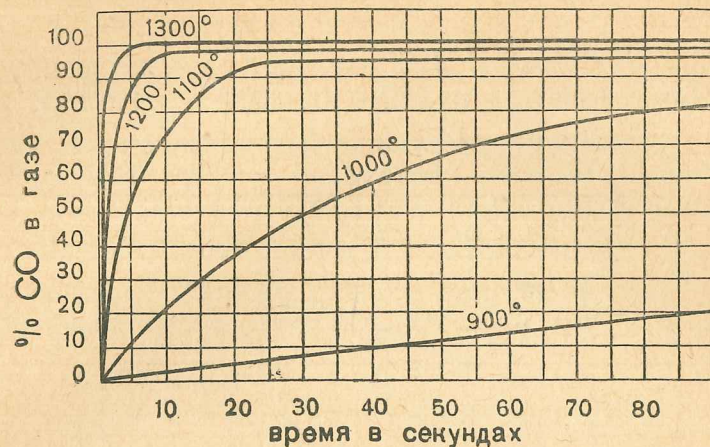
Фиг. 10. Кривая равновесия.

пературах и в течение определенного промежутка времени; при этом в каждом отдельном случае определялось количество CO, получающееся в результате реакции CO₂ с углеродом раскаленного топлива.

На фиг. 11 представлена зависимость процента образования CO от температуры и времени контакта газа с раскаленным коксом топлива. Из приведенных кривых видно, что чем меньше время контакта и ниже температура раскаленного кокса, тем меньше получается CO.

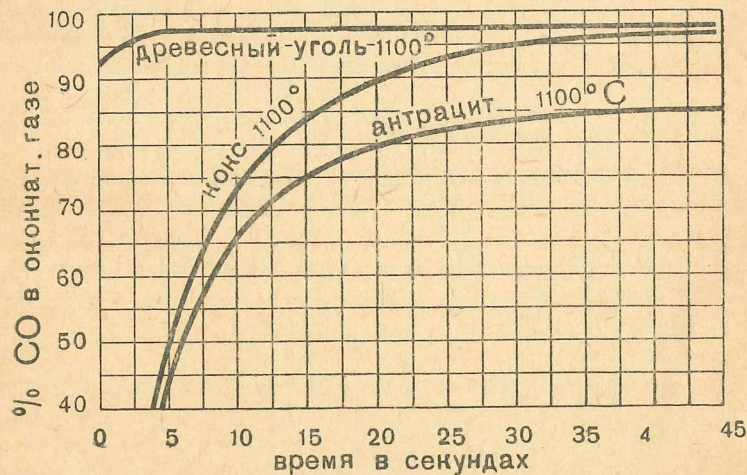
На фиг. 12 представлена зависимость процента образования CO от времени контакта, температуры и различных видов топлива. Из приведенных кривых видно, что на процент образования CO оказывает влияние не только время контакта, но и природа газифицируемого топлива. Если для древесного угля при 1100°С достаточно время контакта 5 сек., чтобы

получить максимальное количество CO, то для каменноугольного кокса требуется около 50 сек., а для антрацита еще больше.



Фиг. 11. Влияние температуры на скорость восстановления углекислоты.

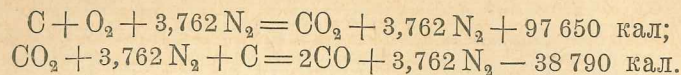
Аналогичные исследования были произведены Английским горным бюро, где процент выхода CO определялся в зависимости от температуры и природы топлива, при одном и том же времени контакта, равном 1 сек.



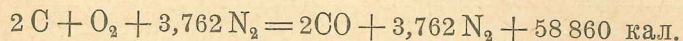
Фиг. 12. Восстановление углекислоты в зависимости от свойств топлива.

Результаты этих исследований приведены на фиг. 13, откуда можно заключить, что кокс и антрацит обладают сравнительно низкой восстановительной способностью.

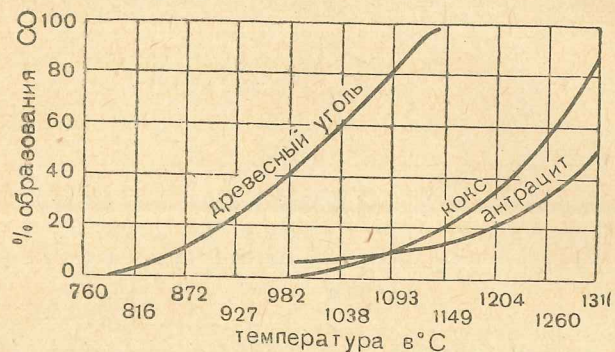
В действительных условиях работы газогенератора в зону окисления поступает не чистый кислород, а воздух, содержащий, кроме кислорода, еще азот. Поэтому реакции (11) и (12) с учетом азота воздуха переписываются в следующем виде:



Полученные выше две реакции можно представить в таком виде, как будто здесь происходит неполное горение углерода по следующей экзотермической реакции:



Это уравнение не отражает всех реакций, имеющих место в действительном процессе получения окиси углерода, но



Фиг. 13.

оно дает окончательный эффект в результате этих реакций. Полученный газ $2CO + 3,762 N_2$ является идеальным воздушным газом и носит название „газа Сименса“. Состав этого газа в объемных процентах будет следующий:

$$CO = \frac{2\,100}{2 + 3,762} = 34,7\% \text{ и } N_2 = \frac{3,762 \cdot 100}{2 + 3,762} = 65,3\%.$$

Этот газ будет иметь теплотворную способность, равную 1057 кал/м^3 .

Выход такого воздушного газа, состоящего из CO и N_2 , на 1 кг углерода будет равен:

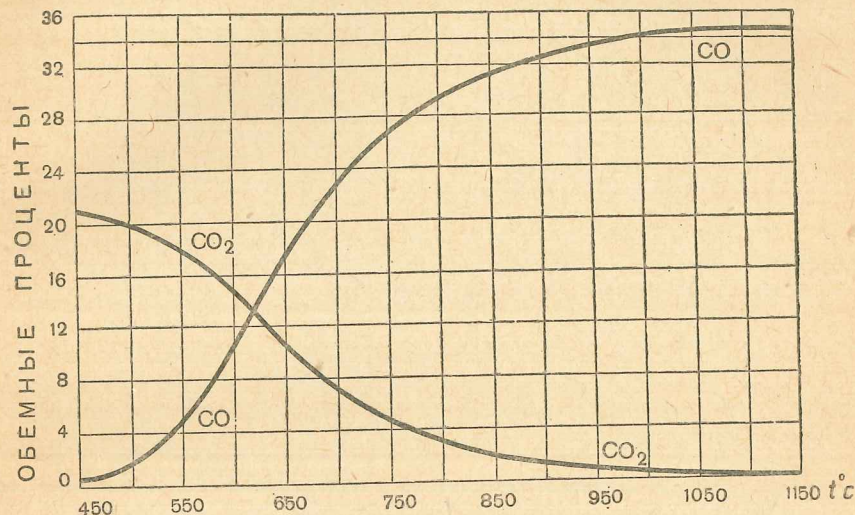
$$V = \frac{22,4 \cdot 5,762}{2,12} = 5,38 \text{ м}^3.$$

Теоретический к. п. д. получения воздушного газа (без учета физической теплоты газа) будет равен:

$$\eta_0 = \frac{5,38 \cdot 1\,057 \cdot 12 \cdot 100}{97\,650} = 0,7.$$

Вполне понятно, что при получении воздушного газа в газогенераторе этот к. п. д. будет ниже, так как CO_2 полностью не восстановится в CO и в действительных условиях будут различные потери тепла.

Воздушный газ имеет следующие недостатки: 1) низкая теплотворная способность, 2) низкий теоретический к. п. д. и 3) высокая температура в окислительной и восстановительной зонах, что вызывает плавление золы и зашлаковывание колосниковой решетки. Поэтому в настоящее время к воздуху, поступающему в газогенератор, добавляется известное коли-



Фиг. 14. Кривые Будуара.

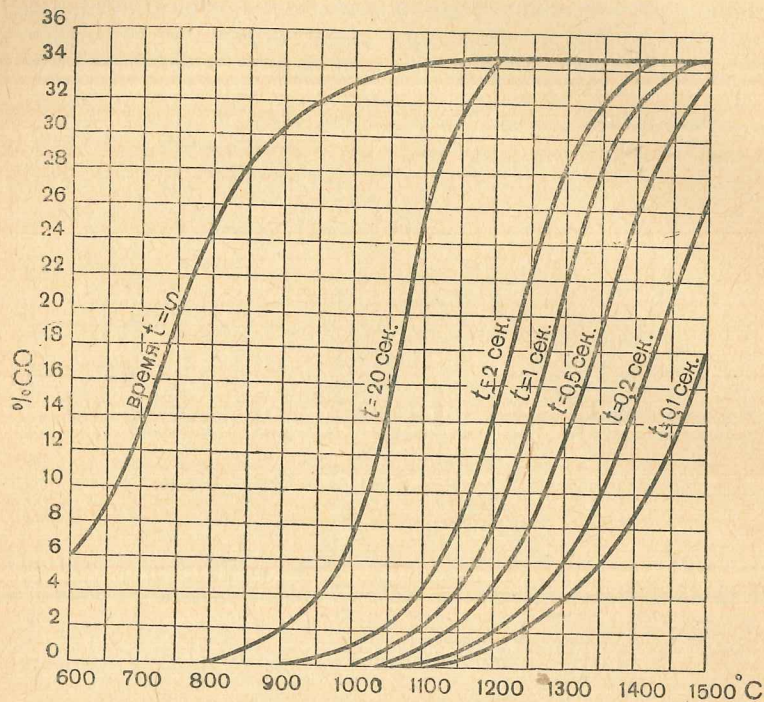
чество пара или для этой цели используют влагу, находящуюся в топливе. В последнем случае, при реакции водяного пара с углеродом, происходит использование высоких температур окислительной и восстановительной зон, в результате чего получается водород и дополнительное количество окиси углерода.

Протекание процесса образования воздушного газа в зависимости от температуры можно проследить по кривым Будуара, приведенным на фиг. 14, где по оси ординат указаны общие объемы для CO_2 и CO, а по оси абсцисс — температуры. Из приведенных кривых видно, что для получения воздушного газа с содержанием CO, равным 34,7%, температура в восстановительной зоне должна быть не ниже $1050^\circ C$.

Исследователи Клемент, Адамс и Хескинс производили опыты по восстановлению CO_2 в CO, при этом через раскаленный кокс пропускалась смесь из 21% CO_2 и 79% N_2 , которая представляет собой воздушный газ, полученный в резуль-

тате прохождения воздуха через окислительную зону газогенератора, причем кислород воздуха полностью прореагировал с углеродом топлива.

Полученные исследователями результаты приведены на фиг. 15, где дано представление о ходе реакции восстановления в зависимости от температуры и времени. Из приведенных кривых видно, что для полного восстановления CO_2



Фиг. 15.

в CO , при времени контакта, равном 0,5 и 1 сек., необходимо иметь в восстановительной зоне температуру 1450 — 1550°C.

Кроме температуры и времени контакта газа с топливом, на скорость восстановительной реакции также оказывает влияние присутствие каталитических добавок. По исследованиям Неймана и фон-Алена, наиболее сильное влияние на увеличение скорости реакции оказывают щелочные окислы, а наиболее слабое — колосниковая пыль и зола.

На основании исследования восстановительной реакции $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2\text{CO}$ можно сделать заключение, что для увеличения количества CO в газе необходимо иметь следующие условия:

- 1) высокую температуру в восстановительной зоне;
- 2) продолжительное время контакта газа с топливом;

3) увеличенную поверхность соприкосновения газа с топливом.

Высокая температура в восстановительной зоне газогенератора может быть получена за счет увеличения температуры в окислительной зоне, а последняя получается вследствие увеличенной скорости газификации.

Значительное повышение температуры газогенераторного процесса ведет к плавлению золы и к зашлаковыванию колосниковой решетки. Кроме того, с повышением температуры газификации увеличиваются потери тепла на лучеиспускание и конвекцию.

При больших скоростях газификации возможно произвести понижение температуры путем введения в зону восстановления водяных паров или CO_2 . Так как реакция последних с углеродом топлива протекает эндотермично, то некоторое количество тепла будет использовано на протекание этих реакций $\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{CO} + \text{H}_2$ и $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$, которое частично возвратится газу в виде потенциальной химической энергии H_2 и CO .

Продолжительность контакта газа с топливом может быть достигнута или уменьшением скорости процесса газификации или увеличением высоты восстановительной зоны.

Уменьшение скорости процесса газификации находится в противоречии с первым условием, а поэтому применение данного мероприятия является нежелательным. Из фиг. 15 видно, что увеличение температуры оказывает более сильное влияние на увеличенный выход CO , чем уменьшение скорости протекания газа.

Если при температуре 1250°C и при времени контакта 0,5 сек. количество получающейся CO будет равно 8%, то при увеличении времени контакта до 1 сек., т. е. уменьшении скорости газификации в 2 раза, — 15%; однако, этот же эффект достигается увеличением температуры только на 50°C, т. е. с 1250 до 1300°C.

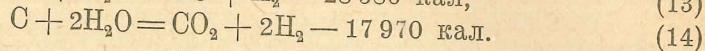
Увеличение высоты восстановительной зоны имеет два назначения: увеличить время контакта газа с топливом и создать некоторый запас тепла для осуществления эндотермических реакций.

Увеличивать зону восстановления с целью увеличения времени контакта является нерациональным, так как из вышеприведенного примера видно, что увеличение ее высоты в 2 раза соответствует повышению температуры реакций всего на 50°C в пределах 1250 — 1300°C.

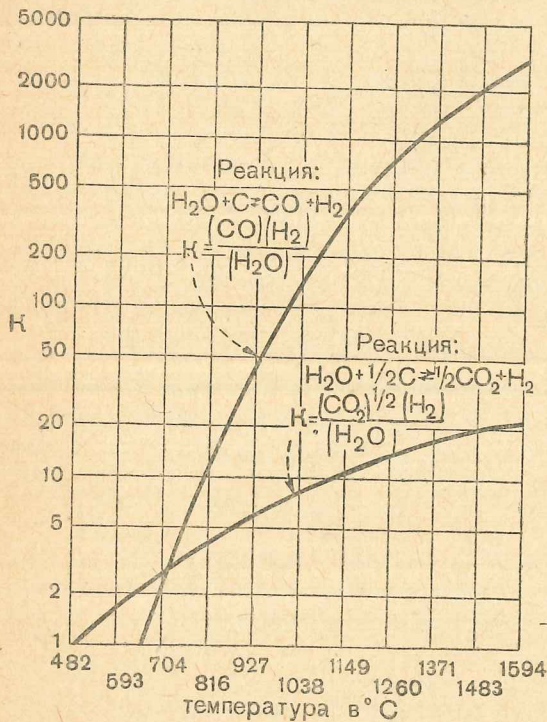
Для концентрации тепла в восстановительной зоне, чтобы температура в ней поддерживалась не ниже 1000 — 1100°C, высоту ее доводят до 300—350 мм; большая высота этой зоны ведет к увеличению высоты газогенератора; кроме того, в этом случае могут иметь место обратные реакции с выделением сажи и негорючих компонентов газа.

Увеличение поверхности реагирования газа с топливом может производиться за счет уменьшения размеров топлива. Но выше уже отмечалось, что размер топлива должен иметь определенные минимальные величины, в противном случае возрастает сопротивление газогенераторной установки, увеличиваются потери топлива через колосниковую решетку и вынос мелких частиц угля с газом.

Между раскаленным углеродом и водяным паром протекают следующие реакции:



Константы равновесий указанных реакций в зависимости от температуры, по данным Хаслама, Люиса и Рандалля, представлены в виде кривых на фиг. 16.



Фиг. 16.

Из приведенных кривых видно, что константа равновесия для реакции (13) при высоких температурах выше, чем для реакции (14), тогда как при низких температурах константа равновесия для реакции (14) гораздо выше, чем для реакции (13).

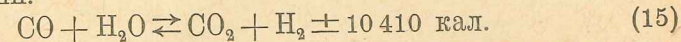
Скорость реакции (13) при температурах ниже 900°С идет настолько медленно, что практически ее можно считать несуществующей. Однако, при температурах выше 900°С эта реакция протекает сравнительно быстро. Например, если константу скорости этой реакции при-

нять равной единице, то скорость реакции $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$ будет равна 2,18, т. е. восстановление CO_2 углеродом данного вида произойдет приблизительно в 2,18 раз быстрее, чем восстановление паров воды в CO и H_2 тем же углеродом.

Скорость реакции (14) при температурах 400–900°С протекает быстрее по сравнению с реакцией (13). Например, если

константу скорости реакции (14) принять за единицу при температурах ниже 900°С, то константа скорости реакции $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$ будет равняться 2. При температурах выше 900°С скорости реакций (13) и (14) примерно равны, т. е. в 2,18 раз меньше, чем скорость восстановления CO_2 .

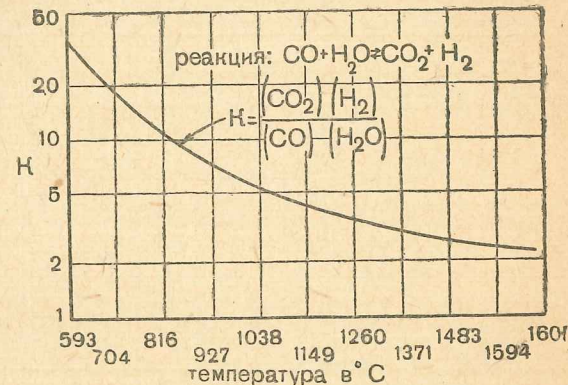
Кроме указанных реакций (13) и (14), окись углерода и водяной пар могут реагировать согласно следующей обратной реакции:



Константа равновесия этой реакции в зависимости от температуры, по данным Люиса и Рандалля, изображается кривой фиг. 17. Из приведенной кривой видно, что с увеличением температуры знаменатель константы будет также увеличиваться, следовательно, увеличивается пропорция CO в равновесной смеси, а избыток водяных паров будет стремиться уменьшить образование CO .

Скорость протекания реакции (15) при температурах выше 1500°С почти мгновенна, а при температурах ниже 900°С идет сравнительно медленно. При изменении температур от 900 до 1500°С, установившееся равновесие этой реакции изменяется очень медленно. Скорость этой реакции увеличивается в присутствии катализаторов, каковыми являются окислы железа.

Клемент, Адамс и Хескинс производили исследования взаимодействия водяного пара и раскаленного древесного угля при температуре 1100°С в зависимости от времени контакта. Результаты, полученные этими исследователями, приведены в табл. 27.



Фиг. 17.

Таблица 27

Время контакта в секундах	Объемный состав газа в %					% разложения пара
	H ₂ O	CO ₂	CO	H ₂	CN ⁴	
1,77	20,8	0,4	39,6	39,0	0,2	65,8
3,37	12,3	0,3	43,3	43,4	0,7	78,3
5,62	0,9	0,1	50,1	48,1	0,8	98,3
6,92	0,9	0,0	50,5	47,3	1,3	98,5

Произведенные этими же исследователями опыты о влиянии времени контакта и температуры на разложение водяного пара раскаленным коксом приведены в табл. 28.

Таблица 28

Температура	Время контакта в секундах	Объемный состав сухого газа в %					Объемный состав влажного газа в %					% разложения пара
		CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	Сумма	H ₂ O	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	
800	1,02	4,8	34,4	42,5	—	81,7	99,1	0,06	0,4	0,49	—	—
800	0,416	4,2	35,0	45,5	—	84,7	99,6	0,02	0,16	0,21	—	0,52
900	8,35	9,8	30,4	45,7	2,0	87,9	75,4	2,75	8,51	12,78	0,57	15,7
900	2,96	6,8	39,8	47,5	1,9	96,0	89,5	0,75	4,36	5,22	0,21	6,04
900	1,47	7,9	36,0	46,6	1,8	62,3	92,9	0,61	2,78	3,6	0,14	4,1
900	0,5	6,0	40,8	47,5	1,9	96,2	96,2	0,24	1,62	1,88	0,08	2,11
900	0,245	5,9	39,5	48,0	1,2	94,6	97,9	0,13	0,9	1,09	0,03	1,17
1000	6,98	13,6	28,6	49,3	2,6	94,1	69,8	4,38	9,16	15,8	0,84	20,2
1000	3,42	10,7	33,6	50,3	2,0	96,6	78,4	2,4	7,53	11,28	0,45	13,5
1000	2,64	9,6	35,1	48,4	1,9	95,0	81,3	1,89	6,92	9,56	0,37	11,45
1000	1,025	7,8	38,0	48,5	1,6	95,9	88,7	0,91	4,48	5,71	0,19	6,54
1000	0,244	7,1	39,0	48,1	1,9	96,1	96,4	0,27	1,47	1,81	0,08	2,02
1100	7,97	14,6	28,1	53,1	1,4	97,2	84,9	9,8	18,8	35,6	0,9	52,1
1100	1,97	12,8	28,9	51,2	1,5	94,4	67,6	4,4	9,92	7,6	0,51	21,75
1100	1,034	13,3	30,5	52,5	1,9	98,2	76,8	3,16	7,22	12,41	0,44	14,87
1100	0,259	13,3	30,4	53,1	1,4	98,2	92,0	1,09	2,48	4,32	0,11	4,76
1200	11,05	0,3	51,8	42,9	1,0	96,0	5,0	0,3	51,3	42,5	1,0	90,8
1200	4,48	0,6	52,1	43,1	1,2	97,0	17,0	0,5	44,6	37,0	0,9	71,3
1200	0,866	7,4	39,3	49,4	1,2	97,3	74,8	1,9	10,18	12,8	0,31	15,5
1200	0,377	3,6	46,3	47,0	1,9	98,8	83,0	0,62	8,0	8,11	0,32	9,79
1300	4,32	0,4	50,5	43,7	1,9	96,5	0,0	0,4	52,4	45,3	2,0	100
1300	1,245	0,3	49,5	45,8	1,9	97,6	17,4	0,3	41,9	38,8	1,6	70,9

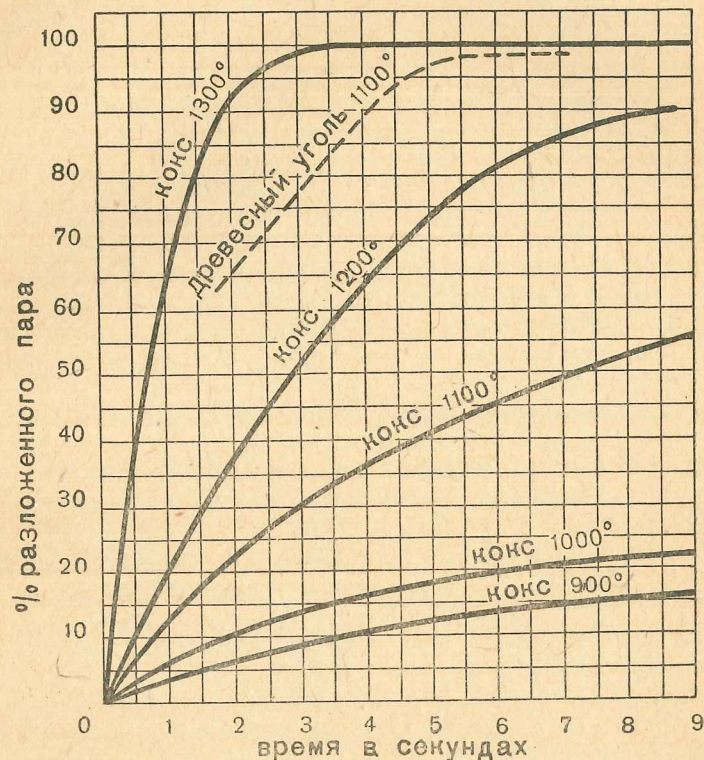
Опыты Гарриса, произведенные над взаимодействием водяного пара и раскаленного древесного угля в зависимости от температуры и относящиеся преимущественно к реакции (13), приведены в табл. 29.

Таблица 29

Температура в °С	Мощность газового потока, в л/мин.	Объемный состав газа в %			
		H ₂ O	CO	H ₂	CO
674	0,2	87,12	0,63	8,41	3,84
758	1,8	65,82	2,67	22,28	9,23
838	3,28	47,15	7,96	32,77	12,11
861	5,3	39,18	11,01	36,48	13,33
954	6,3	17,21	32,70	44,43	4,66
1010	1,15	3,12	48,20	47,30	1,45
1060	9,8	3,68	46,31	48,84	1,25
1125	11,3	0,30	48,34	50,73	0,60

Последовательность протекания реакций (13), (14) и (15) пока точно не установлена.

Зависимость процента разложения водяного пара от времени контакта, температуры и вида топлива представлена на фиг. 18. Из приведенных кривых видно, что глубина реакции между водяным паром и раскаленным углеродом, так же как



Фиг. 18.

и восстановление CO₂, в значительной степени зависит от времени контакта и температуры; кроме того, эти кривые указывают, что древесный уголь проявляет значительно большую активность, чем кокс.

Основные выводы, которые можно будет сделать о разложении водяного пара раскаленным углеродом на основании опытов, производимых Клементом, Адамсом, Хескинсом, Хасламом, Гаррисом и др. будут следующие:

1. В сухой смеси газа количество CO₂ увеличивается с температурой и продолжительностью времени контакта между 900 и 1100 °C от 6 до 15%, после чего содержание ее быстро уменьшается, снижаясь до десятых долей процента; для

1200°С это имеет место при времени контакта свыше 7 сек. и для 1300°С — при времени контакта меньше 1 сек.

2. Количество образующейся СО уменьшается с температурой и продолжительностью времени контакта между 900 и 1100°С от 40 до 28%; при 1200°С и более высоких температурах содержание ее быстро начинает увеличиваться до 50% и выше.

3. При температурах 900—1200°С отношение СО:СО₂ остается постоянным, пока неразложившийся водяной пар составляет менее 60%, после чего это отношение начинает быстро увеличиваться. Следовательно, основным фактором при определении СО₂, или отношения СО:СО₂, является влияние неразложившегося пара.

4. Количество образующегося Н₂ увеличивается с температурой и временем контакта между 900 и 1100°С до 53%, но не так быстро, как соответственно изменяются СО₂ и СО; при дальнейшем повышении температуры содержание Н₂ понижается.

5. Для полного разложения водяного пара необходимо иметь температуру для древесного угля 1100°С, а для кокса 1300°С. Кроме того, необходимо иметь продолжительность контакта от 3,5 до 5,5 сек.

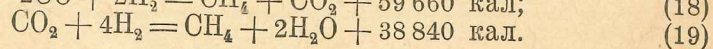
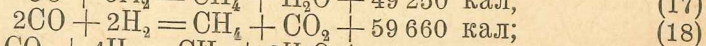
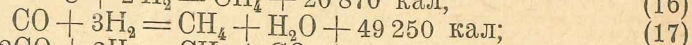
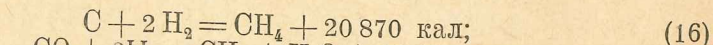
6. Температурный фактор в этом случае имеет большее значение, чем фактор времени, т. е. как и в случае восстановления СО₂. Степень разложения паров также зависит от поверхности соприкосновения, пористости и минеральных примесей в топливе.

Применяя эти выводы к условиям работы автотракторных газогенераторов, можно заключить, что влага топлива (при 15—20% влажности) полностью в газогенераторе разложена быть не может вследствие малого времени контакта газа с раскаленным углеродом топлива.

Температура сгорания в окислительной зоне газогенератора должна быть 1200—1300°С, чтобы возможно было разложить максимальное количество водяных паров и получить в газе незначительное количество СО₂.

Для увеличения времени контакта газа с раскаленным углеродом топлива необходимо высоту активной зоны проектировать возможно большую; при этом необходимо иметь в виду, чтобы при определенном запасе топлива высота газогенератора не выходила за габариты машины и не имели места обратные реакции.

Кроме указанных выше газов, в генераторном газе всегда находится метан, который может образоваться как в результате сухой перегонки топлива, так и в результате следующих реакций:



Образование метана по указанным реакциям некоторыми исследователями ставится под сомнение: они считают возможным образование метана только в результате сухой перегонки топлива. Однако, как мы видели в табл. 27 и 28, метан содержится в газе при всех температурах; кроме того, Рамбуш при исследовании состава газа в газогенераторах прямого процесса обнаружил метан в нижних частях газогенератора, где никаких продуктов сухой перегонки топлива существовать не может.

Равновесие этих обратимых реакций изучалось Майером и Альмайером. Полученные ими результаты приводятся ниже.

В табл. 30 приводится объемный состав газа в зависимости от температуры для реакции $C + 2H_2 \rightleftharpoons CH_4$.

Таблица 30

Температура в °С	Объемный состав газа в %		Температура в °С	Объемный состав газа в %	
	CH ₄	H ₂		CH ₄	H ₂
250	98,79	1,21	600	31,68	68,32
300	96,90	3,10	607	29,40	70,60
350	93,12	6,88	625	24,75	75,25
400	86,16	13,84	650	19,03	80,97
450	76,80	23,20	700	11,07	88,93
475	69,86	30,14	775	6,08	93,92
500	62,53	36,47	800	4,41	95,59
506	60,71	39,29	850	1,59	98,41
536	51,16	48,84	1000	0,5	99,5
550	46,69	53,31	1100	0,2	99,8
567	41,26	58,74	1150	0,1	99,9
577	38,22	61,78	—	—	—

В табл. 31 приводится объемный состав газа в зависимости от температуры для реакции $CO + 3H_2 \rightleftharpoons CH_4 + H_2O$.

Таблица 31

Температура в °С	Объемный состав газа в %			
	CO	H ₂	CH ₄	H ₂ O
427	2,79	8,37	44,43	44,43
527	8,13	24,39	33,73	33,73
627	15,74	47,22	18,51	18,51
727	21,42	64,26	7,17	7,17
827	23,81	71,43	2,38	2,38

В табл. 32 приводится объемный состав газа в зависимости от температуры для реакции $2\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4 + \text{CO}_2$.

Таблица 32

Температура в °С	Объемный состав газа в %			
	CO	H ₂	CO ₂	CH ₄
427	3,44	3,44	46,56	46,56
527	12,83	12,83	37,17	37,17
627	29,44	29,44	20,56	20,56
727	43,06	43,06	6,94	6,94
827	48,10	48,10	1,90	1,90

В табл. 33 приводится объемный состав газа в зависимости от температуры для реакции $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$.

Таблица 33

Температура в °С	Объемный состав газа в %			
	CO ₂	H ₂	CH ₄	H ₂ O
327	1,9	7,69	30,16	60,32
427	4,89	19,56	25,19	50,38
527	8,84	35,36	18,60	37,20
627	12,84	51,36	11,92	23,84
727	15,75	63,00	7,08	14,16
827	17,55	70,20	4,08	8,16

Сравнительно легко равновесие вышеприведенных реакций устанавливается в присутствии катализаторов. В условиях работы газогенератора таковыми могут быть металлические стенки и минеральные примеси топлива. Следовательно, условия равновесия этих реакций могут быть вполне применимы к условиям нормальной газификации, причем разница может быть только в скоростях протекания реакций.

Из приведенных таблиц видно, что с уменьшением температуры равновесие сдвигается вправо, а с повышением температуры — влево. Отсюда также видно, что наиболее благоприятными температурами для образования метана в газогенераторе являются 400—600°С.

При опрокинутом процессе газификации метан может образоваться в нижних слоях восстановительной зоны, где температуры имеют более низкие значения, чем в верхних слоях этой зоны. Кроме того, возможно, что образовавшийся метан в зоне сухой перегонки не успеет полностью разложиться в нижележащих зонах, так как скорость протекания газа

здесь имеет большую величину, а процесс разложения метана протекает весьма медленно, что особенно относится к реакции $\text{CH}_4 \rightleftharpoons 2\text{H}_2 + \text{C}$. Наконец, метан может образоваться по выходе из восстановительной зоны газогенератора в пространствах, имеющих соответствующие температуры. Большое количество метана в газе характеризует протекающий процесс газификации при невысоких температурах, что значительно уменьшает количество других горючих компонентов в газе.

Кроме метана, в генераторном газе могут находиться другие углеводороды, главным образом C_2H_4 и C_2H_2 , а также и сернистые соединения; но так как общее количество их исчисляется десятками долями процента, то их в газе не учитывают.

В результате процесса газификации твердого топлива в автотракторном газогенераторе получается генераторный газ, представляющий собой механическую смесь из горючих и негорючих газов. К горючим газам относятся CO, H₂ и CH₄; к негорючим газам относятся CO₂, O₂ и N₂.

Основными горючими компонентами газа являются CO и H₂, которые содержат в себе почти весь запас скрытой химической энергии, заключающейся в генераторном газе. Следовательно, при газификации твердого топлива необходимо стремиться к получению максимального количества этих компонентов газа.

Выше уже было отмечено, что CO и H₂ получаются в результате протекания эндотермических реакций (12), (13) и (14).

Эти реакции протекают с поглощением тепла; следовательно, для нормального протекания их необходимо иметь соответствующее количество тепла в газогенераторе.

Основным источником тепла в газогенераторе является экзотермическая реакция (11) горения углерода топлива.

Часть тепла, выделяющегося по этой реакции, расходуется на протекание эндотермических реакций (12), (13) и (14), а другая часть расходуется на нагрев газов и на всевозможные потери. Если расход тепла на протекание эндотермических реакций является рациональным, так как здесь теплота превращается в скрытую химическую энергию газа, которая в дальнейшем используется в двигателе, то расход тепла на нагрев газов и потери является нерациональным, так как это тепло в двигателе использовано быть не может. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы последняя часть тепла представляла минимальную величину.

Существует несколько способов уменьшения потери тепла в газогенераторе; изоляция камеры сгорания, подогрев воздуха и бункера газами, выходящими из камеры сгорания и т. п. Подогрев воздуха и бункера газами уменьшает потери тепла вследствие того, что в этом случае часть тепла вместе с воздухом и топливом возвращается опять в газогенератор.

Вышеприведенные реакции являются обратимыми, следовательно, при известных условиях они могут протекать и в обратном направлении, т. е. справа налево. Такое протекание этих реакций, главным образом, происходит при понижении температуры, т. е. при выходе газа из восстановительной зоны.

Это обстоятельство вполне согласуется с принципом Лешателле, который имеет следующую формулировку: „Всякое действие, производимое на равновесную систему, вызывает такое изменение состояния равновесия, которое оказывает сопротивление производимому действию“.

Следовательно, выделяющееся тепло при обратном течении указанных реакций будет как бы оказывать сопротивление понижению температуры среды, окружающей газ.

Если газ по выходе из восстановительной зоны быстро охладить до температуры 400—450°С, то течение обратных реакций не будет иметь места. Это мероприятие называется „закалкой газа“. Следовательно, при закалке газа потеря горючих компонентов CO и H₂ при обратных реакциях сведется к минимуму. Кроме того, в этом случае будут уменьшены потери тепла углерода, который выделяется в виде сажи и осаждается в зольниковом пространстве и трубопроводах.

Подвергать быстрому охлаждению газ выгодно не только с точки зрения устранения возможности протекания реакций (12), (13) и (14) в обратном направлении, но также и в целях сохранения CO и H₂ при образовании метана.

Поэтому при конструировании газогенератора необходимо предусмотреть, чтобы газ по выходе из восстановительной зоны возможно быстро охлаждался до температуры 400—450°С.

Для этого необходимо иметь минимальные объемы пространств, куда попадает газ по выходе из восстановительной зоны, а также интенсивное отнятие тепла от газов за счет подогрева воздуха и топлива.

Что касается негорючих компонентов: CO₂, O₂ и N₂, то их присутствие в газе может быть объяснено следующим:

Присутствие CO₂ в газе происходит по следующим причинам: 1) низкие температуры в активной зоне газогенератора, что увеличивает количество разлагаемого водяного пара по реакции (14); также при низких температурах будет происходить неполное восстановление CO₂ в CO; 2) большое содержание влаги в топливе, что также приводит к понижению температуры в активной зоне, а следовательно, и к указанным выше результатам; 3) большие скорости газификации, вследствие чего время контакта CO₂ с раскаленным углеродом топлива может быть недостаточным для полного восстановления CO₂ в CO.

Присутствие в газе O₂ происходит главным образом вследствие подсоса воздуха через неплотности соединений отдельных частей установки, а также если он не сможет прореаги-

ровать за недостатком времени или низкой температуры с углеродом топлива и другими окисляющимися веществами.

Присутствие в газе N₂ объясняется наличием его в воздухе, а также в незначительном количестве в топливе.

ТЕПЛОВЫЙ РАСЧЕТ ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Существующие методы расчета стационарных газогенераторов прямого процесса газификации (Грум-Гржимайло и Доброхотов) не могут быть применимы для расчета автотракторных газогенераторов, работающих по опрокинутому процессу.

При прямом процессе газификации, как уже упоминалось выше, генераторный газ состоит из компонентов основного газогенераторного процесса и продуктов сухой перегонки, так как последние не проходят через зоны высоких температур и находятся в газе в таком виде, в каком они были получены в бункере газогенератора.

При опрокинутом процессе газификации продукты сухой перегонки полностью проходят через зоны высоких температур, где часть из них окисляется кислородом поступающего в генератор воздуха, а часть разлагается на горючие компоненты газа.

В настоящее время отсутствуют какие-либо данные относительно количества сгорания и разложения продуктов сухой перегонки при опрокинутом процессе газификации. Следовательно, для расчета опрокинутого процесса газификации наиболее приемлемым можно считать метод баланса; задаваясь при этом составом сухого газа и рабочим составом топлива, можно будет точно определить основные величины, характеризующие процесс газификации.

Составом сухого газа задаются на основании имеющихся анализов, полученных при испытании различных газогенераторов; при этом выбирают газ, получаемый из газогенератора такой конструкции, которая в наибольшей степени соответствовала бы конструкции вновь проектируемого газогенератора.

Задаваясь объемным составом газа в процентах, будем иметь следующие количества отдельных составляющих:

Окиси углерода	CO%	(по объему)
Водорода	H ₂ %	»
Метана	CH ₄ %	»
Кислорода	O ₂ %	»
Углекислоты	CO ₂ %	»
Азота	N ₂ %	»

Всего . . 100% . . »

Так как кислород в газе получается за счет подсоса воздуха через неплотности соединений установки, то из состава

газа нужно вычесть количество воздуха, которое соответствует находящемуся в газе кислороду.

Средний состав газа, полученного из различных автотракторных газогенераторов, приводится в табл. 34.

Таблица 34

Газогенератор	Топливо	Объемный состав газа в %					
		CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂ ^T
Берлие	Дрова	19,5	16,3	2,5	9,8	1,7	50,2
Сагам	»	16,0	16,0	2,0	9,2	2,0	54,8
Кромаг	»	20,7	18,6	1,7	10,5	—	48,5
Декаленкова	»	15,4	12,2	2,6	9,5	4,2	56,1
НАТИ-3	»	18,4	16,4	3,0	11,4	0,6	50,5
Панар-Левассор	Древ. уголь	30,0	7,0	0,5	2,3	—	60,2
Барбье	»	17,0	15,0	4,0	2,0	2,0	60,0
Рекс	»	23,0	7,8	0,95	4,6	0,4	63,25
Наумова	»	28,6	2,1	2,3	5,2	0,5	61,3
ВНИДИ	Торф, кокс	22,0	7,7	1,4	4,7	0,7	63,5

Предназначенное для газификации твердое топливо имеет следующий элементарный состав:

Углерода	C ^o /o (по весу)
Водорода	H ₂ ^o /o »
Кислорода	O ₂ ^o /o »
Азота	N ₂ ^o /o »
Воды	H ₂ O ^o /o »
Зола	A ^o /o »

Всего . . . 1,00 кг

Вводя поправку Дюлонга (весь кислород топлива находится в соединении с водородом в виде H₂O), получим следующий расчетный элементарный состав топлива.

Углерода C	C ^{mo} /o (по весу)
Водорода H ₂ — 0,125 O ₂	H ₂ ^{mo} /o »
Азота N ₂	N ₂ ^{mo} /o »
Воды H ₂ O + 1,125 O ₂	(H ₂ O) ^{mo} /o »
Зола A	A ^{mo} /o »

Всего . . . 1,00 кг

Состав различных твердых топлив, в том числе и древесных, дается в разделе о топливе.

Теперь можно будет перейти к материалному и тепловому балансу процесса газификации твердого топлива. При этом весь расчет будет относиться к генераторному газу, взятому в количестве 100 кг-мол., так как это даст значительное упрощение при подсчетах.

Углерод. Пренебрегая ничтожным количеством углерода, поступающего в газогенератор вместе с воздухом, будем считать, что углерод газа получается только за счет углерода топлива.

Углерод топлива полностью на газификацию не используется, так как часть его проваливается через колосниковую решетку, а часть уносится с газом в очистители, где и осаждается. По данным исследований, произведенных Главдортрансом в 1929 г., потери углерода в автотракторном газогенераторе на провал в зольник и унос с газом составляют 3—4^o/o.

Обозначая эту потерю через C_y, получим количество углерода, использованного на газификацию, равным (C^T — C_y).

Количество углерода, содержащегося в 100 кг-мол. газа вышеприведенного состава, будет:

$$C_T = (CO_2 + CO + CH_4) \text{ кг-мол.} \quad (20)$$

Количество топлива, поступающего в газогенератор на каждые 100 кг-мол. газа, может быть определено из следующего выражения:

$$G_T = \frac{C}{C^T - C_Y} = \frac{CO_2 + CO + CH_4}{C^T - C_Y} \text{ кг-мол.,} \quad (21)$$

или в килограммах

$$G_T = \frac{12(CO_2 + CO + CH_4)}{C^T - C_Y} \text{ кг.} \quad (21')$$

На основании баланса углерода можно будет определить выход газа на 1 кг топлива, загруженного в газогенератор.

Так как атомный вес углерода равен 12, а объем 1 кг-мол. газа при 0°С и 760 мм рт. ст. равен 22,4 м³, то содержание углерода в 1 м³ газа будет:

$$\frac{12}{22,4} (CO_2 + CO + CH_4) \text{ кг/м}^3.$$

Отсюда можно определить выход газа при 0°С и 760 мм рт. ст. из 1 кг загруженного в газогенератор рабочего топлива:

$$V_T = \frac{186,7(C^T - C_Y)}{(CO_2 + CO + CH_4)} \text{ м}^3/\text{кг.} \quad (22)$$

Азот. Содержащийся в генераторном газе азот N₂^T получается за счет азота воздуха N₂^B и азота топлива N₂^T. Следовательно, общее количество азота в газе будет:

$$N_2^T = N_2^B + N_2^{T'};$$

тогда азот воздуха определится как разность:

$$N_2^B = N_2^T - N_2'^T;$$

Азот газа задается составом, а азот топлива, вводимый на 100 кг-мол. газа в генератор, может быть определен по формуле:

$$N_2'^T = \frac{G_T \cdot N_2^T}{28} \text{ кг-мол.}, \quad (23)$$

или в килограммах

$$N_2'^T = G_T N_2^T \text{ кг.} \quad (23')$$

Определив количество азота, полученного из воздуха, можно будет определить и количество расходуемого на газификацию воздуха, если учесть, что воздух состоит из 79 объемных частей азота и 21 объемной части кислорода.

Следовательно, для получения 100 кг-мол. генераторного газа необходимо в генератор подать следующее количество воздуха:

$$L = \frac{100}{79} N_2^B \text{ кг-мол.} \quad (24)$$

Для 1 кг газифицируемого топлива необходимо подать воздуха:

$$L = \frac{100 N_2^B}{79 G_T} \text{ кг-мол.} \quad (25)$$

Принимая молекулярный вес воздуха равным 28,95, это же количество воздуха в килограммах будет:

$$L = \frac{100 N_2^B}{79 G_T} 28,95 \text{ кг,} \quad (25')$$

а в кубометрах при 0°С и 760 мм рт. ст.

$$\frac{100 N_2^B}{79 G_T} 22,4 \text{ м}^3. \quad (25'')$$

Кислород. Содержащийся в газе кислород O_2^T получается за счет кислорода воздуха O_2^B , за счет воды Дюлонга и влажности топлива $O_2^{H_2O}$. Следовательно, общее количество кислорода в газе будет:

$$O_2^T = O_2^B + O_2^{H_2O}.$$

Кислород, содержащийся в 100 кг-мол. газа вышеприведенного состава, определится по формуле:

$$O_2^T = (CO_2 + 0,5 CO) \text{ кг-мол.}, \quad (26)$$

а количество кислорода, поступившего с воздухом:

$$O_2^B = \frac{21}{79} N_2^B \text{ кг-мол.} \quad (27)$$

Количество кислорода, полученного за счет воды Дюлонга и влажности топлива на 100 кг-мол. газа, определится по формуле:

$$O_2^{H_2O} = (CO_2 + 0,5 CO) - \frac{21}{79} N_2^B \text{ кг-мол.} \quad (28)$$

Водород. Содержащийся в газе водород H_2^T получается за счет свободного водорода топлива $H_2'^T$, за счет воды Дюлонга, влажности топлива и влажности воздуха. Потеря водорода с провалом через колосниковую решетку и с уносом в очистители весьма ничтожна, поэтому ею пренебрегаем. Следовательно, общее количество водорода в газе будет:

$$H_2^T = H_2'^T + H_2^{H_2O}.$$

Водород, содержащийся в 100 кг-мол. газа вышеприведенного состава, определится по формуле:

$$H_2^T = (H_2 + 2CH_4) \text{ кг-мол.} \quad (29)$$

Количество водорода топлива, приходящегося на 100 кг-мол. газа, определится по формуле:

$$H_2'^T = \frac{1}{2} G_T H_2^T \text{ кг-мол.} \quad (30)$$

Количество водорода, полученного за счет воды Дюлонга, влажности топлива и влажности воздуха на 100 кг-мол. газа, будет равно:

$$H_2^{H_2O} = (H_2 + 2CH_4) - \frac{G_T H_2^T}{2} \text{ кг-мол.} \quad (31)$$

Количество воды, необходимое для образования водорода на каждые 100 кг-мол. газа, будет равно количеству водорода, полученного в результате разложения этой воды, т. е.

$$W_{H_2} = H_2^{H_2O} \text{ кг-мол.} \quad (31')$$

Общее количество воды, вводимой в газогенератор, будет состоять из воды Дюлонга, влажности топлива и влажности воздуха:

$$G_{H_2O} = G_{H_2O}^T + G_{H_2O}^B,$$

где $G_{H_2O}^T$ — весовое количество воды Дюлонга и влажности топлива, вводимой в генератор на 100 кг-мол. газа;

$G_{H_2O}^B$ — весовое количество воды, поступающей с воздухом, вводимым в генератор на 100 кг-мол. газа.

Весовое количество воды Дюлонга и влажности топлива, вводимых в генератор на 100 кг-мол. газа, будет равно:

$$G_{H_2O}^T = G_T W_{H_2} \text{ кг.} \quad (32)$$

Весовое количество воды, поступающей с воздухом, вводимым в генератор на 100 кг-мол. газа, будет равно:

$$G_{H_2O}^B = 22,4 L b \alpha \text{ кг,} \quad (33)$$

где L — количество подаваемого в генератор воздуха, необходимого для получения 100 кг-мол. газа, в кг-мол.;

b — весовое количество воды, находящейся в 1 м³ насыщенного воздуха, при данной температуре и давлении, в кг (находится по таблицам);

α — степень насыщения воздуха (задается, а также может быть найдено для определенных атмосферных условий).

При расчетах, вследствие незначительности количества влаги, вносимой с воздухом, влажностью воздуха обычно пренебрегают, так как последняя от общей влаги, вносимой в газогенератор, составляет всего 0,5—1%.

Выше было отмечено, что на образование водорода затрачено W_{H_2} кг-мол. воды. Следовательно, весовое количество воды, перешедшей в газ в виде пара, будет:

$$G_{H_2O}^{пар} = G_{H_2O} - W_{H_2} \cdot 18 \text{ кг.} \quad (34)$$

Общий объем сухого газа и пара, т. е. влажного газа, выраженный в килограмм-молекулах, определится из формулы:

$$V_{вж} = 100 + \frac{G_{H_2O}^{пар}}{18} \text{ кг-мол.} \quad (35)$$

или в кубических метрах при 0°С и 760 мм рт. ст. формула имеет вид:

$$V_{вж} = \left(100 + \frac{G_{H_2O}^{пар}}{18} \right) 22,4 \text{ м}^3. \quad (35')$$

Весовое содержание влаги в 1 м³ влажного генераторного газа будет:

$$g = \frac{G_{H_2O}^{пар}}{18 \left(100 + \frac{G_{H_2O}^{пар}}{18} \right)} \text{ кг/м}^3. \quad (36)$$

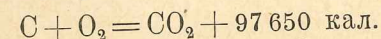
Определив основные величины, необходимые для материального баланса, можно будет перейти к балансу тепла в газогенераторе.

Тепловой баланс генераторного процесса производится по отдельным составляющим газа. При этом, в случае возможности получения отдельных газов по нескольким реакциям, принимается, что все количество данного газа образуется по одной какой-либо реакции.

Это не изменит теплового эффекта образования газа, так как, по закону Гесса, количество тепла, выделяющегося (или поглощающегося) при химических процессах, зависит только от начального или конечного состояния системы тел, участвовавших в этих процессах, а не от пути, каким система тел перешла из начального состояния в конечное.

Приходные статьи тепла определяются из следующих соображений.

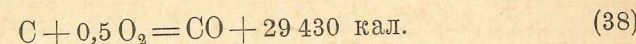
Углекислота. Выше уже отмечалось, что основным источником тепла в газогенераторе является экзотермическая реакция образования углекислоты:



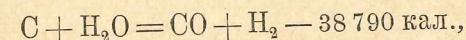
Следовательно, при образовании 1 кг-мол. углекислоты выделяется 97 650 кал. тепла. Если в 100 кг-мол. генераторного газа содержится CO_2 кг-мол. углекислоты, то количество выделившегося тепла будет:

$$Q_{CO_2} = 97\,650 CO_2 \text{ кал.} \quad (37)$$

Окись углерода. Принимаем образование окиси углерода по реакции:



При определении теплового эффекта нельзя учитывать всю окись углерода, находящуюся в 100 кг-мол. газа, так как часть ее образуется по реакции:



в которой образование этой части окиси углерода самостоятельно учитывается тепловым эффектом этой реакции.

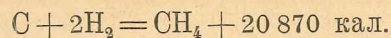
Из последней реакции видно, что число молекул образующейся по этой реакции окиси углерода равно числу молекул образовавшегося водорода. Следовательно, из имеющейся в генераторном газе окиси углерода нужно будет вычесть водород, образовавшийся за счет разложения воды, который может быть определен по формуле (31).

Тогда количество выделившегося тепла при образовании окиси углерода по реакции (38) определится по формуле:

$$Q_{CO} = 29\,430 (CO - H_2^{H_2O}) \text{ кал.} \quad (39)$$

Полученный по этой формуле тепловой эффект может быть также и отрицательным, что будет иметь место при малом содержании окиси углерода в газе.

Метан. Принимаем образование метана по реакции:



Следовательно, количество тепла, которое выделится при образовании CH_4 кг-мол. метана, определится по формуле:

$$Q_{CH_4} = 20\,870 CH_4 \text{ кал.} \quad (40)$$

Тепло на воду Дюлонга. При определении теплотворной способности клетчатки $C_6H_{10}O_5$ Штоман на основании шести произведенных опытов установил, что на каждую килограмм-молекулу воды Дюлонга выделяется 18 494 кал. тепла, получаемого за счет разложения клетчатки. Кроме того, Д. И. Менделеев на основании 79 точных анализов установил, что на каждую килограмм-молекулу воды Дюлонга выделяется 18 400 кал. тепла.

Принимая данные, полученные Менделеевым, определим количество тепла, выделяющегося на всю воду Дюлонга, по формуле:

$$Q_A = \frac{G_T \cdot O_2^r}{100 \cdot 18} 1,125 \cdot 18\,400 \text{ кал.} \quad (41)$$

или

$$Q_A = 11,5 G_T \cdot O_2^r \text{ кал.,} \quad (41')$$

где G_T — весовое количество топлива, определяемое по формуле (21');

O_2^r — процентное содержание кислорода в рабочем топливе.

Поправку на воду Дюлонга следует вводить только при тепловых расчетах газогенераторов, работающих на древесине, торфе, соломе и пр.

Тепло, внесенное с воздухом. Эта часть тепла представляет собой незначительную величину, если не имеется специального подогрева воздуха, поэтому данной величиной, без большой погрешности, можно пренебречь. Если же поступающий в газогенератор воздух специально подогревается, то эту часть тепла, вводимого в газогенератор, необходимо будет учесть.

Тепло, внесенное в генератор с воздухом, может быть определено по формуле:

$$Q_B = C_p L' t_B \text{ кал.,} \quad (42)$$

где C_p — молекулярная теплоемкость воздуха при постоянном давлении;

L' — количество воздуха (в кг-мол.) поступающего в генератор на 100 кг-мол. газа, которое может быть определено по формуле (24);

t_B — температура воздуха, поступающего в генератор.

Если в генератор вводится $G_{\text{пар}}$ кг-мол. пара, то количество тепла, внесенное с паром, может быть определено по аналогичной формуле:

$$Q_{\text{п}} = C_p G_{\text{п}} t_{\text{п}} \text{ кал.} \quad (43)$$

Температуры воздуха и пара, поступающих в газогенератор, желательно иметь наибольшими, так как в этом случае меньше израсходуется тепла генераторного процесса на их подогрев до температуры, имеющейся в камере сгорания. Однако, при подогреве воздуха и пара приходится считаться с конструктивными осложнениями установки; поэтому выбирают температуру подогрева такой, получение которой не было бы связано с значительными конструктивными осложнениями.

Тепло, внесенное с топливом. Эта часть тепла, вносимая в генератор, представляет собой незначительную величину и может быть определена по формуле:

$$Q_T = C_p G_T t_T \text{ кал.,} \quad (44)$$

где C_p — весовая теплоемкость топлива;

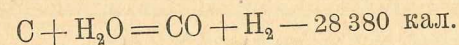
G_T — количество расходуемого топлива в кг на 100 кг-мол. газа;

t_T — температура поступающего в газогенератор топлива.

Обычно количеством тепла, внесенным в газогенератор с топливом, пренебрегают.

Теперь можно будет перейти к определению расходных статей тепла.

Образование водорода и разложение воды. Принимаем образование водорода по следующей эндотермической реакции:



Следовательно, при образовании 1 кг-мол. окиси углерода и водорода затрачивается 28 380 кал. тепла. Если в 100 кг-мол. генераторного газа содержится $H_2^{H_2O}$ кг-мол. водорода, то количество тепла, расходуемого при протекании этой реакции, может быть определено по следующей формуле:

$$Q_{(CO + H_2)} = 28\,380 H_2^{H_2O} \text{ кал.} \quad (45)$$

Испарение воды. Общее весовое количество воды Дюлонга и влажности топлива, вводимой в генератор на 100 кг-мол. газа, как указывалось выше, может быть определено по формуле (32).

Часть этой воды в генераторе будет разложена на окись углерода и водород, а часть ее испарится и выйдет из генератора вместе с газом. Так как в реакции разложения воды (13) тепловой эффект этой реакции учитывает, что вода поступает в виде пара, то вода, определяемая по формуле (32), должна быть полностью превращена в пар.

Следовательно, общее количество тепла, затраченного на процесс парообразования воды в газогенераторе на 100 кг-мол. газа, может быть определено по формуле:

$$Q_{H_2O} = \lambda G_{H_2O}^T \text{ кал.}, \quad (46)$$

где λ — полная теплота парообразования 1 кг воды, которая может быть принята равной 600 кал.

Конвекция и лучеиспускание. Эта потеря тепла не может быть теоретически точно подсчитана, так как при определении ее приходится основываться на целом ряде априорных заключений, большинство которых не подтверждено какими-либо экспериментальными исследованиями.

Основываясь на работах НАТИ и других научно-исследовательских институтов, эту потерю можно принять в пределах 8—15% от общего количества вводимого тепла. При этом меньшие значения будут для древесных газогенераторов, а большие — для древесноугольных газогенераторов.

Нагрев газа. Эта часть тепла представляет собой физическую теплоту, которая уносится выходящим из газогенератора газом.

Тепло, расходуемое на нагревание газа, является последней составляющей общего расхода тепла, поэтому может быть определено по разности между приходом и расходом. Определив тепло, идущее на физический нагрев газа, можно будет определить его температуру.

В том случае, если для идентичной конструкции газогенератора с проектируемым имеются достаточные экспериментальные данные по температуре выходящего газа из газогенератора, то можно будет задаться температурой газа, а потерю тепла на конвекцию и лучеиспускание определить как разность.

К.п.д. газогенератора. Отношение низшей теплотворной способности газа (H_u) к теплотворной способности топлива ($H_{топ}$), за счет которого получен этот газ, называется коэффициентом полезного действия газогенератора.

Следовательно, к.п.д. газогенератора может быть выражен формулой:

$$\eta_{ген} = \frac{V_r \cdot H_u}{H_{топ}}, \quad (47)$$

где V_r — выход газа из 1 кг топлива в м³ при 0° и 760 мм рт. ст. — определяется по формуле (22);

H_u — теплотворная способность 1 м³ газа при 0° и 760 мм рт. ст.;

$H_{топ}$ — теплотворная способность 1 кг топлива.

Теплотворная способность газа может быть определена как сумма произведений из теплотворных способностей отдельных газов на процентное содержание их.

Теплотворная способность при 0°С и 760 мм рт. ст., отнесенная к 1 м³, для отдельных компонентов газа будет:

$$\begin{aligned} \text{для CO} \dots H_u^{CO} &= 3\,045 \text{ кал/м}^3 \\ \text{„ H}_2 \dots H_u^{H_2} &= 2\,580 \text{ „} \\ \text{„ CH}_4 \dots H_u^{CH_4} &= 8\,590 \text{ „} \end{aligned}$$

Тогда теплотворная способность 1 м³ газа может быть определена по формуле:

$$H_u = 30,45CO + 25,8H_2 + 85,9CH_4 \text{ кал/м}^3. \quad (48)$$

Подставляя в формулу (47) значения для V_r и H_u , получим формулу к.п.д. газогенератора в таком виде:

$$\eta_{ген} = \frac{186,7 (C_r - C_v) (30,45CO + 25,8H_2 + 85,9CH_4)}{H_{топ} (CO_2 + CO + CH_4)}. \quad (47')$$

Теплотворная способность газифицируемого топлива ($H_{топ}$) может быть определена по вышеприведенным формулам.

КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ГАЗОГЕНЕРАТОРА

При определении конструктивных размеров газогенератора необходимо учесть, чтобы внешние габаритные размеры его не выходили из общих габаритов трактора или автомобиля.

Размеры бункера. Определение размеров бункеров производится из условия, что запас топлива в нем должен обеспечить работу автотракторного двигателя в течение 1,5—2,5 час. Вначале определяют объем бункера, после чего задаются площадью сечения или высотой его и определяют другую величину; также можно задаться и их отношением.

Объем бункера можно будет определить, исходя из часового расхода рабочей смеси, а также исходя из мощности двигателя и удельного расхода топлива.

Часовой расход рабочей смеси для четырехтактного двигателя может быть определен по формуле:

$$V_{см} = \frac{\pi D^2}{4} H \cdot \frac{i n \cdot 60}{2} \eta_v \text{ м}^3/\text{час}, \quad (49)$$

где D — диаметр цилиндра в м,

H — ход поршня в м,

i — число цилиндров,

n — число оборотов в минуту,

η_v — коэффициент подачи.

Здесь все величины для определенного двигателя известны, за исключением η_v , величина которого для газогенераторного двигателя может быть взята в пределах 0,75—0,85.

Эта рабочая смесь состоит из газа и воздуха, необходимого для сгорания. Действительное количество воздуха в куби-

ческих метрах, необходимого для сгорания газа определенного состава, может быть определено по формуле:

$$L = \alpha L_0 \text{ м}^3,$$

где α — коэффициент избытка воздуха, который может быть принят $\alpha = 1,1-1,25$;

L_0 — теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 м^3 газа.

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 м^3 газа определится по формуле:

$$L_0 = \frac{1}{21} [0,5 (\text{CO} + \text{H}_2) + 2\text{CH}_4 - \text{O}_2] \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (50)$$

Следовательно, часовой расход газа будет:

$$V_{\text{час}}^{\text{г}} = \frac{V_{\text{см}}}{1 + \alpha L_0} \text{ м}^3/\text{час}. \quad (51)$$

Поделив данное выражение на выход газа из 1 кг топлива, определяемого по формуле (22), получим расход топлива в течение 1 часа:

$$B = \frac{V_{\text{см}}}{(1 + \alpha L_0) V_{\text{г}}} \text{ кг/час}. \quad (52)$$

Тогда объем бункера можно будет определить по следующей формуле:

$$V_6 = \frac{BZ}{g} \text{ м}^3, \quad (53)$$

где Z — время непрерывной работы двигателя на одной загрузке топлива $Z = 1,5-2,5$ часа;

g — насыпной вес 1 м^3 топлива; для древесных воздушно-сухих чурок этот вес колеблется от 250 до 350 кг/м^3 , для древесного угля — от 120 до 200 кг/м^3 .

Часовой расход топлива также можно будет определить по формуле:

$$B = b N_e \text{ кг}, \quad (52')$$

где b — удельный расход топлива в кг/л.с.ч. , который для воздушно-сухих дров колеблется от 1 до $1,2 \text{ кг/л.с.ч.}$, для древесного угля — от $0,5$ до $0,6 \text{ кг/л.с.ч.}$;

N_e — эффективная мощность двигателя.

Подставив значение B в формулу (53), получим объем бункера равным:

$$V_6 = \frac{b N_e Z}{g} \text{ м}^3. \quad (53')$$

Если бункер имеет цилиндрическую форму (каковая применяется почти у всех газогенераторов), то, задавшись диа-

метром или высотой бункера, будем соответственно иметь высоту:

$$H_6 = 1,274 \frac{V_6}{D_6^2} \text{ м}, \quad (54)$$

а диаметр

$$D_6 = 1,129 \sqrt{\frac{V_6}{H_6}} \text{ м}, \quad (55)$$

где H_6 — высота бункера в м.

Размеры камеры сгорания. В камере сгорания протекает основной газогенераторный процесс, т. е. процесс горения и восстановления. Поэтому высота его и диаметр в месте подвода воздуха должны иметь такие размеры, при которых получался бы газ должного качества.

Высота камеры сгорания от места подвода воздуха до зольниковой решетки принимается от 250 до 500 мм ; эта величина носит название высоты активного слоя топлива.

Площадь поперечного сечения камеры сгорания в месте подвода воздуха может быть определена по формуле:

$$F = \frac{B}{q} \text{ м}^2, \quad (56)$$

где B — часовой расход топлива в кг , который может быть определен по формулам (52) и (52');

q — напряженность горения топлива в $\text{кг/м}^2/\text{час}$.

Напряженностью горения называется количество сжигаемого топлива в килограммах на 1 м^2 площади сечения в месте подвода воздуха в течение 1 часа. Напряженность горения оказывает значительное влияние на развивающиеся температуры в активной зоне, а следовательно, и на процесс газификации. Малая напряженность горения не может обеспечить полного разложения смол (в случае дров, торфа и др.), тогда как при большой напряженности диаметр камеры сгорания в месте подвода воздуха может получиться настолько малым, что подача в камеру сгорания топлива будет затруднена, вследствие чего процесс газификации нарушится.

На основании имеющегося опыта работы автотракторных газогенераторов величина напряженности горения может быть взята:

1) для газогенераторов, работающих на древесном топливе, $q = 600-1000 \text{ кг/м}^2/\text{час}$;

2) для газогенераторов, работающих на древесном угле, $q = 100-250 \text{ кг/м}^2/\text{час}$.

Причем большие значения берутся для топлива влажного и содержащего повышенное количество смолистых веществ, а меньшие — для сухого топлива и содержащего малое количество смолистых веществ.

Из формулы (55) можно будет определить диаметр камеры сгорания (при круглом сечении ее) в месте подвода воздуха по формуле:

$$D_R = 1,129 \sqrt{\frac{B}{q}} \text{ м.} \quad (57)$$

В табл. 35 даются характерные размеры камеры сгорания и напряженность зеркала горения некоторых газогенераторов.

Таблица 35

Газогенератор	Мощность двигателя на единице в л. с.	Сечение зеркала горения в м ²	Высота камеры сгорания в мм	Диаметр камеры сгорания в месте подвода воздуха в мм	Напряженность горения в кг/м ² час.	Топливо
Берлие	60	0,066	320	290	710	Дрова
НАТИ- II	80	0,064	310	285	975	»
НАТИ-III	30	0,029	365	192	900	»
Пионер Д-8	75	0,11	335	375	525	»
Сагам	20	0,049	370	250	490	»
Рекс	45	0,139	470	420	125	Древесн. уголь

Воздух, необходимый для газификации твердого топлива, поступает в газогенератор, главным образом, через специальные фурмы, которые располагаются равномерно по всей окружности камеры сгорания.

Часовой расход воздуха через фурмы в кубических метрах при 0° и 760 мм рт. ст. может быть определен по формуле:

$$L' = BL \text{ м}^3/\text{час}, \quad (58)$$

где B — часовой расход топлива в кг, определяемый по формулам (52) и (52');
 L' — количество воздуха в м³, необходимое для газификации 1 кг топлива и определяемое по формуле (25').

Действительный часовой расход воздуха через фурмы, отнесенный к соответствующей температуре и давлению, будет:

$$L_\phi = 3600 \frac{\pi D_\phi^2}{4} n v \text{ м}^3/\text{час}, \quad (59)$$

где D_ϕ — диаметр фурмы в м;

n — число фурм;

v — скорость выхода воздуха из фурм в м/сек.

Учитывая нагрев воздуха, поступающего в фурмы, и пренебрегая разностью давления между окружающей средой и в фурмах (в виду незначительности), формула (59) переписывается в следующем виде:

$$L_\phi = BL \frac{273 + t_B}{273} \text{ м}^3/\text{час}, \quad (59^1)$$

где t_B — температура воздуха, подводимого к фурмам.

Приравняв правые части уравнений (59) и (59¹), а затем решая полученное уравнение относительно D_ϕ , можно будет определить диаметр фурмы:

$$D_\phi = 1,138 \sqrt{\frac{BL}{\pi n} (273 + t_B)} \text{ мм.} \quad (60)$$

Число фурм n берется в пределах от 8 до 16, причем для камеры сгорания с большими диаметрами зеркала горения число фурм выбирается большее, а для камер сгорания с меньшими диаметрами — наоборот.

Скорость воздуха при выходе из фурм берется в пределах от 20 до 50 м/сек, причем большие значения берутся для камер сгорания с большими диаметрами зеркала горения и для топлив, содержащих смолистые вещества; меньшие значения берутся для камер сгорания с меньшими диаметрами зеркала горения и для топлив, которые не содержат смолистых веществ.

Размеры зольника. Зольниковое пространство одновременно является частично и газосборником (при опрокинутом процессе), поэтому желательно иметь его объем как можно меньшей величины, так как при больших объемах зольникового пространства время пребывания газа в газогенераторе увеличивается, что может вызвать течение обратных реакций, которые протекают при температурах выше 450°С.

С другой стороны, объем зольникового пространства должен иметь такие размеры, чтобы очистка его производилась один раз в сутки, т. е. примерно через 15—20 час. работы газогенератора.

Следовательно, при проектировании зольникового пространства необходимо давать ему такие размеры, которые должны строго соответствовать расчетным данным, полученным на основании продолжительности работы газогенератора без очистки зольника.

Если топливо содержит $A\%$ золы, то вес золы, получаемый из B кг топлива в течение t час., будет:

$$AtB \text{ кг.}$$

Так как зола и угольная пыль в зольнике располагаются в виде конуса, то необходимо ввести коэффициент запаса объема зольника α , который равен 1,5—1,7.

В зольнике, кроме золы, будет всегда находиться угольная пыль в количестве K кг на 1 кг золы; для дров и древесного угля $K = 0,18 - 0,20$.

Общий вес 1 м³ золы и угольной пыли γ можно принять равным $\gamma = 800 - 900$ кг/м³.

Следовательно, объем зольникового пространства может быть определен по формуле:

$$V_3 = \frac{At \alpha B}{100 \gamma (1 - K)} \text{ м}^3, \quad (61)$$

где A — зольность топлива в процентах;

t — количество часов работы газогенератора в сутки;

α — коэффициент запаса объема зольника;

B — часовой расход топлива в кг;

γ — общий вес 1 м³ золы и угольной пыли;

K — количество содержащегося в золе углерода.

В большинстве конструкций газогенераторов диаметр зольникового пространства равен диаметру газогенератора или диаметру нижнего кожуха. В таком случае остается только определить высоту зольникового пространства, которая и может быть определена из формулы (61).

Размеры газопроводов. Длина газопроводов определяется местом расположения отдельных частей газогенераторной установки и двигателя, что же касается сечений газопроводов, то они определяются расчетным путем.

По газопроводу в течение 1 часа, при температуре t перемещается следующее количество газа:

$$V = \frac{273 + t_r}{273} V_{\text{час}}^r \text{ м}^3/\text{час},$$

где $V_{\text{час}}^r$ — часовой расход газа двигателем в м³/час при 0° и 760 мм рт. ст., определяемый по формуле (51).

Это же количество газа при диаметре газопровода D_r и скорости движения газа v м/сек может быть определено по формуле:

$$V = 3600 \frac{\pi D_r^2}{4} v \text{ м}^3/\text{час}.$$

Из этих двух уравнений можно будет определить диаметр газопровода:

$$D_r = 1,138 \sqrt{\frac{V_{\text{час}}^r}{v} (273 + t_r)} \text{ мм}. \quad (62)$$

Скорость газа в газопроводах v берется в пределах от 15 до 30 м/сек, при этом большие значения берутся при коротких газопроводах, меньшие — при длинных.

ГЛАВА III

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАКТОРНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

Автотракторные газогенераторы в зависимости от способа ведения процесса газификации можно разделить на три группы:

1. Газогенераторы прямого процесса.
2. Газогенераторы горизонтального процесса.
3. Газогенераторы опрокинутого процесса.

ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА

Прямой процесс газификации в автотракторных газогенераторах не получил большого распространения. Причины этого были указаны выше.

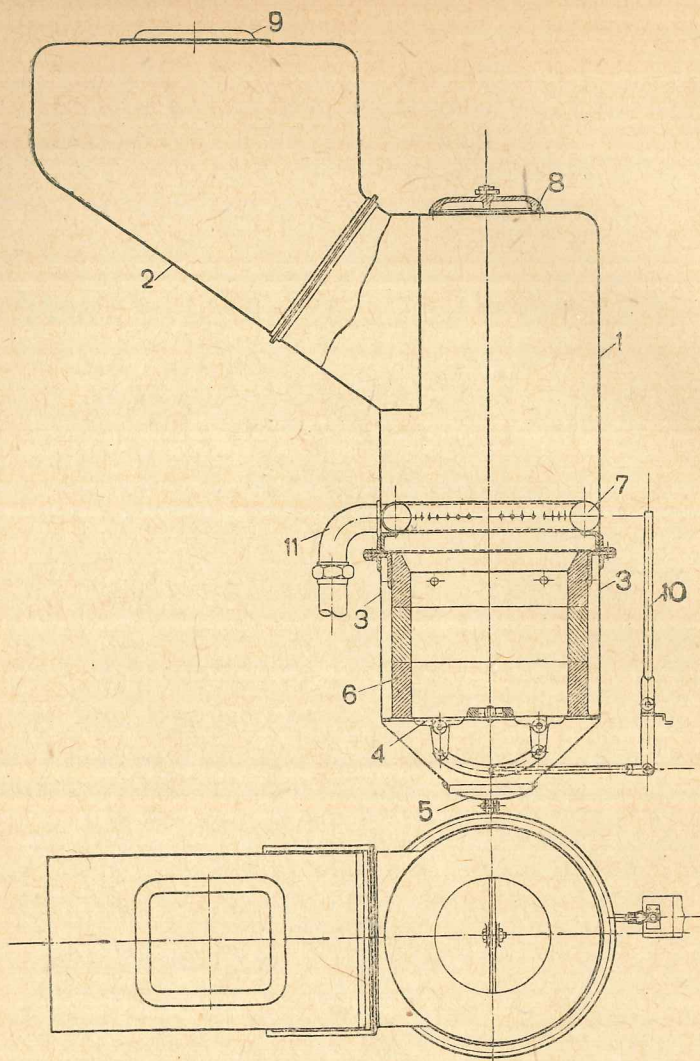
Газогенератор проф. Наумова. Газогенератор проф. Наумова (фиг. 19) предназначен для работы на древесном угле и без подачи воды. Этот газогенератор (У-6) установлен на грузовом автомобиле ГАЗ-АА.

Воздух подводится через отверстия 3 и, проходя между кожухом камеры сгорания и самой камерой 6, подогревается, откуда попадает под колосниковую решетку 4. Камера сгорания выполнена из трех шамотных колец.

Образующийся в камере сгорания газ поступает в газосборник 7, представляющий собой трубу диаметром 60 мм с отверстиями и согнутую в виде кольца. Затем газ из газогенератора отводится по трубопроводу 11.

Колосниковая решетка 4 состоит из трех колосников, из которых средний неподвижный, а два крайних могут встряхиваться при помощи рукоятки 10. Необходимость качающихся колосников вызвана тем, что в этом газогенераторе отсутствует подача воды, вследствие чего возможно зашлаковывание колосников.

Загрузка топлива производится через загрузочный люк 9, расположенный на дополнительном бункере 2. Дополнительный бункер увеличивает запас топлива почти в 2 раза: объем основного бункера 1 равен 0,11 м³, а дополнительного — 0,1 м³. Загрузка основного бункера может производиться через люк 8. Зола из газогенератора удаляется через зольниковый люк 5.



Фиг. 19.

ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПРОЦЕССА

В газогенераторах с горизонтальным процессом газификации можно газифицировать, так же как и при прямом, только топлива, не содержащие смолистых веществ.

Горизонтальный процесс, кроме движения потока газа, ничем не отличается от прямого процесса, поэтому все, что было сообщено выше о прямом процессе, можно полностью применить и к горизонтальному процессу.

Газогенератор Гоэн-Пулен. Загрузка бункера 1 газогенератора производится через люк 11. Воздух в газогенератор (фиг. 20) подводится через воздухоочиститель 9 и сопло 5, которое имеет двойные стенки для водяного охлаждения и отливается из меди. Охлаждение сопла производится при помощи трубок 7 и 8. Полученный газ отсасывается через трубу 10, перед которой расположена наклонно решетка 3, служащая для предварительной очистки газа от механических примесей. Зола собирается в зольниковом пространстве 4 и удаляется через люк 6. Несмотря на развивающиеся высокие температуры в камере сгорания 2, последняя не имеет футеровки, так как процесс газификации концентрируется в центральной части камеры сгорания, вследствие чего стенки в достаточной степени защищены от действия высоких температур самим топливом.

Газогенератор Гоэн-Пулен, по данным фирмы, может работать на древесном угле с примесью до 30% антрацита.

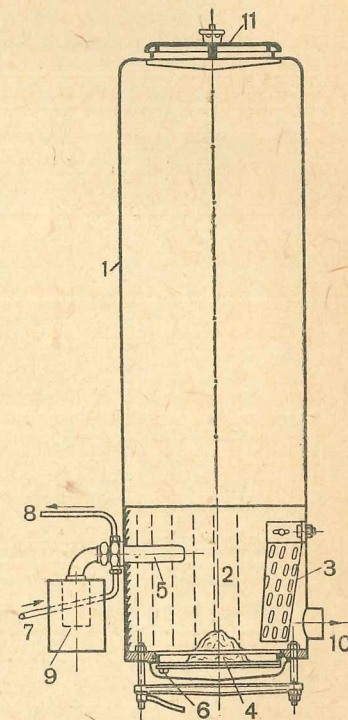
Описанный газогенератор, обслуживающий двигатель мощностью 25—30 л. с., весит всего 61 кг, при высоте 1 200 мм и диаметре 350 мм.

ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ ОПРОКИНУТОГО ПРОЦЕССА

Выше уже было отмечено, что опрокинутый процесс газификации в автотракторных газогенераторах нашел наибольшее применение по сравнению с другими процессами.

Основными причинами распространения газогенераторов с опрокинутым процессом являются: 1) возможность газификации топлива с содержанием смолистых веществ и получения бессмольного газа в компактной установке; 2) загрузка топлива в газогенератор может производиться во время работы двигателя и не требует сложных приспособлений; 3) возможность газификации в одном и том же газогенераторе различных родственных видов топлива; 4) отсутствие необходимости подачи воды в камеру сгорания.

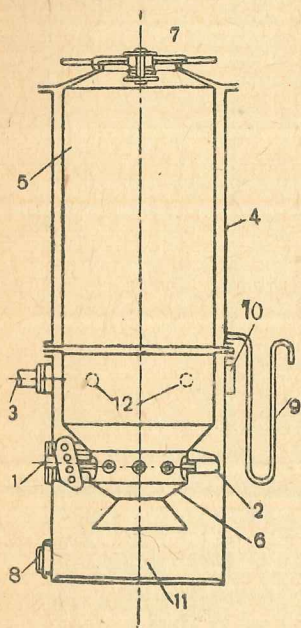
По опрокинутому процессу работают древесные и древесно-угольные газогенераторы.



Фиг. 20.

Древесные газогенераторы

Газогенератор Имберт. Существующие газогенераторы автотракторного типа могут газифицировать древесное топливо, которое содержит не выше 20% влажности. Инж. Имберт, по патенту которого фирма Берлие строит свои газогенераторы, предложил новую конструкцию газогенератора, в которой можно газифицировать древесное топливо повышенной влажности за счет отбора некоторой части влаги непосредственно из бункера газогенератора.



Фиг. 21.

Поступление воздуха происходит через патрубок 1, имеющий возвратный клапан. Воздух к каждой фурме подводится через специальные трубки 2, где происходит его подогрев. Колосниковой решетки в этом газогенераторе не имеется, очистка зольникового пространства 11 производится через зольниковый люк 8, причем вместе с золой приходится частично выгребать и уголь. Для увеличения времени соприкосновения газов с раскаленным углеродом производится засыпка древесного угля между камерой сгорания 6 и кожухом нижней части газогенератора.

Газ отбирается через патрубок 5, который выходит из кольцевого канала 10. В кольцевой канал газ из газового пространства попадает через отверстия 12, причем последние по мере удаления от выходного патрубка 5 увеличиваются в диаметре. Такой способ отбора газа из газогенератора дает возможность равномерного съема газа из камеры сгорания, что весьма благоприятно отзывается на равномерности процесса газификации.

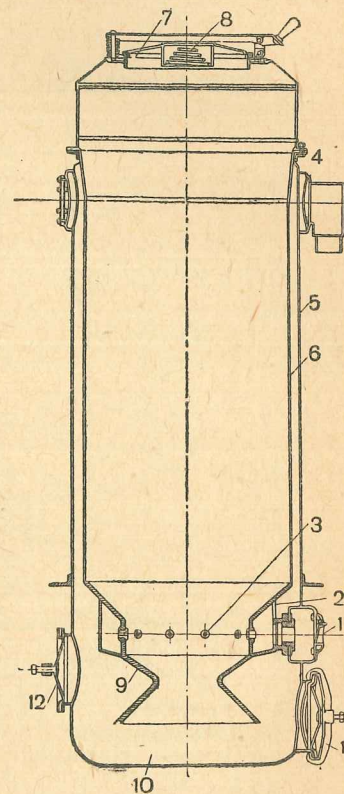
Загрузка топлива производится через загрузочный люк 7, который закрывается газонепроницаемой крышкой, имеющей предохранительный клапан.

Газогенератор ЗИС-13. Газогенератор ЗИС-13 (фиг. 22) предназначен для 3-тонного грузового автомобиля ЗИС-5. Газогенераторная установка с этим газогенератором постановлением СТО от 8 августа 1936 г. утверждена для серийного производства на 1936 г.

Газогенератор имеет цилиндрическую форму и состоит из наружного 5 и внутреннего 6 кожухов. В нижней части газогенератора находится камера сгорания 9, выполненная из литья жароупорной хромоникелевой стали, которая приварена к внутреннему кожуху. Внутренний кожух выполняется из хромоникелевой листовой стали, что делает его жаро- и кислотоупорным, так как он с внешней стороны омывается горячими газами, а внутренняя сторона соприкасается с продуктами сухой перегонки, содержащими в себе уксусную кислоту. Воздух поступает через патрубок 1, имеющий обратный клапан, и через воздушную коробку 2, по фурмам 3 проходит в зону окисления. Фурмы, в количестве десяти штук, диаметром 10 мм, расположены по окружности камеры сгорания на одинаковом расстоянии.

Газ по выходе из активной зоны поступает в кольцевое пространство между наружным и внутренним кожухами, где подогревает бункер, одновременно охлаждаясь, после чего отбирается из газогенератора через патрубок 4. Подогрев бункера оказывает весьма благоприятное влияние на процесс газификации, так как в этом случае процесс сухой перегонки будет протекать более интенсивно и закончится в более высоких слоях топлива, чем без подогрева.

Для загрузки топлива (древесина) имеется загрузочный люк 7, который плотно прикрывается крышкой с уплотнительным графитированным шнуром. Крышка прижимается посредством пружины 8 и прижимной планки; одновременно она выполняет роль предохранительного клапана — на случай повышения давления в газогенераторе.



Фиг. 22.

Колосниковой решетки в газогенераторе не имеется. Для очистки зольникового пространства 10 служит зольниковый люк 11. В нижнюю часть газогенератора через два люка 12 засыпается древесный уголь, который увеличивает восстановительную зону.

Газогенератор НАТИ Г-14. Газогенератор НАТИ Г-14 (фиг. 23) предназначен для 1 $\frac{1}{2}$ -тонного грузового автомобиля ГАЗ-АА. Газогенераторная установка с этим газогенератором постановлением СТО от 8 августа 1936 г. утверждена для серийного производства на 1936 г.

Газогенератор имеет цилиндрическую форму и состоит из двух кожухов — наружного 3 и внутреннего 4. К внутреннему кожуху, в нижней его части, приваривается камера сгорания 2, выполненная из жароупорной хромоникелевой стали отливкой. Камера сгорания имеет кольцевое пространство 7, в которое поступает воздух через воздушную коробку 1, имеющую возвратный клапан. Воздух из кольцевого пространства в зону горения газогенератора поступает через десять фурм диаметром 8 мм.

По выходе из активной зоны газ поступает в кольцевое пространство между внешним и внутренним кожухами, где происходит его частичное охлаждение и одновременно за счет теплоты газов подогревается древесное топливо в бункере. Отбор газа из газогенератора

происходит через патрубок 5. Выше патрубка отбора газа внутренний бункер, при помощи имеющегося фланца и болтового крепления, соединяется с верхней частью наружного бункера.

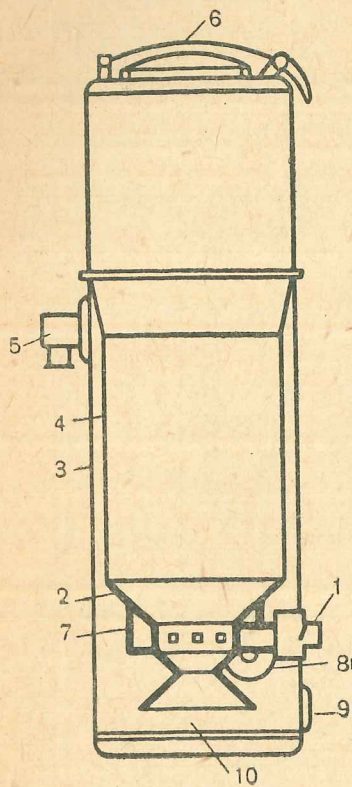
Загрузка топлива (древесина) производится через загрузочный люк 6, который герметически закрывается крышкой при помощи имеющейся рессорной пружины. В нижней части газогенератора находится зольниковое пространство 10, зольниковый люк 9 и люк 8 для засыпки углем пространства между камерой сгорания и внешним кожухом генератора.

Газогенератор НАТИ Г-13. Газогенератор НАТИ Г-13 (фиг. 24) предназначен для трактора ЧТЗ и состоит из нижней цилиндрической части диаметром 700 мм и бункера диа-

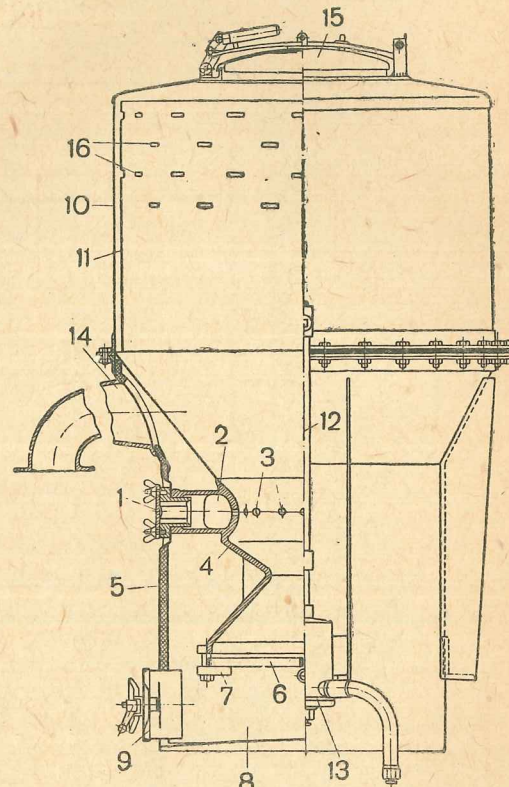
метром 865 мм. В нижней части газогенератора помещается камера сгорания 4, выполненная путем отливки из углеродистой стали и покрытая слоем алюминия по способу алитирования. В верхней части газогенератора (бункер) имеются внешний 10 и внутренний 11 кожухи. Внутренний кожух имеет целый ряд отверстий 16 для отвода парообразной влаги топлива в пространство между кожухами. Воздух поступает через отверстие 1 и попадает в кольцеобразное пространство 2 камеры сгорания, откуда через шестнадцать фурм 3 диаметром 10 мм поступает в зону окисления. Пройдя камеру сгорания, газ поворачивает и движется вверх, где подогревает нижнюю часть бункера и выходит через патрубок 14. Для уменьшения тепловых потерь нижняя часть газогенератора 5 имеет прослойку асбеста.

К нижней части камеры сгорания вплотную подходит колосниковая решетка 6, которая состоит из двух половин, причем правая половина неподвижная, а левая подвижная. Подвижная часть колосниковой решетки делается для очистки и может откидываться вокруг шарнира, находящегося в центре решетки. Для поддержания подвижной части решетки служат две собачки 7, которые при откидывании должны быть отведены в стороны. Очистка зольникового пространства 8 производится через зольниковый люк 9.

Влага, выделяющаяся из свежезагруженного топлива в виде пара, будет поступать в кольцевое пространство между кожухами 10 и 11, где, соприкасаясь с холодным кожухом 10, пар будет конденсироваться, а конденсат по трубке 12 будет удаляться в сборный бачок 13. Загрузка топлива в газогенератор производится через загрузочный люк 15, который герметически прикрывается крышкой.

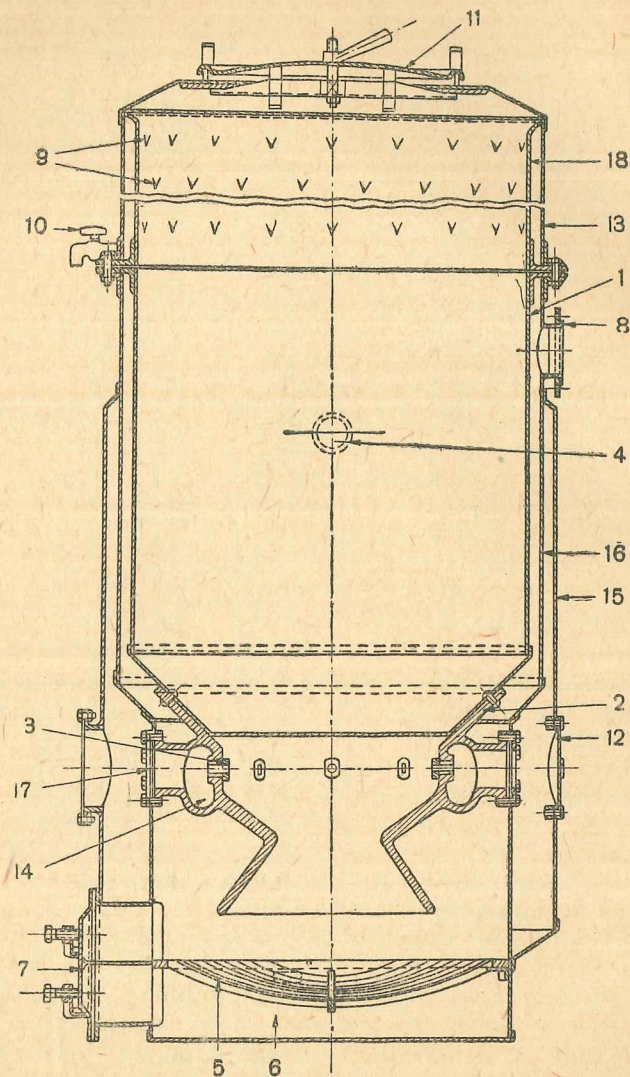


Фиг. 23.



Фиг. 24.

Газогенератор Вастан. Газогенератор Вастан (фиг. 25) предназначен для трактора ЧТЗ и рассчитан на газификацию древесного топлива повышенной влажности. Воздух для газификации



Фиг. 25.

подводится через два отверстия 4 и по кольцеобразному пространству между кожухами 15 и 16 направляется вниз. При движении вниз воздух подогревается за счет теплоты газа, движущегося по другую сторону кожуха 16. Подогретый воздух попадает через патрубки 17 в кольцеобразное

пространство 14 камеры сгорания 2, откуда по восьми фурмам 3 диаметром 12 мм поступает в зону окисления.

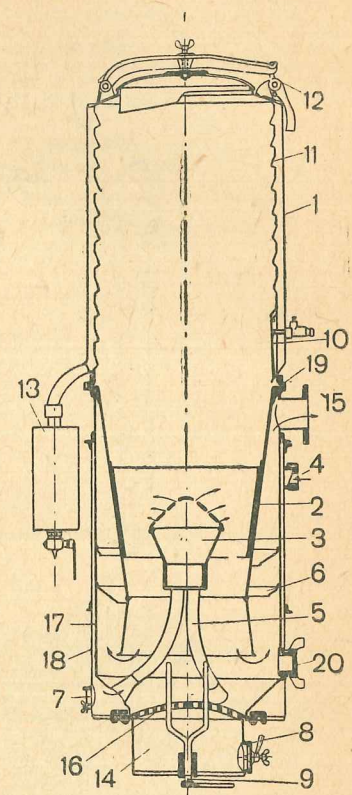
Полученный в камере сгорания газ движется вниз и, попадая в газовую коробку, меняет свое направление на 180° и идет вверх между кожухами 1 и 16, где, с одной стороны, подогревает топливо, находящееся в бункере, а с другой — воздух, поступающий на газификацию. Отбор газа из газогенератора происходит через патрубок 8. Камера сгорания 2 газогенератора выполнена в виде отливки из жароупорной стали.

Для удерживания топлива и освобождения древесного угля от золы и мелочи в нижней части газогенератора установлена колосниковая решетка 5, которая свободно лежит на приваренных к стенкам уголках. Для очистки зольникового пространства 6 и шуровки древесного угля, находящегося на колосниковой решетке, имеется зольниковый люк 7.

Верхняя часть газогенератора состоит из внешнего 15 и внутреннего 18 кожухов, причем внутренний кожух имеет отверстия 9, которые служат для отвода паров из бункера в кольцеобразное пространство между кожухами. Для спуска конденсата имеется кран 10. Загрузка топлива производится через загрузочный люк 11. Для розжига и наблюдения за горением служит смотровой люк 12.

Газогенератор Кромаг. Газогенератор Кромаг (фиг. 26) представляет собой цилиндр диаметром 550 мм и высотой 2070 мм. Этот газогенератор (указанных размеров) предназначен для питания газом двигателя мощностью 70—80 л. с. Особенностью газогенератора является подвод воздуха, необходимого для газификации, по центральному соплу (фурме) и наличие вращающейся колосниковой решетки.

Газогенератор Автодор-1. Газогенератор Автодор-1 (фиг. 27) предназначен для трактора ЧТЗ и имеет цилинд-

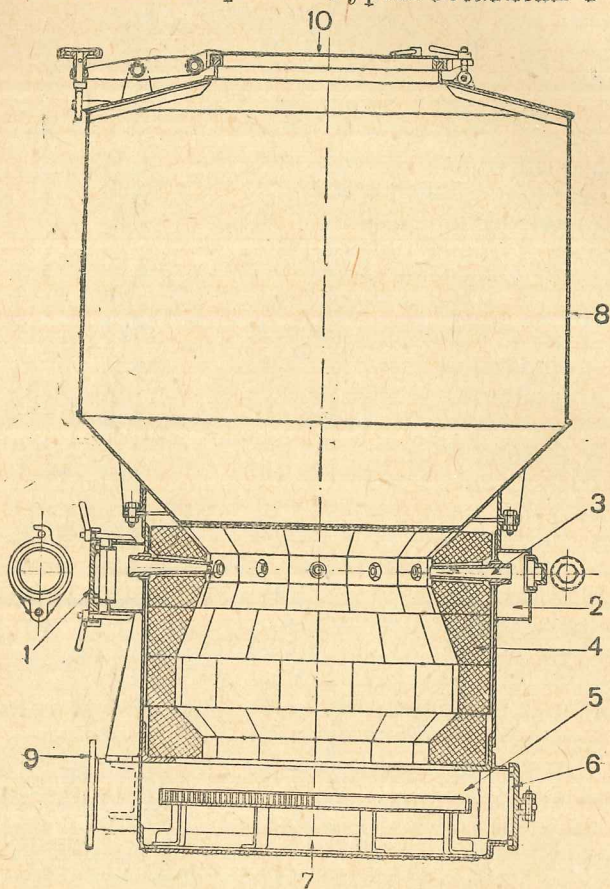


Фиг. 26. Газогенератор Кромаг:

1 — Внешний кожух; 2 — камера сгорания; 3 — центральное сопло; 4 — подвод воздуха; 5 — трубы, подводящие воздух к соплу; 6 — распределительные пластинки; 7 — люк для розжига газогенератора; 8 — зольниковый люк; 9 — рычаг для встряхивания колосниковой решетки; 10 — электрический указатель уровня топлива; 11 — внутренний кожух с отверстиями; 12 — крышка загрузочного люка; 13 — бачок для сбора конденсата; 14 — зольниковый люк; 15 — патрубок отбора газа; 16 — колосниковая решетка; 17 — кожух, разделяющий воздух и газ; 18 — кожух для подогрева воздуха; 19 — фланцевое соединение; 20 — смотровой люк.

дрический бункер 8, служащий для загрузки топлива, и нижнюю цилиндрическую часть меньшего диаметра, где происходит процесс газообразования.

Воздух подводится через два люка 1 и попадает в фурменный пояс 2, откуда по двенадцати фурмам 3 диаметром 15 мм поступает в зону окисления. Против каждой фурмы имеются специальные пробки. Фурмы вставлены в стенки на



Фиг. 27.

резьбе, для чего в кожух, охватывающий огнеупорную футеровку камеры сгорания 4, вварены втулки.

Камера сгорания на уровне фурм имеет диаметр 400 мм, а средняя часть ее уширяется до 500 мм; это делается в целях понижения скорости протекания газа. Нижняя часть камеры сужена до 400 мм, что устраняет течение газа у стенок и образование в центре холодного конуса.

Пройдя активную зону, газ подходит к колосниковой решетке 5 и отбирается через патрубок 9. Расположение от-

борного патрубка нельзя признать удачным, так как в трубопровод будет засасываться мелкий уголь и зола.

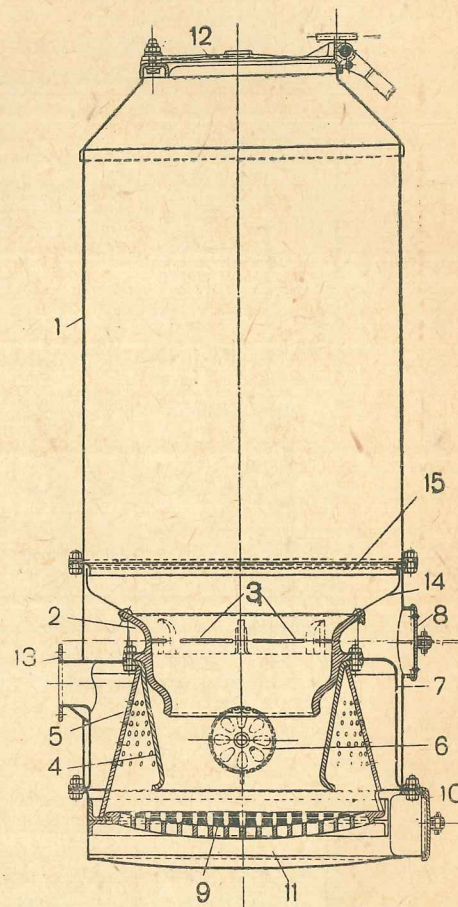
Загрузка топлива производится через загрузочный люк, плотно прикрываемый крышкой 10. Очистка зольникового пространства 7 от золы и мелочи производится через зольниковый люк, закрываемый крышкой 6.

Газогенератор Д-9. Газогенератор Д-9 (фиг. 28) предназначен для трактора ЧТЗ и 3-тонного автомобиля ЗИС-5.

Воздух всасывается через два отверстия 6, имеющие плоские заслонки, и, пройдя кольцеобразное пространство между кожухом и стенкой газовой коробки 7, где нагревается, поступает через щели 3 в зону окисления. Образовавшийся газ проходит через отверстия опорного конуса 5, являющегося грубым очистителем, а затем отбирается через патрубок 15.

Камера сгорания состоит из двух частей: чашки 2, выполненной из жароупорного чугуна, и горловины 4, выполненной из стали. Такая конструкция камеры сгорания устраняет появление трещин в нижней части (сталь), однако, трещины могут появиться в верхней части (чугун), около болтовых соединений, так как здесь жестко связаны два разных металла, имеющих различные коэффициенты расширения при нагревании. Кроме того, здесь не исключена возможность уменьшения сечения щели вследствие деформации чугуна.

Крышка загрузочного люка 12 выполнена без уплотняющего шва и имеет отверстия, служащие для выпуска пара и продуктов сухой перегонки во время остановки двигателя. Конус 14 служит для направления топлива в камеру сгорания, верхняя кромка его соединяется с бункером 1 при по-

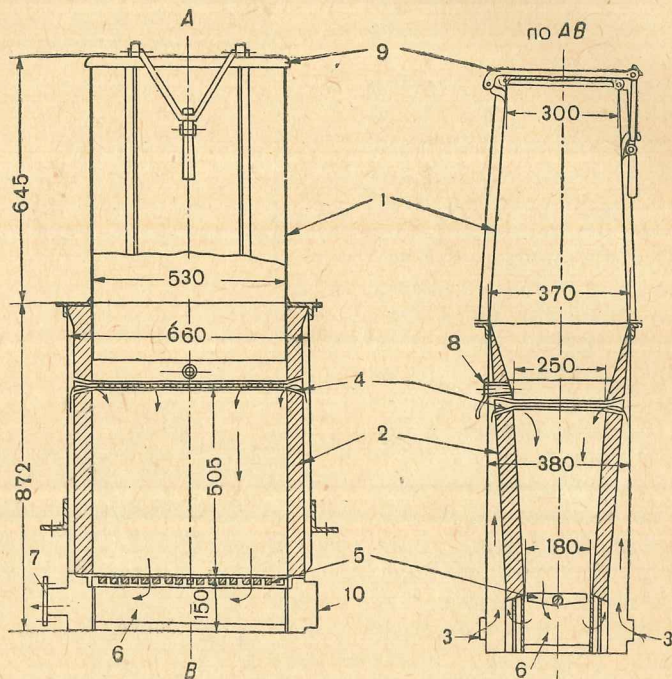


Фиг. 28.

мощи уплотняющего кольца 15 с асбестовой прокладкой, а нижняя приклепывается к верхней части крышки камеры сгорания.

Колосниковая решетка 9 выполнена из чугуна. Зольниковое пространство 11 очищается через плотно закрывающийся зольниковый люк 10. Для розжига и наблюдения за работой имеется смотровой люк 8.

Газогенератор Кузнецова. Газогенератор Кузнецова (фиг. 29), работающий на длинных дровах, предназначен



Фиг. 29.

для 1½-тонного автомобиля ГАЗ-АА и имеет прямоугольную форму. Бункер газогенератора 1 в нижней части имеет большую ширину, чем в верхней, что делается для более равномерного опускания дров. Камера сгорания 2 имеет обмуровку из шамотного кирпича

Воздух поступает через два отверстия 5 и направляется вверх между стенкой камеры сгорания и кожухом, где нагревается. Затем воздух проходит через щель 4 и поступает в зону окисления. Образовавшийся в активной зоне газ проходит через колосниковую решетку 9 в зольниковое пространство 6, откуда отбирается через патрубок 7.

Загрузка топлива (полуметровые поленья) происходит через загрузочный люк, плотно закрывающийся крышкой 9. Очистка

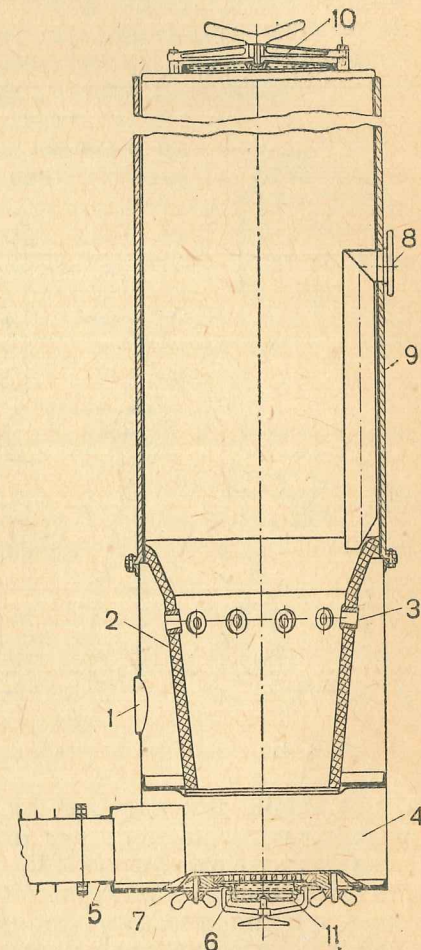
зольникового пространства от золы и угольной мелочи производится через зольниковый люк 10. Для розжига и наблюдения за работой газогенератора имеется смотровой люк 8.

Древесноугольные газогенераторы

Газогенератор проф. Карпова. Представленный на фиг. 30 газогенератор проф. Карпова предназначен для работы на древесном угле и имеет цилиндрическую форму диаметром 430 мм и высотой 2070 мм. Два таких газогенератора обслуживают двигатель „Геркулес“ УХС-90, установленный на грузовом автомобиле Я-5. Бункер 9 имеет тепловую изоляцию из асбестового шнура; в верхней части его находится загрузочный люк, плотно закрываемый крышкой 10. Камера сгорания 2 изготовлена из огнеупорной глины с асбестом толщиной 18 мм.

Воздух поступает через отверстие 1 и, подогреваясь между кожухом и камерой сгорания 2, через десять фурм 3 диаметром 22 мм проходит в зону окисления. Образовавшийся газ направляется вниз и через газосборник — зольник 4 поступает в отводящий патрубок 5. Для поддержания горения в газогенераторе во время остановки двигателя внутри бункера, вдоль стенки, устанавливается газовая труба 8 диаметром 38 мм, которая в верхней части снабжена заглушкой, открываемой при остановках двигателя.

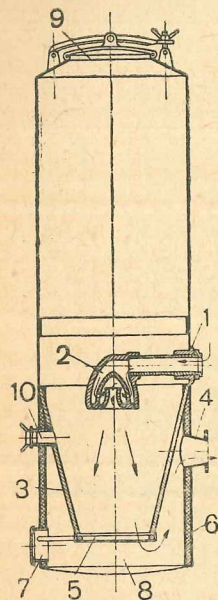
В нижней части газогенератора имеется оригинальной конструкции круглый двойной люк, служащий для розжига газогенератора и очистки зольникового пространства от золы и угольной мелочи. Люк имеет две крышки — малую и большую. При снятии малой крышки 11, которая крепится при помощи накидного траверса и прижимного болта, можно очистить колосниковую решетку 6 и произвести розжиг газогенератора.



Фиг. 30.

нератора. При снятии большой крышки 7, которая крепится при помощи четырех барашков, вместе с ней снимается малая крышка и колосниковая решетка и открывается все сечение люка для очистки.

Этот газогенератор не имеет присадки воды, но так как здесь осуществляется опрокинутый процесс газификации, то влага, находящаяся в топливе, вынуждена будет пройти через активную зону, где она будет разложена на горючие компоненты газа. Кроме того, в газогенераторах, работающих без присадки воды и по опрокинутому процессу газификации, количество неразложившейся углекислоты и водяных паров в газе будет содержаться значительно меньше, чем в газогенераторах



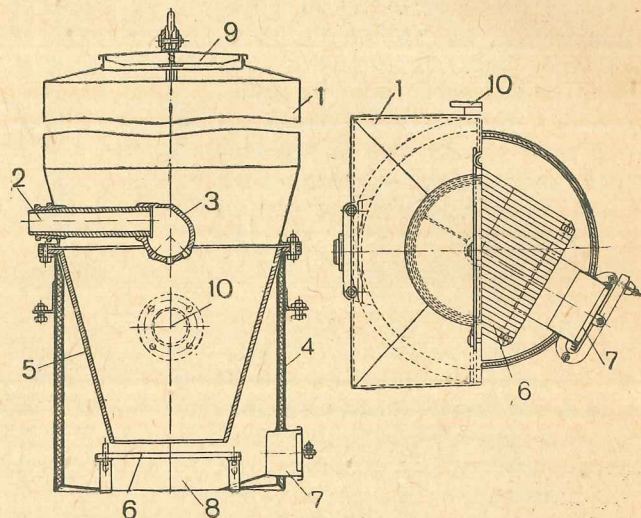
Фиг. 31.

с присадкой, так как в последнем случае часть тепла будет расходоваться на перегрев пара.

Газогенератор ЛИИ. Газогенератор Ленинградского индустриального института (ЛИИ), представленный на фиг. 31, имеет цилиндрическую форму диаметром 440 мм и высотой 1500 мм. Газогенератор цельносварной конструкции и предназначен для 1½-тонного грузового автомобиля ГАЗ-АА.

Воздух всасывается через отверстие 1, проходит по горизонтальной трубе и через центральное сопло, имеющее лабиринт, поступает в окислительную зону. Полученный газ проходит через колосниковую решетку 5 и отводится через патрубок 4.

В верхней части газогенератора имеется загрузочный люк, плотно закрываемый крышкой 9. Камера сгорания 3 выполнена в виде конуса из листовой стали толщиной 7 мм. Цен-



Фиг. 32.

тральное сопло 2 выполнено чугуновой отливкой. Колосниковая решетка 5 закреплена одним концом, что дает возможность встряхивать лежащее на ней топливо во время движения автомобиля.

Нижний кожух 6 для уменьшения тепловых потерь имеет асбестовую изоляцию.

Топливом для газогенератора служит древесный уголь, и работа его происходит без присадки воды. Зольниковое пространство 8 очищается от золы и угольной мелочи через зольниковый люк 7. Для розжига газогенератора имеется отверстие 10, закрываемое заглушкой.

Газогенератор НИТО-ЦНИИМЭ. На фиг. 32 представлен газогенератор для 3-тонного грузового автомобиля ЗИС-5, построенный бригадой Научно-инженерно-технического общества (НИТО) при Центральном научно-исследовательском институте механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ). Бункер газогенератора имеет прямоугольную форму, что сделано в целях увеличения количества загружаемого топлива. Топливом для газогенератора служит древесный уголь, процесс газификации которого протекает без присадки воды.

Воздух поступает в горизонтальную трубу 2, укрепленную в стенке бункера 1, затем через отверстия центрального сопла 5 проходит в окислительную зону. Образовавшийся газ направляется вниз камеры сгорания 3 и, пройдя колосниковую решетку 6, попадает в газосборник, откуда отбирается через патрубок 10.

Бункер имеет загрузочный люк, плотно закрываемый крышкой 9. Центральное сопло выполнено в виде чугуновой отливки. Камера сгорания выполнена из листовой стали толщиной 7 мм. Нижняя часть газогенератора имеет асбестовую изоляцию 4, которая выполнена в виде цилиндра.

Очистка зольникового пространства 8 производится через зольниковый люк 7.

ГЛАВА IV

ОХЛАЖДЕНИЕ И ОЧИСТКА ГАЗА

НЕОБХОДИМОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

Газ при выходе из восстановительной зоны имеет высокую температуру, которая колеблется от 700 до 800 °С. Охлаждение газа может происходить в самом газогенераторе за счет подогрева топлива и за счет подогрева воздуха, поступающего для газификации.

Однако, охлаждение газа в самом газогенераторе является недостаточным, так как при этом температура выходящего газа все же получается высокой (300 — 500°); поэтому в настоящее время большинство автотракторных газогенераторных установок имеет дополнительные приспособления для охлаждения газа, которые в некоторых случаях одновременно служат и для очистки.

Охлаждение газа до более низких температур необходимо для прекращения течения обратных реакций, увеличения удельного веса газа и удаления из газа влаги.

Обратные реакции могут протекать при температурах выше 400°, поэтому до этой температуры газ необходимо охлаждать возможно быстрее. При обратных реакциях часть горючих компонентов газа теряется, кроме того, происходит выделение углерода в виде сажи, загрязняющей трубопроводы.

Увеличение удельного веса газа необходимо в целях лучшего наполнения цилиндров двигателя рабочей смесью, так как при высоких температурах весовое количество газа уменьшается.

Так как при газификации, как правило, влага топлива не может быть полностью разложена, то часть ее в виде паров будет находиться в газе. Особенно большое количество влаги в газе наблюдается при газификации древесного топлива. Охлаждая газ до определенной температуры, часть находящейся в нем влаги можно сконденсировать.

Количество тепла, отводимого от газа через стенку в течение одного часа, может быть определено по формуле:

$$Q = KF(t_1 - t_2) \text{ кал/час,}$$

где K — коэффициент теплопередачи от газа воздуху в кал/м² час °С;

F — площадь охлаждения газа в м²;

t_1 — начальная температура газа в °С;

t_2 — конечная температура газа в °С.

Коэффициент теплопередачи от газа воздуху определяется из формулы:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}},$$

где α_1 — коэффициент теплопередачи от газа стенке в кал/м² час °С;

α_2 — коэффициент теплопередачи от стенки воздуху в кал/м² час °С;

δ — толщина стенки в м;

λ — коэффициент теплопроводности стенки в кал/м² час °С.

Коэффициенты α_1 и α_2 могут быть определены по формуле:

$$\alpha_1 = 2 + 10 \sqrt{v_g} \text{ и } \alpha_2 = 2 + 10 \sqrt{v_v},$$

где v_g — скорость движения газа в м/сек.,

v_v — скорость движения воздуха в м/сек.

Средние значения коэффициентов теплопроводности для различных материалов приводятся ниже.

Материал	Коэффициент теплопроводности в кал/м ² час °С	Материал	Коэффициент теплопроводности в кал/м ² час °С
Железо	40 — 60	Летучая зола . .	0,06
Красная медь . . .	260 — 340	Сажа	0,03
Латунь	70 — 90	Масло	0,1

Если площадь охлаждения неизвестна, то количество тепла, отводимого от газа в течение одного часа, можно будет определить по формуле:

$$Q = GC_p(t_1 - t_2),$$

где G — часовой расход газа в кг;

C_p — весовая теплоемкость газа при постоянном давлении;

t_1 — начальная температура газа;

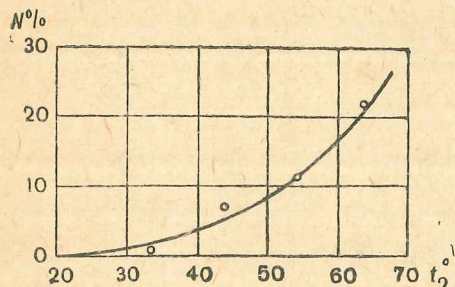
t_2 — конечная температура газа.

В том случае, когда площадь охлаждения выбрана из условий монтажа, то, приравнивая между собой два последних уравнения, можно будет определить конечную температуру газа.

При практических расчетах считают, что охлаждение газа должно производиться до температуры, превышающей температуру воздуха на 20—25 °С, так как при дальнейшем охлаждении габаритные размеры охладителей и их вес значительно увеличиваются.

На фиг. 33 представлена кривая зависимости падения мощности двигателя от температуры газа, замеряемой перед смесителем (около двигателя). Из приведенной кривой видно, что если падение мощности при температуре газа 20 °С принять равным нулю, то при температуре 50 °С потеря мощности будет составлять 9%, а при 70 °С — 30% и т. д. Следовательно, газогенераторную установку, в которой температура поступающего газа в двигатель будет выше 50°, можно признать нерациональной.

Уменьшение мощности двигателя при повышении температуры газа происходит за счет ухудшающегося наполнения двигателя, и за счет большого содержания водяных паров в газе.



Фиг. 33.

Количество водяных паров в 1 м³ газа при данной температуре и давлении может содержаться не больше вполне определенной величины. Если газ содержит максимальное количество влаги, то влажность его характеризуется как абсолютная и выражается величиной полного парциального давления водяного пара. В табл. 36 приводятся абсолютное содержание влаги в 1 м³ газа при различных температурах и при 760 мм рт. ст.

Если газ при данной температуре и давлении в единице объема не может содержать больше определенного количества водяных паров, то меньше этого количества содержание влаги в газе может быть любое. Это действительное содержание влаги в газе называется относительной влажностью, которая выражается в процентах от абсолютной влажности. Относительная влажность может быть определена по психрометру, или гигрометру.

При расчетах относительную влажность воздуха можно принять равной 0,5—0,65. Что же касается газа, поступающего к двигателю, то его влажность можно принять равной абсолютной, так как почти во всех установках происходит выделение влаги в охладителях или очистителях газа.

Температура, при которой начинается конденсация паров влаги из газа, называется точкой росы, т. е. в этом случае относительная влажность газа становится абсолютной. Точка росы для газа автотракторных газогенераторов зависит от

первоначального содержания влаги в газе и может колебаться от 40 до 80 °С, при этом меньшие значения она имеет для угольных, а большие — для древесных газогенераторов.

Содержание влаги в 1 м³ газа может быть также определено по формуле (36), а затем по табл. 36 определится и точка росы, т. е. температура, соответствующая содержанию данного количества влаги в 1 м³ газа, при условии полного его насыщения парами воды.

Так как теплотворные способности даются для сухого и приведенного к так называемым нормальным условиям газа, т. е. к температуре 0 °С и 760 мм рт. ст., то при всех тепловых расчетах необходимо полученный объем газа привести к этим условиям.

Таблица 36

Абсолютное содержание влаги в газе при разных температурах

Температура в °С	Давление паров, насыщающих пространство, в мм рт. ст.	Содержание пара		Температура в °С	Давление паров, насыщающих пространство, в мм рт. ст.	Содержание пара	
		в л/м³	в г/м³			в л/м³	в г/м³
— 10	2,15	2,8	2,25	33	37,73	49,0	39,8
— 5	3,16	4,1	3,30	34	39,90	52,2	42,0
0	4,58	6,0	4,82	35	42,17	55,2	44,4
5	6,54	8,6	6,96	36	44,56	54,2	46,9
10	9,21	12,1	9,60	37	47,06	61,8	49,5
15	12,79	16,8	13,40	38	49,69	65,5	52,7
16	13,63	18,0	14,40	39	52,44	69,0	55,2
17	14,53	19,2	15,40	40	55,32	72,5	58,3
18	15,47	20,4	16,40	41	58,44	76,5	61,6
19	16,47	21,6	17,40	42	61,50	80,8	64,8
20	17,53	23,0	18,40	43	64,80	85,0	68,3
21	18,65	24,6	19,60	44	68,26	89,0	72,0
22	19,83	26,2	21,00	45	71,88	94,5	76,0
23	21,00	27,7	22,20	46	75,65	99,5	80,0
24	22,38	29,6	23,60	47	79,60	104,5	83,5
25	23,76	31,2	25,00	48	83,71	110,0	88,3
26	25,21	33,3	26,50	49	88,02	116,0	92,8
27	26,74	35,2	28,00	50	92,51	122,0	98,0
28	28,34	37,5	30,0	60	149,38	196,0	158,0
29	30,04	39,6	31,8	70	233,70	308,0	248,0
30	31,82	42,0	33,5	80	355,10	466,0	376,0
31	33,70	44,5	35,5	90	525,76	690,0	556,0
32	35,66	47,0	37,5	100	760,00	1000,0	804,0

Объем сухого газа при 0 °С и 760 мм рт. ст. в зависимости от температуры, давления и упругости паров, насыщающих газ, может быть определен по формуле:

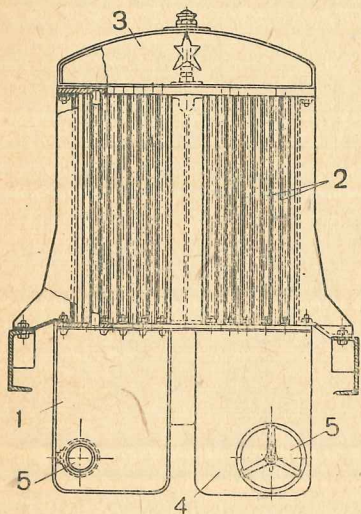
$$V_{\text{сух}} = V_{\text{вл}} \frac{P - W}{760} \cdot \frac{273}{273 + t'}$$

где $V_{в1}$ — объем влажного газа;
 P — давление газа в мм рт. ст.;
 W — упругость (давление) паров воды, насыщающих пространство, в мм рт. ст.;
 t — температура газа в °С.

КОНСТРУКЦИИ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ГАЗА

Охлаждение газа по выходе из газогенератора может происходить в специальных охладителях, в приборах, предназначенных для очистки, и соединительных трубопроводах.

На фиг. 34 представлен охладитель газа, устанавливаемый перед радиатором грузовика Я-5. Охладитель состоит из двух секций, каждая из которых имеет по девяти медных трубок диаметром 20 мм, расположенных в два ряда.



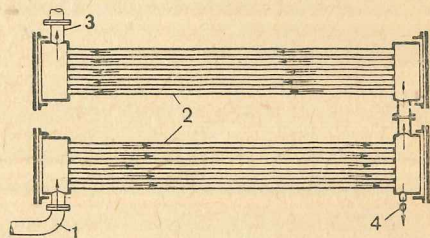
Фиг. 34.

Газ подходит по трубопроводу к левому карману 1, затем поднимается по левой секции трубок 2 в коллектор 5, откуда поступает в правую секцию трубок и в карман 4, где имеется патрубок для отбора газа. Лючки 5 предназначены для очистки охладителя от грязи.

В этом охладителе происходит не только охлаждение газа, но также и очистка его от механических примесей, оседающих на влажные стенки трубок.

На фиг. 35 представлен охладитель газогенераторной установки Автодор-2, установленный на автомобиле ГАЗ АА. Отдельные секции охладителя состоят из пяти плоских трубок сечением 145 × 10 мм, собранных в цилиндрические коробки. Обе секции охладителя подвешены на лонжеронах рамы под кузовом, на месте снятого запасного колеса.

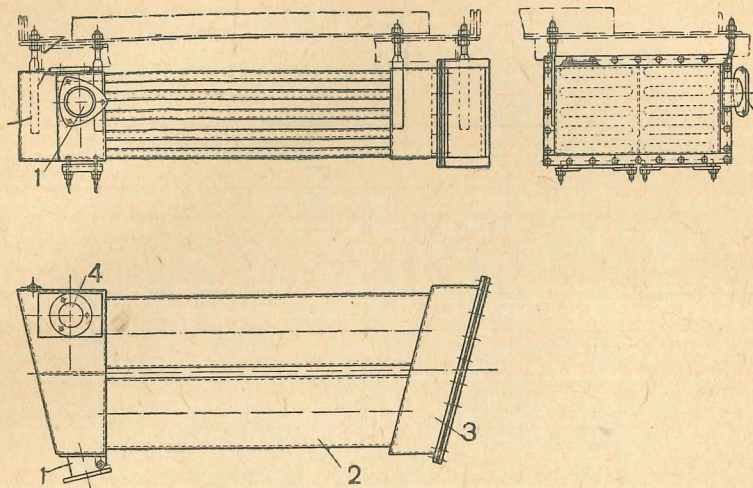
Газ поступает через патрубок 1 в цилиндрическую коробку, откуда проходит через первую секцию плоских трубок 2,



Фиг. 35.

затем поступает во вторую секцию и отводится через патрубок 3. Для спуска конденсата имеется пробка 4.

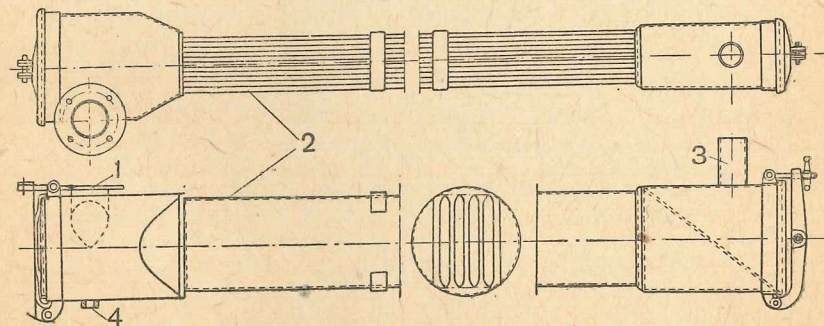
Охладитель НИТО-ЦНИИМЭ (фиг. 36) устанавливается на легковом автомобиле ГАЗ-А и состоит из двух секций по



Фиг. 36.

пяти плоских трубок в каждой. Охладитель располагается в задней части автомобиля, под кузовом.

Газ поступает через патрубок 1 и, проходя по первой секции труб 2, направляется в прямоугольную коробку 3, откуда через вторую секцию труб проходит к выходному патрубку 4.

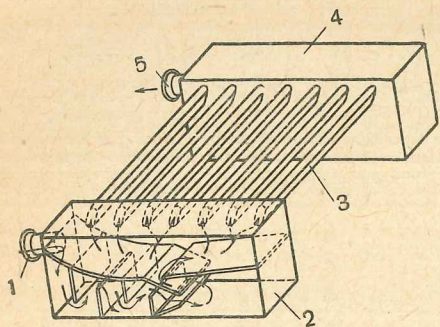


Фиг. 37.

Охладитель Д-10 (фиг. 37) предназначается для газогенераторной установки, монтируемой на автомобиле ЗИС-5. Охладитель состоит из круглой и прямоугольной коробок, в которые вварены четыре плоские трубы 2. Вход газа происходит через патрубок 1, а выход — через патрубок 3.

В круглой коробке имеется отверстие 4, служащее для спуска конденсата.

Монтаж этого охладителя производится под правой подножкой автомобиля, что нельзя признать правильным, так как воздух, движущийся под автомобилем, попадает на его торцевую поверхность, вследствие чего охлаждение плоских труб будет недостаточным.

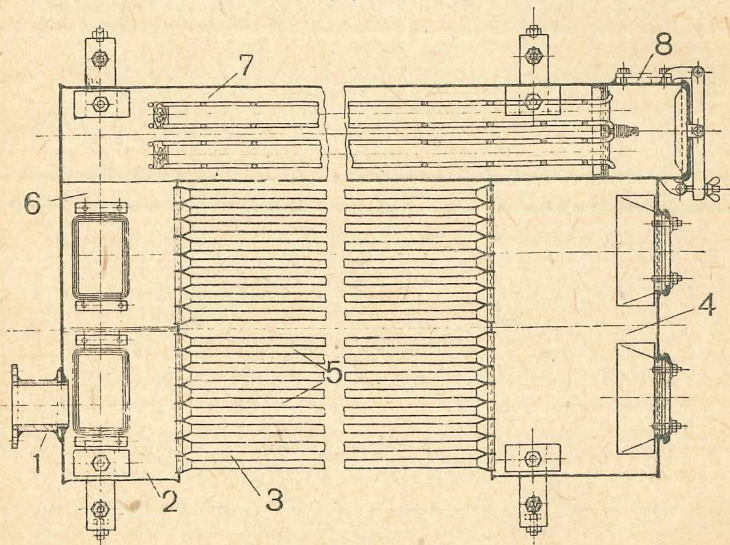


Фиг. 38.

В некоторых конструкциях газогенераторных установок охладитель газа монтируется в одном агрегате с очистителем.

На фиг. 38 представлен охладитель-очиститель конструкции инж. Кузнецова, который состоит из двух

прямоугольных коробок и семи плоских труб, длиной 1500 мм, с сечением 25 × 100 мм.



Фиг. 39.

Газ из газогенератора через патрубок 1 поступает в коробку 2, имеющую внутри целый ряд перегородок для очистки. Затем газ проходит трубы 3, попадает в коробку 4 и выходит через патрубок 5.

Располагается охладитель-очиститель сзади автомобиля, под кузовом.

Охладитель-очиститель НИТО-ЦНИИМЭ (фиг. 39) устанавливается на грузовом автомобиле ЗИС-5 и состоит из двух секций плоских труб, вваренных в коробки, и очистительного устройства. Монтаж охладителя-очистителя производится под кузовом автомобиля.

Газ поступает через патрубок 1 в камеру 2, откуда по первой секции трубок 3 направляется в коробку 4. Затем проходит вторую секцию труб 5 и, пройдя камеру 6 и очиститель 7, отбирается через патрубок 8.

Охлаждение газа также может производиться и в приборах, предназначенных для очистки газа. В этом случае очистительные устройства имеют большие наружные поверхности, вследствие чего одновременно с очисткой газ подвергается и охлаждению.

Однако, при таком охлаждении очистительные устройства принимают громоздкие размеры и трудно вписываются в габариты трактора или автомобиля. Кроме того, охлаждение газа при этом может быть весьма неравномерным, так как по мере отложения в очистителях сажи и других механических примесей теплопроводность от газа к воздуху будет ухудшаться.

В некоторых конструкциях газогенераторных установок трубопровод, соединяющий газогенератор с очистителем, выполняется в виде нескольких труб, чем и достигается хорошее охлаждение газа.

ОЧИСТКА ГАЗА

По выходе из газогенератора газ содержит в себе различные механические примеси, как-то: влага, смола, частицы угля, зола, сажа и др. В зависимости от вида применяемого топлива, его размеров, конструкции газогенератора, процесса газификации и др., состав и количество получаемых механических примесей будут различными.

Механические примеси при попадании в двигатель могут вызвать неисправность в его работе, поэтому на пути движения газа от газогенератора к двигателю ставят очистительные приспособления, улавливающие эти примеси.

Влага, оставшаяся в газе после его охлаждения, может быть удалена только при помощи химических поглотителей (серная кислота, глицерин, хлористый кальций и др.).

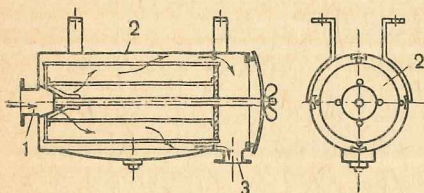
При работе газогенератора на древесном топливе в газе всегда содержатся смоляные пары. Исследовательских работ о влиянии смолистых веществ на работу двигателя не производилось; поэтому весьма трудно установить максимально допустимое количество смол в газе, не ухудшающих работу двигателя.

Допустимое содержание смолы в газе для стационарных газовых двигателей принимается 0,5 г на 1 м³ газа. По не-

скольким наблюдениям, проведенным Уральским научно-исследовательским лесным институтом, было установлено, что содержание смолистых примесей в газе 0,5 — 0,6 г на 1 м³ газа не оказывает вредного влияния на двигатель.

В стационарных газогенераторных установках удаление смолы из газа производится в специальных приспособлениях, имеющих большие размеры и требующих для приведения их в действие дополнительной мощности. В автотракторных газогенераторных установках такой способ является неприемлемым, так как на тракторе и автомобиле имеются очень ограниченные свободные площади и дополнительная затрата мощности уменьшит производительность этих машин.

Одним из радикальных способов борьбы с наличием смолы в газе является применение повышенных напряженностей горения топлива. Также благоприятные результаты могут быть получены при интенсивном подогреве топлива, вследствие чего в зоне сухой перегонки будут получаться более легкие смолистые фракции. Кроме того, для вышеуказанной цели можно увеличить время пребывания смолистых веществ в восстановительном слое топлива и пропускать газ через катализаторы.



Фиг. 40.

Содержание пыли (частицы угля, золы, сажи и др.) в 1 м³ очищенного газа в современных газогенераторных установках, по данным НАТИ, колеблется от 0,02 до 0,08 г/м³. Специальных исследований о влиянии пыли на износ двигателя не производилось, поэтому трудно точно указать допустимую величину загрязнения газа, но так как цифра 0,08 г/м³ была получена для очистителей весьма несовершенных, то необходимо приближаться к меньшей и считать допустимую загрязненность газа в 0,02 — 0,03 г/м³.

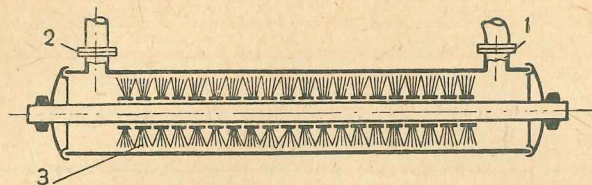
Существующие очистители, применяемые в автотракторных газогенераторных установках, можно подразделить на четыре группы: 1) поверхностные очистители, 2) сухие фильтры, 3) динамические очистители и 4) жидкостные очистители.

Тонкие очистители газа имеют газогенераторные установки ЗИС-13 и НАТИ Г-14.

На фиг. 40 представлен поверхностный очиститель газа для установки инж. Кузнецова. Грубая очистка газа в этой установке происходит в коробке 2 (см. фиг. 38). Газ входит по патрубку 1, (фиг. 40) и, пройдя через фильтрующий материал 2 (морская трава), отбирается через патрубок 3.

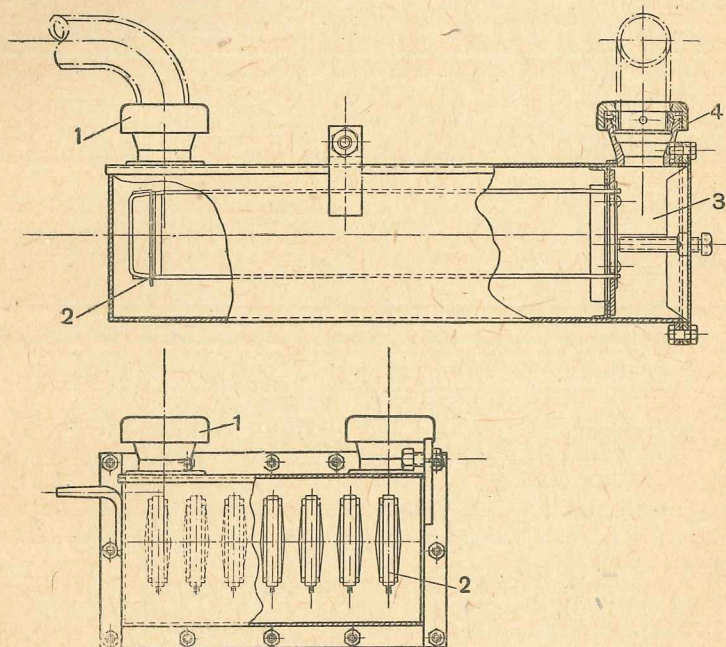
Одна секция очистителя газогенераторных установок Д-6, Д-9 и Д-10 представлена на фиг. 41. Этот поверхностный очиститель представляет собой цилиндр с двумя крышками,

внутри которого имеются ершики из металлических проволочек 5. Газ поступает по патрубку 1 и, проходя через ершики, отбирается по патрубку 2.



Фиг. 41.

При конденсации влаги в этих очистителях (они являются и охладителями) очистка газа получается значительно лучше, так как оседающая на проволочках жидкость способствует прилипанию частиц пыли, находящейся в газе.



Фиг. 42.

На тракторе ЧТЗ таких секций устанавливается пять, на автомобиле ЗИС-5 — три и на автомобиле ГАЗ-АА — две.

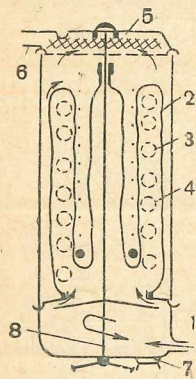
Очиститель-фильтр НИТО-ЦНИИМЭ для газогенераторной установки на легковом автомобиле ГАЗ-А представлен на фиг. 42. Газ поступает через патрубок 1, проходит через семь фланелевых прямоугольных фильтров 2, натянутых на проволоочные каркасы, и через камеру 3 отводится при

помощи патрубка 4. Оседающая на фланелевых фильтрах пыль при движении автомобиля стряхивается и собирается на дне очистителя.

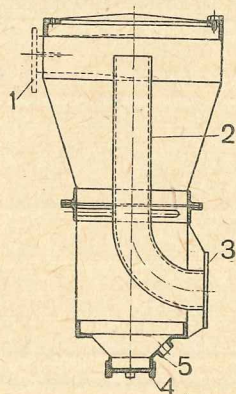
Очиститель для автомобиля ЗИС-5 устроен аналогично.

На фиг. 43 дана схема очистителя Карбогаз, имеющего внутри самоочищающуюся ткань. Мешок из ткани 2 сложен в три раза, верхний конец его укрепляется на центральном стержне 8, на котором монтируется весь аппарат, а нижний — на кольце, соединенном со стенкой.

Мешок придерживается двумя противодействующими пружинами (по типу матрацных). При разрежении в двигателе газ поступает через патрубок 1, внутренняя пружина 3 будет сжиматься, а внешняя — растягиваться; если разрежение уменьшается, то пружины будут стремиться занять первоначальное положение и т. д. Внешняя пружина снабжена щетками 4, которые за счет изменения длины пружин будут производить очистку ткани.



Фиг. 43.



Фиг. 44.

Газ, пройдя через ткань, попадает на покрытую маслом спираль 5 и по патрубку 6 — в двигатель. Люк 7 служит для очистки.

В последнее время находят себе широкое применение для грубой и тонкой очистки газа инерционные очистители. Такими очистителями снабжены установки ЗИС-13, НАТИ Г-13, НАТИ Г-14 и др.

На фиг. 44 представлен очиститель-циклон газогенераторной установки Д-9. Газ входит через патрубок 1, по касательной к цилиндру, вследствие чего внутри циклона создается вращательное движение газа. Затем газ отбирается через трубу 2 и патрубок 3.

Для очистки циклона от пыли и грязи в нижней части имеется на резьбе крышка 4, а для спуска конденсата служит отверстие 5.

ГЛАВА V

СМЕШЕНИЕ ГАЗА С ВОЗДУХОМ

Для сгорания газа в цилиндре двигателя необходимо его смешать с вполне определенным количеством воздуха. Смешение газа с воздухом происходит в смесителе.

Если воздух, поступающий в смеситель, имеет всегда атмосферное давление, то газ всегда имеет давление ниже атмосферного (так как он должен пройти через генератор, очиститель и т. д.). Давление газа есть величина переменная, которая зависит от режима работы генератора, от загрязнения очистителей и пр.

Для того чтобы газ смешать с необходимым количеством воздуха, нужно соответствующим образом подобрать соотношения поперечных сечений газовых и воздушных каналов. Подбор этих сечений определяется расчетом, который приводится ниже.

РАСЧЕТ СМЕСИТЕЛЯ

Принимаем для расчета следующие обозначения (фиг. 45).

f_v — площадь проходного сечения для воздуха,

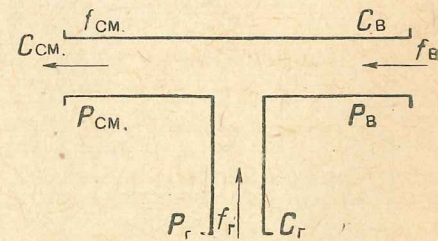
f_r — площадь проходного сечения для газа,

q — отношение воздушного сечения к газовому,

C_v — скорость воздуха в сечении,

C_r — скорость газа в сечении,

K — отношение количества воздуха к газу в данной смеси.



Фиг. 45.

Секундный расход воздуха и газа, выраженный в м³/сек., будет:

$$V_v = C_v f_v; \quad V_r = C_r f_r.$$

Величина K определится отношением:

$$K = \frac{f_v C_v}{f_r C_r} = q \frac{C_v}{C_r}.$$

Отсюда можно написать:

$$q = K \frac{C_{\Gamma}}{C_{\text{В}}}.$$

Величина K может быть также определена из уравнения:

$$K = \frac{L \left(\frac{1}{273} \right) T_{\Gamma} \gamma_{\Gamma}}{\gamma_{\text{В}}},$$

где L — действительное количество воздуха, необходимого для сгорания 1 м³ газа

$$L = \alpha L_0 = \frac{\alpha}{0,21} \left(\frac{\text{CO}}{2} + \frac{\text{H}_2}{2} + 2\text{CH}_4 - \text{O}_2 \right);$$

α — коэффициент избытка воздуха, принимается равным 1,1 — 1,25;

T_{Γ} — температура газа перед смесителем,

γ_{Γ} — удельный вес газа, определяемый по формуле:

$$\gamma_{\Gamma} = \gamma_{\text{CO}_2} V_{\text{CO}_2} + \gamma_{\text{CO}} V_{\text{CO}} + \gamma_{\text{CH}_4} V_{\text{CH}_4} + \gamma_{\text{O}_2} V_{\text{O}_2} + \gamma_{\text{H}_2} V_{\text{H}_2} + \gamma_{\text{N}_2} V_{\text{N}_2}.$$

Здесь V и γ — соответствующие объемы и удельные веса отдельных газов;

$\gamma_{\text{В}}$ — удельный вес воздуха, который может быть принят при 15°С и 735 мм рт. ст. $\gamma_{\text{В}} = 1,186$ кг/м³.

Соответствующие скорости для воздуха и газа могут быть определены по формулам:

$$C_{\text{В}} = \varphi \sqrt{2g \frac{P_{\text{В}} - P_{\text{см}}}{\gamma_{\text{В}}}}$$

и

$$C_{\Gamma} = \varphi \sqrt{2g \frac{P_{\Gamma} - P_{\text{см}}}{\gamma_{\Gamma}}}$$

здесь $\varphi \cong 0,8$ — коэффициент истечения,

$P_{\text{В}}$ — давление воздуха кг/м²,

$P_{\text{см}}$ — давление смеси кг/м²,

P_{Γ} — давление газа кг/м².

Подставляя значение $C_{\text{В}}$ и C_{Γ} в уравнение для q , получим:

$$q = K \sqrt{\frac{P_{\Gamma} - P_{\text{см}}}{P_{\text{В}} - P_{\text{см}}} \cdot \frac{\gamma_{\text{В}}}{\gamma_{\Gamma}}}.$$

С другой стороны, секундный расход смеси может быть определен по уравнению:

$$V_{\text{см}} = f_{\text{В}} C_{\text{В}} + f_{\Gamma} C_{\Gamma} = f_{\text{В}} \left(c_{\text{В}} + \frac{f_{\Gamma}}{f_{\text{В}}} c_{\Gamma} \right) = f_{\text{В}} \left(c_{\text{В}} + \frac{C_{\Gamma}}{q} \right);$$

отсюда можно будет определить площадь сечения воздушного канала

$$f_{\text{В}} = \frac{V_{\text{см}}}{C_{\text{В}} + \frac{C_{\Gamma}}{q}}.$$

Определив площадь воздушного канала, можно будет определить площадь сечения для прохода газа из соотношения:

$$q = \frac{f_{\text{В}}}{f_{\Gamma}},$$

откуда

$$f_{\Gamma} = \frac{f_{\text{В}}}{q}.$$

Обыкновенно при расчетах давление воздуха принимают равным $P_{\text{В}} = 1$ ата¹; давлением газа задаются с учетом потерь на генератор, очистители и трубопроводы; эти потери в среднем равны около 500 — 700 мм вод. ст.

Более целесообразно исходить при расчете из скорости воздуха, которая колеблется около 60 м/сек, затем можно будет определить давление смеси во всасывающем трубопроводе.

В настоящее время имеется очень много конструкций смесителей, начиная от простого тройника, схематически изображенного на фиг. 45, и кончая более сложными, имеющими автоматическую регулировку качественного и количественного состава смеси.

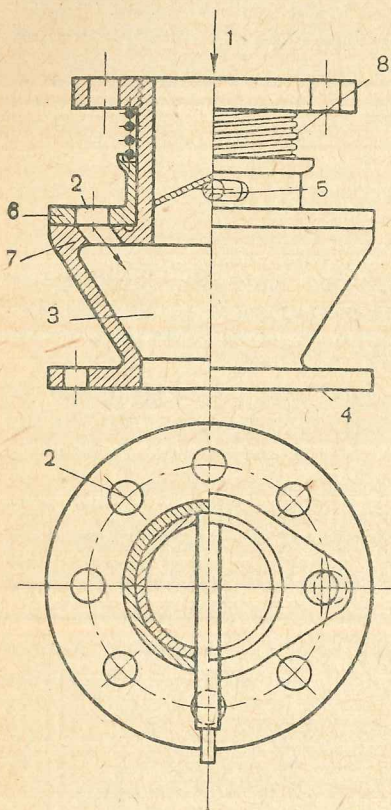
Некоторые конструкторы считают, что конструкция смесителя не оказывает никакого влияния на работу двигателя, утверждая, что газ с воздухом достаточно хорошо могут перемешиваться во всасывающем трубопроводе, камере сгорания и цилиндре двигателя. Однако, такой взгляд на конструкцию смесителя не может считаться правильным, так как скорость диффундирования газа с воздухом по сравнению с протекающим процессом всасывания является незначительной, поэтому и не может быть обеспечено хорошее перемешивание смеси. Следовательно, смесь будет иметь малые скорости и химическую неполноту сгорания, что неблагоприятно отразится на мощности двигателя.

Поэтому при проектировании газогенераторной установки необходимо обратить серьезное внимание на конструкцию смесителя, которая должна удовлетворять следующим требованиям: 1) хорошее перемешивание газа с воздухом, 2) незначительное сопротивление, 3) малая чувствительность к изменениям нагрузки и 4) простота обслуживания.

¹ Давление в этом случае и в других принимается абсолютным.

КОНСТРУКЦИИ СМЕСИТЕЛЕЙ

На фиг. 46 представлен смеситель конструкции проф. Наумова. Газ поступает через центральную трубу 1, а воздух — через восемь отверстий 2 диаметром 9 мм. Смешение газа с воздухом начинается в камере смешения 3 и затем продолжается во всасывающем коллекторе, к которому смеситель крепится фланцем 4.



Фиг. 46.

Для плотной посадки вращающегося золотника 6 к седлу камеры смешения 7 устанавливается спиральная пружина 8. Седло камеры, так же как и золотник, имеет восемь отверстий такого же диаметра.

Качественная регулировка осуществляется поворачиванием золотника, что вызывает открытие или закрытие воздушных отверстий. Количественная регулировка производится дроссельной заслонкой 5, которая связана жесткой тягой с дросселем карбюратора с таким расчетом, чтобы дроссель карбюратора автоматически закрывался, когда открывается дроссель газовой смеси, и наоборот. Все тяги выводятся в кабину водителя.

Установка смесителя и карбюратора на всасывающем коллекторе двигателя представлена на фиг. 47.

Смеситель проф. Карпова (фиг. 48) работает по принципу пересекающихся потоков газа и воздуха. Газ подводится

по трубе 1, а воздух — через шестнадцать трубок 2, расположенных двумя рядами в шахматном порядке и имеющих диаметр 12 мм, а длину 25 мм. Кроме того, в нижней части камеры смешения имеется двенадцать отверстий 3 диаметром в 5 мм.

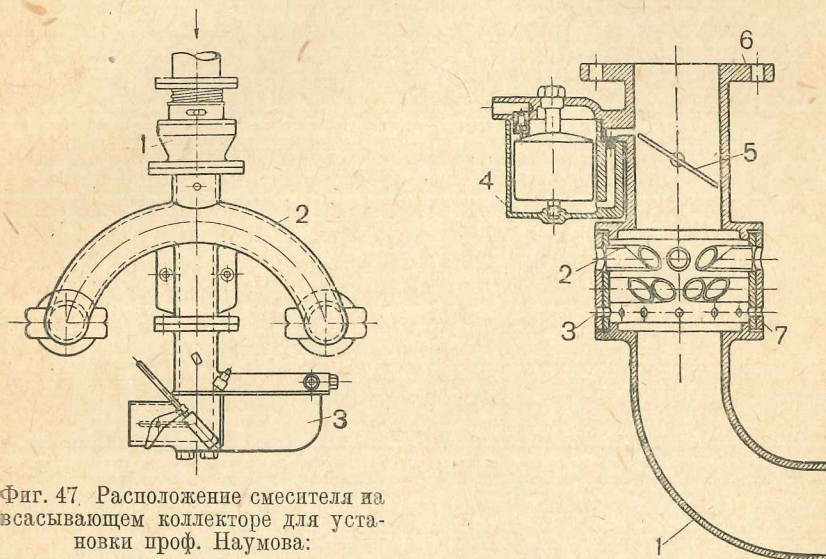
Проходя через камеру смешения, газ ударяется о трубки, концы которых срезаны под углом 45°, смешивается с выходящим из них воздухом и в виде рабочей смеси поступает во всасывающий коллектор двигателя.

В этом смесителе созданы весьма благоприятные условия для хорошего смешения, так как движущийся по трубе газ

вследствие удара о трубки разбивается на мелкие струйки, способствующие полному перемешиванию газа с воздухом, выходящим из трубок в центральную часть камеры смешения.

Качественное регулирование здесь осуществляется поворотом кольца-золотника 7 с отверстиями, а количественное — дроссельной заслонкой 5. Фланец 6 служит для присоединения смесителя к всасывающему коллектору.

Над камерой смешения сбоку, расположен карбюратор 4, соединенный с трубой рабочей смеси калиброванным отверстием. Карбюратор будет подавать бензин только при при-



Фиг. 47. Расположение смесителя на всасывающем коллекторе для установки проф. Наумова:
1 — смеситель; 2 — всасывающий коллектор;
3 — карбюратор.

Фиг. 48.

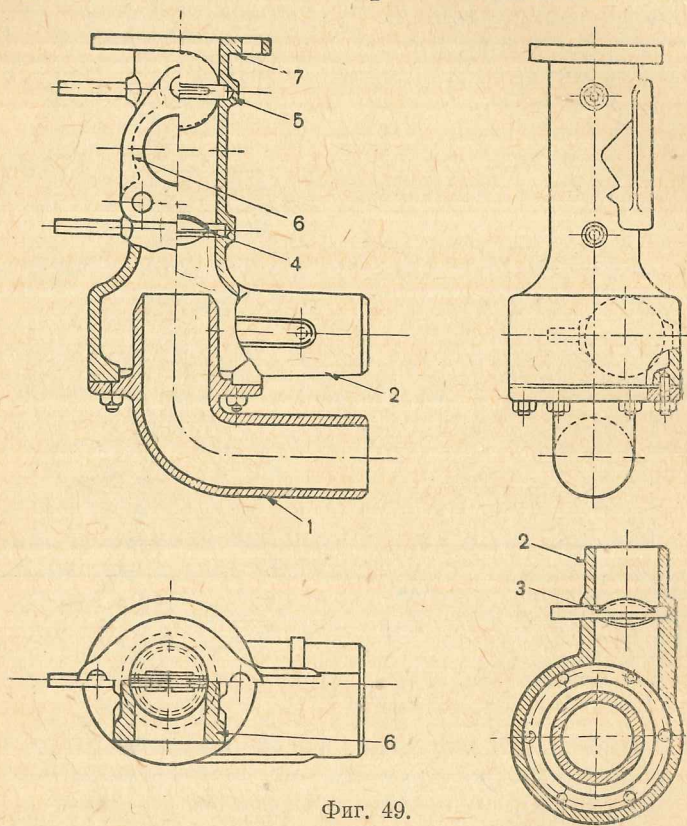
крытой дроссельной заслонке, тогда как при открытой заслонке образующегося разрежения около калиброванного отверстия будет недостаточно для подсоса бензина.

При пуске двигателя на жидком топливе дроссельную заслонку прикрывают, а кольцо 7 ставят в такое положение, чтобы его отверстия совпадали с отверстиями трубок; при таком положении дросселя и кольца поступление газа к смесительной камере автоматически прекращается вследствие сопротивления газогенераторной установки. В случае же частичного прикрытия воздушных отверстий двигатель будет засасывать смесь из бензина, воздуха и газа; этим свойством данного смесителя пользуются при розжиге газогенератора, подсасывая из него продукты горения.

В новой конструкции смесителя карбюратор отсутствует, так как пуск двигателя в ход происходит на газе, который

подсасывается при помощи электрического вентилятора, питаемого током от установленного на автомобиле аккумулятора.

На фиг. 49 представлен смеситель установки Автодор-2, работающий по принципу эжекционного смесителя. Газ поступает через трубу 1, а воздух поступает через патрубок 2 по касательной к образующей камеры смешения. Вследствие вращательного движения воздуха, в камере смешения создаются благоприятные условия для перемешивания газа с воздухом.



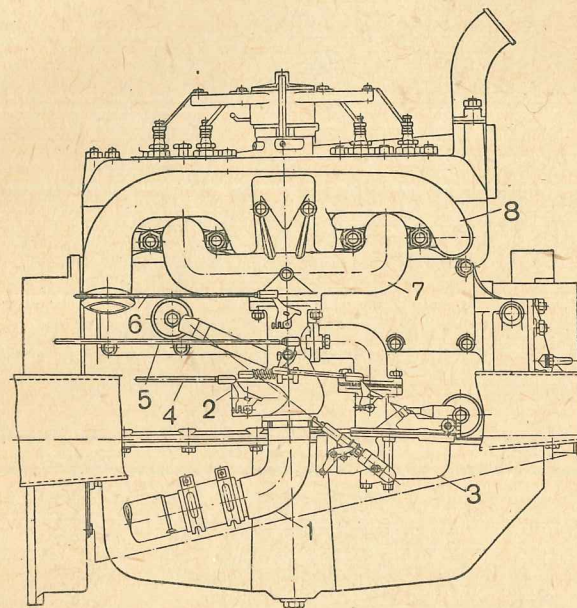
Фиг. 49.

Качественное регулирование состава смеси осуществляется при помощи воздушной заслонки 3, а количественное регулирование — при помощи дроссельной заслонки 5, соединенной с тягой акселератора. К фланцу 6 крепится патрубок пускового карбюратора, имеющий дроссель, связанный с дросселем 4 при помощи тяги, причем соединение их произведено с таким расчетом, чтобы дроссель газа открывался, когда закрывается дроссель карбюратора, и наоборот.

Этот смеситель устанавливается на двигателе ГАЗ в опрокинутом виде, причем фланец 7 соединяется с нормальным всасывающим коллектором, который также перевернут.

Конструкция смесителя Автодор-2 является аналогичной смесителю НАТИ; разница между ними заключается лишь в том, что в первом рабочая смесь поступает сверху вниз, а во втором наоборот — снизу вверх.

На фиг. 50 представлен монтаж смесителя НАТИ на двигателе ГАЗ. Газ поступает по трубе 1, а воздух — по патрубку 2. При помощи тяги 5 происходит одновременное закрытие дросселя карбюратора 3 и открытие дросселя газа или наоборот; этой тягой и пользуются при переводе двигателя с бензина на генераторный газ. Тяга 6 связана с акселератором. Тяга 4 управляет воздушным дросселем.



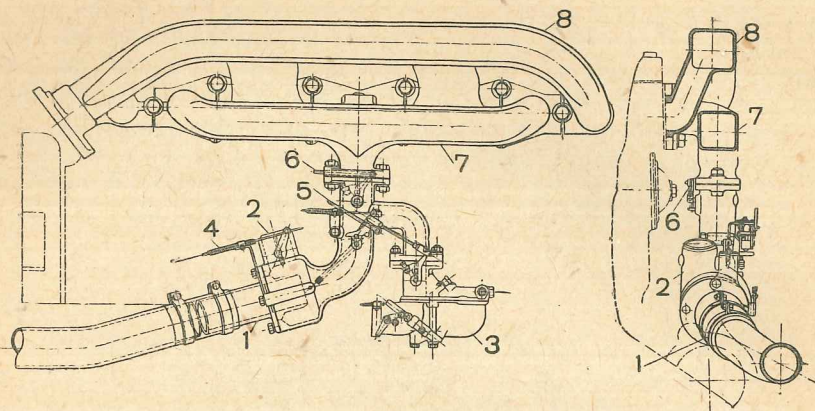
Фиг. 50.

Для увеличения коэффициента наполнения двигателя всасывающий коллектор 7 устанавливается новый, что делается в целях устранения его подогрева выхлопными газами, идущими по выхлопному коллектору 8.

На фиг. 51 представлен смеситель НАТИ, установленный на двигателе ЗИС-5. Здесь вместо карбюратора МАЗ-5 устанавливается карбюратор ГАЗ-зенит, который вполне обеспечивает двигатель на время пуска и перевода его на газ. Всасывающий коллектор устанавливается другой, чем и устраняется подогрев смеси.

На фиг. 52 представлен смеситель НАТИ, установленный на двигателе ЧТЗ. Газ поступает через трубу 1, а воздух — через патрубок 2.

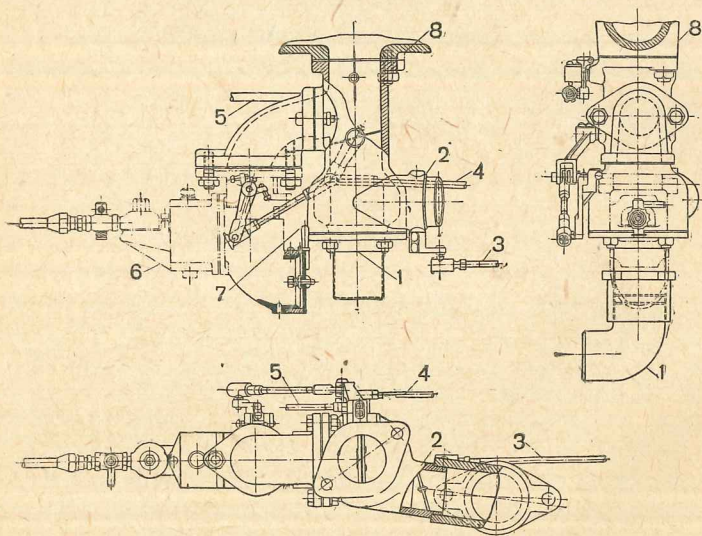
Качественная регулировка смеси производится воздушной заслонкой, управляемой тягой 5. Количественная регулировка



Фиг. 51. Монтаж смесителя НАТИ на двигателе ЗИС-5:

1 — Труба для поступления газа; 2 — патрубок для поступления воздуха; 3 — карбюратор; 4 — тяга воздушного дросселя; 5 — тяга переключения с бензина на газ и обратно; 6 — тяга дросселя смеси; 7 — всасывающий коллектор; 8 — выхлопной коллектор.

производится при помощи дроссельной заслонки, управляемой тягой 5, которая проходит через регулятор числа обо-

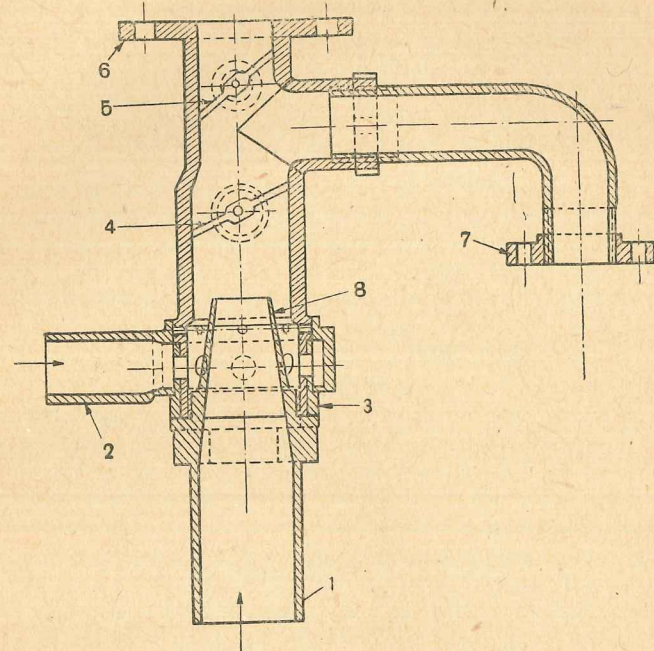


Фиг. 52. Общий вид смесителя НАТИ для двигателя ЗИС-5:

1 — Труба для поступления газа; 2 — патрубок для поступления воздуха; 3 — тяга воздушного дросселя; 4 — тяга переключения с бензина на газ и обратно; 5 — тяга дросселя смеси в регулятору; 6 — карбюратор; 7 — заслонка для обогащения бензиновой смеси; 8 — всасывающий коллектор.

ротов двигателя. Тяга 4 предназначена для перевода двигателя с бензина на газ. Эта тяга соединена с дросселями карбюратора и газовой смеси; следовательно, при закрытии дросселя карбюратора дроссель газовой смеси открывается, и наоборот. Для обогащения бензиновой смеси при пуске двигателя служит воздушная заслонка 7.

Всасывающий коллектор у двигателя ЧТЗ, так же как и у двигателей ГАЗ и ЗИС-5, устанавливается другой конструкции, устраняющей подогрев газовой смеси.



Фиг. 53.

На фиг. 53 представлен смеситель Рено, работающий по принципу эжекционного смесителя. Поступление газа в камеру смешения происходит через трубу 1, переходящую в сопло 8, а воздух — через трубу 2 и отверстия, расположенные равномерно по окружности. Количество подаваемого воздуха в смеситель регулируется при помощи вращающегося золотника 5. Количество газовой смеси, поступающей в двигатель, регулируется дроссельной заслонкой 4, связанной с регулятором числа оборотов.

К фланцу 7 присоединяется карбюратор, который питает двигатель бензиновой рабочей смесью при пуске. Во время пуска и работы двигателя на бензине дроссельная заслонка 4 держится закрытой. Крепление смесителя к всасывающему коллектору двигателя производится при помощи фланца 6.

АВТОТРАКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ, РАБОТАЮЩИЕ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

ПРИЧИНА ПАДЕНИЯ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕВОДЕ С ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА ГЕНЕРАТОРНЫЙ ГАЗ

Газовые автотракторные двигатели отличаются от карбюраторных тем, что в них работа совершается за счет сгорания смеси генераторного газа с воздухом, а не смеси жидкого топлива с воздухом.

В настоящее время специальных автотракторных двигателей, приспособленных к работе на газообразном топливе, не строят, а используют двигатели, предназначенные для работы на жидком топливе. При переводе автомобилей и тракторов с жидкого топлива на газообразное, не меняя конструкции двигателей, происходит потеря мощности, которая выражается в 40—50% от эффективной мощности двигателя.

Основными причинами, вызывающими потерю мощности, являются следующие:

- 1) низкая теплотворная способность газовой рабочей смеси по сравнению с бензиновой,
- 2) понижение коэффициента подачи двигателя,
- 3) сокращение объема продуктов сгорания газовой рабочей смеси против объема свежей смеси,
- 4) понижение механического коэффициента полезного действия двигателя.

Низкая теплотворная способность газовой рабочей смеси по сравнению с бензиновой является основной причиной потери мощности двигателя. Если 1 м³ рабочей смеси из бензина и воздуха имеет теплотворную способность около 800—850 кал/м³, то кубометр рабочей смеси, полученной из генераторного газа и воздуха, составляет всего 450—500 кал/м³ при 0°С и 760 мм. рт. ст. Кроме того, здесь необходимо будет учесть и то обстоятельство, что рабочая смесь из газа и воздуха имеет более высокую температуру, чем рабочая смесь из бензина и воздуха. На теплотворную способность газовой смеси будет влиять и влага, находящаяся в газе: при увеличении влаги в газе теплотворная способность газовой рабочей смеси будет понижаться.

Понижение коэффициента подачи двигателя происходит вследствие уменьшения давления всасывания, которое получается в результате увеличения сопротивлений при всасывании за счет газогенераторной установки и увеличения температуры рабочей смеси, поступающей в двигатель.

Сокращение объема продуктов сгорания газовой рабочей смеси против объема свежей смеси происходит вследствие физико-химических свойств рабочей смеси из генераторного газа и воздуха. При сгорании жидких топлив происходит увеличение объема продуктов сгорания против первоначального объема рабочей смеси, тогда как при сгорании генераторного газа происходит уменьшение объема продуктов сгорания против первоначального объема рабочей смеси (рабочая смесь и продукты сгорания должны быть приведены к одинаковым давлениям и температурам).

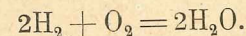
Понижение механического коэффициента полезного действия двигателя происходит вследствие того, что расход мощности на трение остается постоянным, а общая мощность двигателя падает. Следовательно, если при работе двигателя на жидком топливе расход мощности на трение будет составлять 10—20%, то при работе на газообразном топливе последний будет 20—30%.

Для того чтобы детально рассмотреть влияние каждой из вышеуказанных причин на потерю мощности, необходимо произвести тепловое исследование двигателя, которое позволит разобраться в тех сложных явлениях, какие происходят в цилиндре двигателя при превращении термохимической энергии топлива в механическую работу.

РЕАКЦИИ СГОРАНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

Основными составляющими газообразных топлив являются водород, кислород, азот, окись углерода, углекислота, водяной пар, метан и реже углеводороды состава C_mH_n. Горючими газами будут H₂, CO, CH₄ и C_mH_n, для которых и составим реакции сгорания.

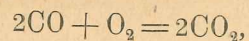
Сгорание водорода в водяной пар происходит по формуле



Из этой формулы видно, что 2 объемные части H₂ (например, 2 м³) требуют для полного сгорания наличия 1 объемной части (1 м³) O₂ и что образовавшийся водяной пар, приведенный к начальной температуре и давлению, занимает объем, равный 2 м³. Следовательно, 2 + 1 = 3 м³ газовой смеси образуются в 2 м³ продуктов сгорания. Необходимый для сгорания водорода кислород по объему равен половине водорода.

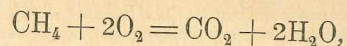
В результате сгорания получается столько же водяных паров (по объему), сколько было водорода.

Сгорание окиси углерода происходит по формуле:



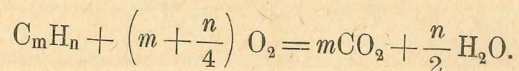
откуда видно, что объем продуктов сгорания равен $\frac{2}{3}$ объема вступающих в реакцию веществ и что объем кислорода равен половине объема окиси углерода, аналогично тому, как это имеет место при сгорании водорода.

Сгорание метана происходит по формуле:



откуда видно, что 1 объемная часть CH_4 (например, 1 м³) требует для полного сгорания 2 объемные части (2 м³) O_2 . Получившиеся продукты сгорания — углекислота и водяной пар, приведенные к начальной температуре и давлению — занимают объем, равный 3 м³, т. е. при сгорании метана изменения объема не происходит.

Если имеется углеводородистое соединение состава C_mH_n , то сгорание происходит согласно уравнению.



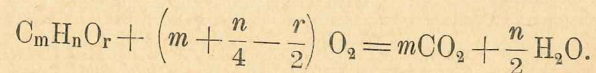
Следовательно, при сгорании 1 м³ C_mH_n требуется $\left(m + \frac{n}{4}\right)$ м³ кислорода.

Отсюда видно, что из $\left(1 + m + \frac{n}{4}\right)$ м³ газообразной смеси образуется $\left(m + \frac{n}{4}\right)$ м³ продуктов сгорания, а изменение объема равно:

$$\left(m + \frac{n}{2}\right) - \left(1 + m + \frac{n}{4}\right) = \left(\frac{n}{4} - 1\right) \text{ м}^3.$$

Отсюда видно, что для углеводородов, имеющих число атомов водорода больше четырех, объем продуктов сгорания увеличивается.

В том случае, когда в топливе содержится кислород в количестве r атомов, то реакция сгорания этого топлива происходит по следующему уравнению:



Из приведенного уравнения видно, что из

$$\left[1 + \left(m + \frac{n}{4} - \frac{r}{2}\right)\right] \text{ м}^3 \text{ газообразной смеси образуется } \left(m + \frac{n}{2}\right) \text{ м}^3$$

продуктов сгорания.

Изменение объема после сгорания может быть определено как разность объемов газов после сгорания и до сгорания:

$$\left(m + \frac{n}{2}\right) - \left[1 + \left(m + \frac{n}{4} - \frac{r}{2}\right)\right] = \left(\frac{n}{4} + \frac{r}{2} - 1\right) \text{ м}^3.$$

Таким образом, можно сказать, что изменение объема газов в процессе реакции сгорания зависит только от числа атомов водорода (n) и кислорода (r) и совсем не зависит от числа атомов углерода (m), которые входят в состав данного соединения.

При определении количества продуктов сгорания и необходимого для сгорания воздуха удобнее вести подсчет в килограмм-молекулах, или молях, так как это дает очень много практических удобств.

Закон Авагардо гласит, что все газы при одинаковых температурах и давлениях в равных объемах содержат одинаковое количество молекул. Таким образом, удельные веса газов относятся как молекулярные веса:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{m_1}{m_2}.$$

Известно, что удельные веса обратно пропорциональны удельным объемам:

$$\gamma_1 = \frac{1}{V_1} \text{ и } \gamma_2 = \frac{1}{V_2},$$

следовательно,

$$m_1 V_1 = m_2 V_2.$$

Здесь m_1 и m_2 есть числа, выражающие молекулярные веса, а V_1 и V_2 представляют объем 1 кг газа. Вес, равный m кг, называют килограмм-молекулой, или молем, т. е. вес одного моля данного газа равен его молекулярному весу (для H_2 вес моля равен 2, для CO вес моля равен 28 и т. д.).

Из последнего равенства также видно, что объем одного моля при равных температурах и давлениях есть величина постоянная, т. е. 2 кг H_2 занимают тот же объем, что и 28 кг CO или 32 кг O_2 .

Объем моля данного газа (при 0° и 760 мм) будет равен:

$$mV = 22,4 \text{ м}^3.$$

Например, удельный вес для кислорода равен

$$\gamma_{\text{O}_2} = 1,429234 \text{ кг/м}^3,$$

подставляя в выражение mV , получим:

$$mV = m \frac{1}{\gamma} = 32 \frac{1}{1,429234} = 22,4 \text{ м}^3.$$

Отсюда видно, что счет в молях равносильен счету в объемных единицах, не требуя, однако, оговорок относительно давления и температуры.

Газовая постоянная, отнесенная к одному молю, для всех газов будет равна $mR = 848$ кгм.

Последнее выражение представляет собой работу одного моля произвольного газа при постоянном давлении, при нагревании его на 1°C .

НЕОБХОДИМОЕ КОЛИЧЕСТВО ВОЗДУХА ПРИ СГОРАНИИ

Количество кислорода, теоретически необходимого для сжигания топлива, определится на основании вышеприведенных реакций сгорания.

Если состав газа дан в долях килограмма, то будем иметь:

$$O_{\min} = \left[\frac{4}{7} \text{CO} + 8\text{H}_2 + 4\text{CH}_4 + \frac{8(4m+n)}{12m+n} \text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2 \right] \text{кг/кг.}$$

В случае, если состав газа дан в долях кубического метра или моля получим:

$$O_{\min} = \left[0,5 (\text{CO} + \text{H}_2) + 2\text{CH}_4 + \left(m + \frac{n}{2} \right) \text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2 \right] \text{м}^3/\text{м}^3.$$

Теоретическое количество воздуха, необходимого для сжигания топлива, выраженное в молях, если состав газа дан в долях килограмма, будет:

$$L_0 = \frac{O_{\min}}{0,23 \cdot 28,95} =$$

$$= \frac{1}{0,23 \cdot 28,95} \left[\frac{4}{7} \text{CO} + 8\text{H}_2 + 4\text{CH}_4 + \frac{8(4m+n)}{12m+n} \text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2 \right] \text{мол/кг.}$$

Если состав газа дан в долях кубического метра или моля, то получим:

$$L_0 = \frac{O_{\min}}{0,21} = \frac{1}{0,21} \left[0,5 (\text{CO} + \text{H}_2) + 2\text{CH}_4 + \left(m + \frac{n}{4} \right) \text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2 \right] \text{мол/мол.},$$

где 0,21 — количество кислорода в воздухе по объему;

28,95 — молекулярный вес воздуха;

0,23 — количество кислорода в воздухе по весу.

Теоретически необходимое количество воздуха для обеспечения полноты сгорания топлива недостаточно, так как в действительных условиях работы двигателя не удается идеально перемешать топливо с воздухом. Следовательно, часть топлива вследствие малого промежутка времени, отводимого

на процесс сгорания, не вступит в реакцию с кислородом воздуха, и несгоревшая часть будет удалена из цилиндра двигателя вместе с выхлопными газами.

Для лучшего сгорания топлива вводят избыточное количество воздуха, которое обеспечивает полноту сгорания топлива. Отношение действительно введенного в цилиндр количества воздуха L к теоретически необходимому L_0 называется коэффициентом избытка воздуха α .

$$\alpha = \frac{L}{L_0},$$

откуда

$$L = \alpha L_0.$$

Ниже приводятся значения коэффициентов избытка воздуха для двигателей, работающих на различных топливах.

Наименование двигателя	Коэффициент избытка воздуха
Газогенераторные двигатели	1,1 — 1,4
Керосиновые двигатели	1 — 1,2
Бензиновые двигатели	0,9 — 1,1

Рабочая теплотворная способность газообразного топлива определяется как сумма произведений теплотворных способностей отдельных газов, входящих в данное газообразное топливо, на процентное содержание отдельных газов в топливе. Для 1 м³ или моля будем иметь:

$$H_u = H_{\text{CO}} \text{CO} + H_{\text{H}_2} \text{H}_2 + H_{\text{CH}_4} \cdot \text{CH}_4 + H_{\text{C}_2\text{H}_4} \cdot \text{C}_2\text{H}_4 + H_{\text{C}_2\text{H}_2} \cdot \text{C}_2\text{H}_2.$$

Здесь H_{CO} , H_{H_2} , H_{CH_4} , $H_{\text{C}_2\text{H}_4}$, $H_{\text{C}_2\text{H}_2}$ — теплотворные способности 1 м³ или моля соответствующих газов;

CO , H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 — процентное содержание отдельных газов в объемных долях.

Рабочие теплотворные способности отдельных газов для 1 м³ и одного моля приведены в таблице 37.

В двигателе происходит засасывание не только одного топлива, но и необходимого количества воздуха, требуемого для полного сгорания этого топлива; следовательно, на количество выделившегося тепла и работы в цилиндре двигателя будет оказывать влияние не теплотворная способность топлива, а теплотворная способность рабочей смеси, состоящей из топлива и воздуха.

Если известна теплотворная способность газообразного топлива и действительное количество необходимого для сгора-

ния воздуха, то теплотворная способность рабочей смеси может быть определена по формуле:

$$H_g = \frac{H_u}{1 + L},$$

Таблица 37

Газы	Рабочая теплотворная способность 1 м ³ газа при 0° С и 760 мм рт. ст. в калориях	Рабочая теплотворная способность 1 моля газа в калориях
Окись углерода	3 045	68 220
Водород	2 580	57 810
Метан	8 590	192 400
Ацетилен	13 350	301 200
Этилен	13 940	312 100
Пропан	20 500	458 700
Бутан	26 800	601 200
Этан	15 120	338 400

где H_u — рабочая теплотворная способность 1 м³ или 1 моля газа,

L — действительное количество воздуха, необходимого для сгорания 1 м³ или 1 моля газа.

Эта формула действительна также и для жидкого топлива, причем тогда H_u будет теплотворная способность 1 кг топлива, а L — действительное количество воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива.

Определив теплотворную способность того или иного газа, нетрудно будет по вышеприведенной формуле подсчитать теплотворную способность рабочей смеси при разных коэффициентах избытка воздуха.

При подсчете теплотворной способности рабочей смеси для газообразного топлива необходимо учесть, что H_u здесь представляет собою теплотворную способность 1 м³ газа при данном давлении и температуре.

Так как по формуле теплотворной способности, приведенной выше, можно подсчитать последнюю только при давлении $P_0 = 1,033$ ата и температуре $T_0 = 273$ абс. (0° С и 760 мм рт. ст.), то для перехода от нормальных давлений и температур к действительным нужно воспользоваться формулой:

$$H_u = \frac{273}{1,033} \frac{P_0}{T_0} H_u,$$

где H_u — теплотворная способность 1 м³ газа при данном давлении и температуре,

P_0 — давление газовой рабочей смеси после смесителя, которое можно принять $P_0 \cong 1$ ата;
 H_u — теплотворная способность 1 м³ газа при $P_0 = 1,033$ ата и $T_0 = 273^\circ$ абс. (0° С и 760 мм рт. ст.).

Если теплотворная способность газа определяется не на 1 м³, а на 1 моль, то вводить поправок на давление и температуру не требуется, т. е. теплотворная способность 1 моля газа представляет собой величину постоянную.

РАБОЧИЙ ЦИКЛ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

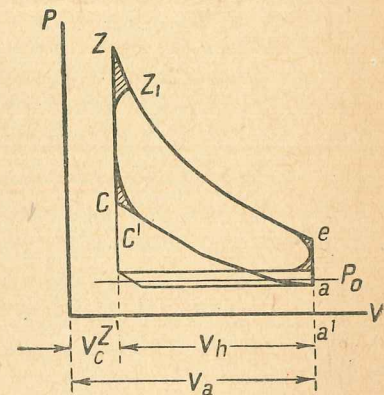
Рабочие циклы двигателя бывают теоретические и действительные.

Теоретическим называется такой цикл, который протекает при следующих допущениях:

- 1) кривые сжатия и расширения — адиабаты,
- 2) кривые сгорания и выхлопа — изохоры,
- 3) теплоемкости газов постоянны.

В действительных условиях все двигатели работают по реальному действительному циклу, так как имеется теплообмен и изменимость теплоемкостей, и кривые сгорания и выхлопа не являются изохорами.

Отличие теоретической индикаторной диаграммы от действительной видно на фиг. 54. Действительный рабочий цикл двигателя можно подразделить на пять следующих самостоятельных процессов: 1) всасывание, 2) сжатие, 3) сгорание, 4) расширение и 5) выхлоп. Так как в настоящее время на автомобилях и тракторах почти исключительно применяются 4-тактные двигатели, работающие по циклу Отто, то мы в дальнейшем и будем рассматривать только этот тип двигателей.



Фиг. 54. Индикаторная диаграмма 4-тактного двигателя, работающего по циклу Отто.

Процесс всасывания

После окончания процесса выхлопа отработанных газов в камере сжатия останется часть этих газов с давлением несколько выше атмосферного. При обратном ходе поршня остаточные газы начинают расширяться, и когда их давление будет ниже атмосферного, то благодаря открытию всасывающего клапана и разрежению цилиндр двигателя будет заполняться рабочей смесью.

В процессе всасывания объем цилиндра двигателя будет заполняться рабочей смесью неполностью, так как там будут находиться остаточные газы. Для оценки степени заполнения цилиндра рабочей смесью служит коэффициент подачи η_v , под которым понимается весовое отношение действительно засосанного количества смеси в цилиндр двигателя за один процесс всасывания к теоретически возможному, если смесь находится при температуре и давлении окружающей среды. Следовательно:

$$\eta_v = \frac{G_0}{G_h},$$

где G_0 — вес засосанной смеси;
 G_h — вес смеси в объеме V_h при давлении и температуре окружающего воздуха.

После окончания процесса всасывания вес всего заряда будет равен сумме остаточных газов и свежей смеси:

$$G_a = G_r + G_0, \text{ или } G_a = G_r + \eta_v G_h,$$

где G_a — вес заряда в точке a ;
 G_r — вес остаточных газов.

Обозначаем через:

P_r, P_0 и P_a — давления остаточных газов, наружного воздуха и начала сжатия,
 V_c — объем камеры сжатия,
 V_h — рабочий объем цилиндра,
 $V_a = V_h + V_c$ — полный объем цилиндра,
 T_r, T_0, T_a — абсолютные температуры остаточных газов, рабочей смеси и начала сжатия.

С учетом вышеуказанных обозначений и характеристического уравнения $PV = GRT$ последнее уравнение переписывается в следующем виде:

$$\frac{P_a V_a}{R_a T_a} = \frac{P_r V_r}{R_r T_r} + \eta_v \frac{P_0 V_h}{R_0 T_0}$$

Газовые постоянные R_a, R_r и R_0 без большой погрешности можно принять равными между собой; тогда получим выражение для коэффициента подачи;

$$\eta_v = \frac{P_a V_a T_0}{T_a P_0 V_h} - \frac{P_r V_r T_0}{T_r P_0 V_h}.$$

Приняв во внимание, что

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = \varepsilon \text{ (степень сжатия),}$$

будем иметь:

$$\frac{V_h}{V_c} = \frac{V_a - V_c}{V_c} = \varepsilon - 1, \quad \frac{V_a}{V_h} = \frac{V_a}{V_c(\varepsilon - 1)} = \frac{\varepsilon}{(\varepsilon - 1)},$$

$$\eta_v = \frac{P_a T_0}{T_a P_0} \frac{\varepsilon}{(\varepsilon - 1)} - \frac{1}{(\varepsilon - 1)} \frac{P_r T_0}{T_r P_0} = \frac{T_0}{P_0(\varepsilon - 1)} \left[\frac{P_a}{T_a} \varepsilon - \frac{P_r}{T_r} \right].$$

Из окончательного выражения для коэффициента подачи видно, что последний зависит от $P_a, T_a, \varepsilon, P_r$ и T_r .

С увеличением P_a коэффициент подачи увеличивается; величина последнего зависит от тех сопротивлений, которые имеются во всасывающем трубопроводе. В газогенераторных двигателях, кроме сопротивления во всасывающем трубопроводе, на величину P_a большое влияние оказывает сопротивление газогенераторной установки, которое для газогенераторов колеблется от 300 до 500 мм водяного столба; для смесителей сопротивление равно, примерно, сопротивлению карбюратора. Отсюда видно, что общее сопротивление у газогенераторных двигателей (при 1000 и 1500 об/мин) колеблется от 500 до 750 мм водяного столба. Если давление начала сжатия у автотракторных двигателей, работающих на жидком топливе, колеблется в пределах 0,9—0,92 ата, то для двигателей, переведенных на газ, оно будет 0,75—0,85 ата.

Следовательно, при проектировании конструктор все время должен помнить о том, чтобы вся газогенераторная установка имела конструктивные формы с наименьшими сопротивлениями.

Повышение температуры начала сжатия T_a понижает коэффициент подачи, так как при этом происходит увеличение удельного объема рабочей смеси и, следовательно, уменьшение ее веса. Величина T_a зависит от начальной температуры всасывания, от температуры и количества остаточных газов, от температуры стенок цилиндра и от числа оборотов двигателя.

Температура T_a может быть определена по формуле:

$$T_a = \frac{T_0' + \gamma T_r}{1 + \gamma},$$

где T_0' — температура смеси плюс нагрев от стенок цилиндра, последний равен 10—15°С;

T_r — температура остаточных газов, которая колеблется от 700 до 900°С;

γ — коэффициент остаточных газов, т. е. отношение остаточных газов к свежему заряду.

Температура смеси $T_{см}$ может быть определена по известной термодинамической формуле:

$$T_{см} = \frac{P_r V_r + P_B V_B}{\frac{P_r V_r}{T_r} + \frac{P_B V_B}{T_B}}.$$

Здесь P_g , V_g и T_g — давление, объем и температура газа, P_b , V_b и T_b — давление, объем и температура воздуха.

При объеме $V_g = 1$ м³, объем воздуха V_b будет представлять собою действительное количество воздуха, необходимое для сгорания газа, т. е. L .

После преобразования формула примет вид:

$$T_{см} = \frac{P_g + P_b L}{\frac{P_g}{T_g} + \frac{P_b L}{T_b}}$$

В виду того что давление атмосферного воздуха и давление газа перед смесителем почти не отличаются, без большой погрешности можно принять их равными между собой. Тогда формула для температуры смеси, после некоторых упрощений, в окончательном виде будет:

$$T_{см} = \frac{T_g + T_b L}{1 + \frac{T_b L}{T_g}}$$

Последняя формула является абсолютно точной только для идеальных газов; но так как мы здесь имеем дело с низкими и мало изменяющимися температурами, то она будет давать довольно точные значения.

Коэффициент γ может быть определен по формуле:

$$\gamma = \frac{T'_g}{T_g} \frac{P_g}{\epsilon P_a - P_g}$$

Из этой формулы видно, что чистота свежего заряда будет лучше при большем значении степени сжатия.

При температуре рабочей смеси во всасывающем трубопроводе около 50°С температура T_a будет колебаться в пределах 350—370° абс., в зависимости от степени сжатия.

Повышение степени сжатия ϵ , при условии сохранения постоянными остальных параметров, коэффициент подачи увеличивается, хотя практически эта зависимость не всегда подтверждается, что можно объяснить уменьшением потерь тепла остаточными газами при процессе всасывания.

Повышение давления выхлопа P_g понижает коэффициент подачи, так как увеличивается количество остаточных газов в цилиндре, а следовательно, уменьшается вес свежей рабочей смеси, и кроме того, температура последней с увеличением количества остаточных газов увеличивается. Величина P_g зависит от сопротивлений в выхлопном клапане, трубопроводе и глушителе.

При наличии длинного выхлопного трубопровода инерция выхлопных газов в некоторых случаях может оказывать отсасывающее действие и тем самым понижать P_g .

Проф. Синеуцкий дает эмпирическую формулу, по которой можно определить давление выхлопа:

$$P_g = \frac{3 P_0 - P_a}{2}$$

Обычно при расчетах давлением выхлопа P_g задаются. Для газогенераторных двигателей эта величина колеблется в пределах $P_g = 1,08—1,15$ ата.

Повышение температуры остаточных газов увеличивает коэффициент подачи. Увеличение коэффициента подачи происходит вследствие того, что с повышением T_g возрастает количество тепла, отводимого в стенки камеры сгорания, а также тепло передается свежей смеси. Оба указанных фактора вызывают сокращение объема остаточных газов, что дает возможность иметь большее наполнение, т. е. увеличение коэффициента подачи. Для газогенераторных двигателей температурой выхлопа задаются в пределах $T_g = 700—800^\circ$ абс.

Кроме всех перечисленных факторов, коэффициент подачи зависит также и от фаз распределения двигателя.

Для быстроходных двигателей угол запаздывания открытия всасывающего клапана должен быть больше, а для тихоходных — меньше. В некоторых конструкциях двигателей всасывающий клапан открывают до момента посадки выхлопного, благодаря чему используется инерция выхлопных газов для лучшей очистки камеры сгорания от последних, производя одновременно и подсосывание свежей рабочей смеси.

Для современных автотракторных двигателей, работающих на жидком топливе, даются следующие фазы распределения всасывания:

Угол открытия всасывающего клапана — 0—15° поворота кривошипа после верхней мертвой точки.

Угол закрытия всасывающего клапана — 20—60° поворота кривошипа после нижней точки.

Для газовых двигателей угол закрытия всасывающего клапана должен быть меньше на 10—20°, так как давление во всасывающем трубопроводе вследствие сопротивления установки будет всегда ниже атмосферного; а следовательно, при большом запаздывании закрытия всасывающего клапана рабочая смесь из цилиндра может быть частично удалена обратно во всасывающий трубопровод.

Процесс сжатия

Сжатие свежей смеси в цилиндре начинается с момента закрытия всасывающего клапана.

В идеальной машине сжатие должно было бы протекать по адиабатической кривой (без теплообмена), но из-за теплообмена со стенками цилиндра и камеры сжатия, в действи-

Топливо	Температура самовоспламенения в °С	Топливо	Температура самовоспламенения в °С
Нефть.....	350	Бензол.....	520
Керосин.....	380	Водород.....	580 — 590
Бензин.....	415	Метан.....	556 — 700
Спирт.....	510	Окись углерода.....	637 — 658

Из приведенной таблицы видно, что из топлив, применяемых в автотракторных двигателях, наиболее низкую температуру самовоспламенения имеет керосин, поэтому для него степени сжатия допускаются самые низкие, в пределах $\epsilon = 3-4$. Для бензина применяется степень сжатия в пределах $\epsilon = 4-5,5$.

Температура самовоспламенения генераторного газа до настоящего времени не определялась, но на основании данных таблицы можно заключить, что она будет не ниже 500°C . Это обстоятельство дает возможность применить в газогенераторных двигателях степени сжатия, доходящие до $\epsilon = 9-10$.

Необходимо отметить, что температура самовоспламенения есть величина весьма неопределенная, и различные методы исследования дают весьма разнообразные результаты. Например, проф. Гельд при определенении температуры самовоспламенения бензина (при медленном нагревании) получил $240-250^\circ\text{C}$, тогда как при быстром сжатии в цилиндре двигателя температура самовоспламенения бензина получается $420-450^\circ\text{C}$. Все проводимые опыты осложняются тем, что на температуру самовоспламенения топлива с воздухом оказывает влияние наличие инертных газов, процесс теплообмена смеси со стенками, спокойное или завихренное состояние смеси, быстрота нагрева смеси и др.

Опытами Фалька установлено, что при сжатии в цилиндре двигателя водородно-кислородной смеси наличие инертных газов в смеси повышает температуру самовоспламенения.

Следовательно, термическое использование двигателя будет повышаться при постановке поршней и головок двигателя из материала с хорошей теплопроводностью (алюминий и др.), при хорошо сконструированной камере сжатия и при наличии в смеси определенного количества инертных газов.

Для газовых двигателей ограничением применения высоких степеней сжатия является не самовоспламенение топлива и детонации, а пуск двигателя в ход, так как последний производится в большинстве случаев на жидком горючем, для которого могут применяться вполне определенные степени сжатия.

тельной машине мы имеем сжатие, протекающее по политропической кривой. В начале процесса сжатия происходит нагревание рабочей смеси от стенок цилиндра, и кривая сжатия имеет показатель политропы выше показателя адиабаты.

По мере нагрева смеси кривая будет приближаться к адиабате, и когда смесь будет иметь температуру выше температуры стенки, то кривая начнет приближаться к изотерме, так как тепло от сжатой смеси, имеющей температуру выше стенки цилиндра, будет передаваться обратно стенкам — показатель линии сжатия уменьшается. Благодаря различным температурам, имеющимся внутри цилиндра и в камере сжатия, оба указанные явления могут наблюдаться одновременно.

В виду сложности протекания явлений при сжатии, дать какой-либо аналитический расчет данного процесса не представляется возможным, поэтому при тепловых расчетах принято линию сжатия считать за политропу с постоянным показателем во время всего сжатия.

Среднее значение показателя политропы сжатия колеблется в пределах $n_1 = 1,3-1,38$, причем нижний предел берется для моторов с интенсивным охлаждением и малым числом оборотов, а верхний предел берется для моторов с менее интенсивным охлаждением и большим числом оборотов.

Температура конца сжатия может быть определена по формуле:

$$T_c = \left(\frac{V_a}{V_c}\right)^{n_1 - 1} \cdot T_a = T_a \epsilon^{n_1 - 1},$$

где T_a — температура конца всасывания;

ϵ — степень сжатия;

n_1 — показатель политропы сжатия;

V_a — объем в начале сжатия;

V_c — объем камеры сжатия.

Давление конца сжатия определится по формуле:

$$P_c = P_a \left(\frac{V_a}{V_c}\right)^{n_1} = P_a \epsilon^{n_1}.$$

Степень сжатия желательно иметь возможно большей, так как с увеличением последней увеличивается термическое использование двигателя, следовательно, уменьшается расход топлива на 1 л. с. ч. Однако, степень сжатия зависит от рода применяемого топлива и ограничивается величинами, при которых получаются преждевременные вспышки сжимаемой смеси.

Температуры самовоспламенения некоторых жидких и газообразных топлив приводятся в таблице 38.

Когда поршень еще не закончил сжимающего хода, рабочая смесь должна быть воспламенена при помощи электрической искры. Зажигание смеси преждевременно (против теоретического цикла) производится для того, чтобы к моменту прихода поршня в верхнее мертвое положение вся смесь была воспламенена полностью.

Сгорание смеси заканчивается всегда значительно позже момента воспламенения, так как на сгорание последней требуется вполне определенный промежуток времени, поэтому конец сгорания смеси обыкновенно заканчивается в начале линии расширения.

При реакции сгорания очень важное место занимает скорость сгорания, которая для современных автотракторных двигателей, работающих на жидком топливе, не должна быть ниже 15—25 м/сек, так как время, отводимое для сгорания смеси, колеблется в сотых долях секунды. В случае меньших скоростей сгорания рабочей смеси последняя вынуждена будет догорать на линии расширения; следовательно, внутренняя энергия сгоревшей смеси использована быть не может.

Скорость сгорания зависит:

- 1) от начальной температуры смеси, с увеличением которой скорость сгорания увеличивается,
- 2) от завихривания смеси во время сгорания: при увеличенном завихривании скорость сгорания увеличивается,
- 3) от давления смеси к началу сгорания: с повышением давления скорость сгорания уменьшается,
- 4) от структуры молекул топлива: чем меньше превращений должны претерпевать молекулы при сгорании, тем больше будет скорость сгорания,
- 5) от присутствия в смеси инертных газов, с увеличением которых скорость сгорания уменьшается.

Так как рабочая смесь, получаемая из газа и воздуха, содержит значительно большее количество инертных газов, чем рабочая смесь из жидкого горючего и воздуха, то скорость сгорания газовой рабочей смеси будет меньше. Для того чтобы газовая смесь (благодаря малым скоростям сгорания) не догорала на линии расширения, необходимо при работе на газе иметь больший угол опережения зажигания, чем для двигателей, работающих на жидком топливе.

Коэффициент молекулярного изменения. При сгорании рабочей смеси может быть увеличение или уменьшение объема продуктов сгорания по сравнению с объемом свежей смеси.

Назовем химическим коэффициентом молекулярного изменения отношение количества продуктов сгорания (в молях) к

количеству свежего заряда до сгорания. Для газового топлива этот коэффициент будет:

$$\mu_0 = \frac{M}{1 + \alpha L_0} = \frac{M}{1 + L} = 1 - \frac{\Delta M}{1 + L}.$$

Здесь M — объем продуктов сгорания, равный:

$$M = (1 + L - \Delta M).$$

ΔM — сокращение объема продуктов сгорания по сравнению с объемом свежей рабочей смеси. На основании изложенного эта величина будет равна;

$$\Delta M = \frac{\text{CO} + \text{H}_2}{2}.$$

Действительным коэффициентом молекулярного изменения назовем отношение количества молей сгоревших газов, плюс остаточные газы, к количеству молей свежей смеси плюс остаточные газы

$$\mu = \frac{M + M_r}{(1 + L) + M_r},$$

где M_r — количество молей остаточных газов.

Разделив числитель и знаменатель этого выражения на $(1 + L)$, получим:

$$\mu = \frac{\frac{M}{1 + L} + \frac{M_r}{1 + L}}{\frac{1 + L}{1 + L} + \frac{M_r}{1 + L}}.$$

Здесь $\frac{M}{1 + L} = \mu_0$ — химический коэффициент молекулярного изменения;

$\frac{M_r}{1 + L} = \gamma$ — коэффициент остаточных газов (отношение количества остаточных газов к свежему заряду).

После подстановки получим:

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma}{1 + \gamma}.$$

В то время как коэффициент молекулярного изменения для жидких топлив всегда больше единицы, так как ΔM — величина положительная, для газообразных топлив этот коэффициент всегда меньше единицы, так как для них ΔM — величина отрицательная.

Последнее обстоятельство объясняется физико-химическими свойствами газообразного топлива.

Температура и давление конца сгорания. Температура конца сгорания может быть определена из уравнения сгорания, которое учитывает не только тепло, полученное при сгорании топлива, но и факторы, влияющие на температуру сгорания: потерю тепла от неполноты сгорания и теплоотдачу в стенки камеры сгорания, тепло, получаемое от сжатой рабочей смеси, и тепло, получаемое от остаточных газов.

Уравнения сгорания возьмем в окончательном виде:

$$\frac{\xi H_u}{1+L} + C'_v T_c + \gamma C''_v T_c = \mu (1+\gamma) C''_v T_z.$$

Здесь ξ — коэффициент выделения тепла, который для газовых двигателей изменяется в пределах 0,8—0,88;

H_u — теплотворная способность 1 моля рабочей смеси;

$1+L$ — объем рабочей смеси;

C'_v — средняя молекулярная теплоемкость для рабочей смеси (принимается как теплоемкость двухатомных газов).

Средние молекулярные теплоемкости по Лангену будут:

для двухатомных газов $mC_v = 4,625 + 0,00053 T$

” CO_2 $mC_v = 6,774 + 0,00189 T$

” H_2O $mC_v = 4,72 + 0,00215 T$

T_c — температура конца сжатия;

γ — коэффициент остаточных газов;

C''_v — средняя молекулярная теплоемкость продуктов сгорания;

μ — действительный коэффициент молекулярного изменения;

T_z — температура конца сгорания.

Все величины, которые входят в уравнение сгорания, известны из предыдущего расчета, за исключением температуры конца сгорания T_z ; решая полученное квадратное уравнение, найдем искомую величину.

Определив коэффициент молекулярного изменения μ и температуру конца сгорания T_c , можно будет определить давление конца сгорания рабочей смеси при постоянном объеме по следующей формуле:

$$P_z = \mu P_c \frac{T_z}{T_c}.$$

Вопрос о влиянии угла опережения зажигания на работу газового двигателя будет разобран ниже.

Процесс расширения

В то время как в идеальных циклах принимается, что расширение газов должно происходить адиабатически, в действительных циклах имеет место расширение продуктов сгорания с теплообменом между рабочим телом и стенками цилиндра,

поэтому кривая расширения представляет собою политропу с переменным показателем.

При теплоотдаче в стенки цилиндра кривая расширения будет протекать ниже адиабаты, что отразится на увеличении показателя политропы. Благодаря имеющему место догоранию рабочей смеси на линии расширения потерянное тепло в охлаждающую воду будет компенсироваться, приближая действительную линию расширения к адиабате и даже к изотерме.

При действительном цикле принимают показатель политропы за величину постоянную, которая колеблется в пределах $n_2 = 1,25 - 1,33$. Необходимо указать, что последняя величина должна быть выбрана в соответствии с коэффициентом выделения тепла ξ : чем меньше коэффициент выделения тепла, тем меньше показатель линии расширения, т. е. кривая приближается к изотерме, и наоборот.

Очевидно, что для газовых двигателей политропа расширения будет иметь показатель ниже 1,3, что характеризует собой газообразное топливо, имеющее небольшие скорости сгорания, следовательно, будет иметь место догорание рабочей смеси на линии расширения.

На величину показателя политропы расширения оказывают также влияние следующие факторы: форма камеры сжатия и особенно отношение величины омываемой горячими газами поверхности камеры сгорания к ее объему, давление конца сжатия, величина нагрузки и число оборотов двигателя.

Зависимость показателя политропы расширения от формы камеры сжатия и отношения величины омываемой газами поверхности камеры сгорания к ее объему особенно резко выделяется при подвесных клапанах, так как здесь получаются меньшие площади, омываемые горячими газами, следовательно, будут меньшие потери тепла в охлаждающую воду (в двигателях со стоячими клапанами эта потеря больше).

При увеличении давления конца сжатия показатель политропы расширения, по опытам Герберга, уменьшается.

При увеличении нагрузки показатель уменьшается, и наоборот. Так как с увеличением нагрузки увеличивается количество рабочей смеси, поступающей в цилиндр двигателя, то увеличивается и теплоотдача.

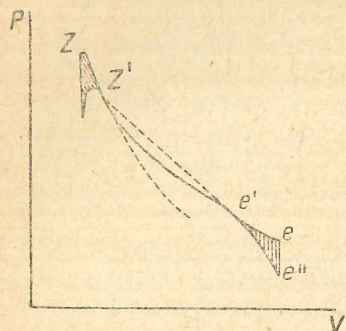
При увеличении числа оборотов двигателя показатель уменьшается вследствие того, что уменьшается время соприкосновения газов со стенками в процессе расширения, благодаря чему количество тепла, передаваемое охлаждающей воде, будет меньше.

На основании термодинамических формул, которые получаются из соотношений политропического процесса, можно будет определить давление и температуру конца расширения:

$$P_e = \left(\frac{V_z}{V_e}\right)^{n_2} P_z = \frac{P_z}{\epsilon^{n_2}}; \quad T_e = \left(\frac{V_z}{V_e}\right)^{n_2-1} T_z = \frac{T_z}{\epsilon^{n_2-1}}.$$

*

Процесс расширения обыкновенно не доводится до точки e (фиг. 55), так как выхлопной клапан открывается раньше, чем поршень придет в нижнее мертвое положение; это делается для того, чтобы лучше очистить цилиндр двигателя от отработанных газов.



Фиг. 55. Линия расширения.

Открытие выхлопного клапана (в этот момент заканчивается процесс политропического расширения) производится в точке e' , и кривая дальше протекает по линии $e'e''$. Затрихованная площадь представляет собою работу, потерянную вследствие преждевременного открытия выхлопного клапана, но эта потеря с большим избытком компенсируется, благодаря уменьшенному противодействию в процессе выхлопа и уменьшению веса оставшихся в камере сжатия отработанных газов.

Выше уже отмечалось, что выхлопной клапан открывается раньше нижней мертвой точки. Это предварение выхлопа колеблется от 30 до 50°. В этот момент отработанные газы имеют давление 2,5—4,5 ата, под влиянием последнего и происходит истечение газов из цилиндра двигателя через выхлопной клапан с скоростями, достигающими 600—700 м/сек.

Процесс выхлопа

Благодаря таким скоростям выхлопа, в момент конца выталкивания отработанных газов, внутри цилиндра может быть даже разрежение, создаваемое за счет инерции газов в выхлопном трубопроводе, т. е. будет происходить отсасывание отработанных газов. Это явление важно не только с точки зрения уменьшения сопротивления при выталкивании, но и для увеличения коэффициента подачи.

При выталкивании отработанных газов требуется затратить некоторую работу, которая расходуется на преодоление сопротивления в выхлопных клапанах, трубопроводе и глушителе.

С увеличением числа оборотов двигателя происходит увеличение скорости выталкивания, что вызывает увеличенное противодействие, следовательно, и большую затрату мощности на преодоление выталкивания отработанных газов. Следует отметить, что с увеличением числа оборотов фазы распределения должны дальше отстоять от мертвых точек.

Применение глушителей эжекционного типа (использование скорости потока воздуха) может до некоторой степени уменьшить сопротивление при выталкивании; в случае же приме-

нения глушителя, основанного на дросселировании, получим добавочное сопротивление, которое выражается в 50—100 мм рт. ст.; это явление может снизить мощность двигателя до 5%.

В том случае, если имеется длинный и прямой выхлопной трубопровод, то закрытие выхлопного клапана можно будет производить после открытия всасывающего; это даст возможность использовать инерцию движущегося столба отработанных газов для засасывания свежей смеси в цилиндр. Перекрытие клапанов увеличивает коэффициент подачи и улучшает очистку камеры сгорания от отработанных газов.

Перекрытие клапанов имеет тот недостаток, что часть свежей рабочей смеси может быть выброшена в выхлопной трубопровод неиспользованной, а также при перекрытии клапанов могут получаться вспышки в карбюраторе, вызванные малыми скоростями сгорания рабочей смеси (пуск двигателя в ход, бедная смесь и др.).

МОЩНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ

Мощность 4-тактного двигателя может быть определена по общеизвестной формуле:

$$N_i = P_i \frac{\pi D^2}{4} H \frac{ni}{60 \cdot 75 \cdot 2} \text{ л. с.},$$

или

$$N_i = \frac{P_i V_h ni}{900} \text{ л. с.},$$

где P_i — среднее индикаторное давление;

D — диаметр цилиндра в см;

H — ход поршня в м;

i — число цилиндров;

V_h — рабочий объем цилиндра в м.

В этой формуле для существующего двигателя все величины, кроме P_i известны.

Среднее индикаторное давление

Средним индикаторным давлением называется такое давление, которое непрерывно действует на поршень во время хода расширения.

Это давление может быть найдено как частное от деления площади индикаторной диаграммы на рабочий объем.

Площадь индикаторной диаграммы представляет собою работу газов за четыре такта (см. фиг. 54):

$$L_i = L_p - L_{ск}.$$

Из термодинамики известно, что работа расширения при политропическом процессе, с постоянным показателем политропы n_2 , будет

$$L_p = \frac{1}{n_2 - 1} (P_z V_z - P_e V_e).$$

Из уравнения политропы имеем:

$$P_z V_z^{n_2} = P_e V_e^{n_2}$$

или

$$P_e = P_z \left(\frac{V_z}{V_e} \right)^{n_2} = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}};$$

так как $V_z = V_c$ и $V_e = V_a = V_h + V_c$, то после подстановки получим:

$$L_p = \frac{P_z V_c}{n_2 - 1} \left[1 - \frac{\left(\frac{V_h}{V_c} + 1 \right)}{\varepsilon^{n_2}} \right],$$

или

$$L_p = \frac{P_z V_c}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right).$$

L_p на диаграмме выражается площадью $z e a' z'$.

Работа сжатия, по аналогии, при постоянном показателе политропы n_1 будет:

$$L_{сж} = \frac{P_c V_c}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right).$$

Полезная работа цикла определится как разность:

$$L_i = L_p - L_{сж} = \frac{P_z V_c}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{P_c V_c}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right).$$

Среднее индикаторное давление получим:

$$P'_i = \frac{L_i}{V_h} = \frac{P_c V_c}{V_h} \left[\frac{P_z}{P_c} \frac{1}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right];$$

так как $\frac{V_c}{V_h} = \frac{1}{\varepsilon - 1}$ и $\frac{P_z}{P_c} = \lambda$ — степень увеличения давления, то

$$P'_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right].$$

Это выражение для среднего индикаторного давления получено без учета потерь в площади диаграммы вследствие опережения зажигания, вследствие горения смеси в начале

линии расширения и предварения выхлопа. Вышеуказанные потери учитываются поправочным коэффициентом полноты диаграммы

$$\varphi = 0,94 - 0,95.$$

В 4-тактных двигателях, кроме введения поправки, нужно также из полученного среднего индикаторного давления вычесть вентиляционные потери, которые представляют собою потери на всасывание и выталкивание.

$$\Delta P = P_r - P_a.$$

Следовательно, исправленное среднее индикаторное давление будет:

$$P_i = \varphi P'_i - \Delta p,$$

где P'_i — среднее индикаторное давление теоретического цикла.

В виду того, что среднее индикаторное давление является основным фактором, влияющим на мощность двигателя, то для действительного цикла желательно его величину проверить по формуле, которая может быть получена на основании следующего вывода.

Теплотворная способность 1 м³ рабочей смеси (которая была определена выше) будет:

$$H_g = \frac{H_u}{1 + L},$$

где H_u — теплотворная способность 1 м³ газа;

L — действительно необходимое количество воздуха на 1 м³ газа, равное $L = \alpha L_0$.

Во время одного хода всасывания двигатель может засосать рабочей смеси $\eta_v V_h$, тогда количество тепла, которое может быть использовано за один рабочий ход, определится по следующему выражению:

$$\frac{H_u}{1 + \alpha L_0} \eta_v V_h.$$

Так как все тепло, выделенное этой рабочей смесью, в цилиндре использовано полностью быть не может, то, вводя в это выражение индикаторный коэффициент полезного действия, получим ту часть тепла, которая может быть превращена в цилиндре двигателя в индикаторную работу:

$$\frac{H_u}{1 + \alpha L_0} \eta_v V_h \eta_i.$$

Если ввести механический эквивалент, то индикаторная работа, выраженная в кгм, будет:

$$427 \frac{H_u}{1 + \alpha L_0} \eta_v V_h \eta_i.$$

Эту индикаторную работу за один рабочий ход, с другой стороны, можно выразить как произведение из среднего индикаторного давления на рабочий объем, т. е. $P_i V_h$.

Для того чтобы выразить работу в кгм, необходимо размерность P_i дать в кг/м², так как последняя величина обычно выражается в кг/см², то для этого нужно P_i умножить на 10 000:

$$10\,000 P_i V_h.$$

В виду того что два последних выражения представляют собою одинаковую работу, то, приравнявая их, получим:

$$427 \frac{H_u}{1 + \alpha L_0} \eta_v V_h \eta_i = 10\,000 P_i V_h.$$

Отсюда можно будет определить величину среднего индикаторного давления, выраженного в кг/см².

$$P_i = \frac{427}{10\,000} \frac{H_u}{1 + \alpha L_0} \eta_v \eta_i;$$

с учетом давлений и температур P_i будет:

$$P_i = \frac{427}{10^4} \frac{273}{1,033 T_0} \frac{P_0}{1 + \alpha L_0} \eta_v \eta_i.$$

Из приведенного выражения видно, что среднее индикаторное давление будет увеличиваться с увеличением теплотворной способности рабочей смеси, коэффициента подачи, индикаторного коэффициента полезного действия и с уменьшением коэффициента избытка воздуха.

Вполне очевидно, что при одинаковых условиях работы двигателя среднее индикаторное давление для газовых двигателей всегда будет меньше, чем для двигателей, работающих на жидком топливе.

Расход газа и твердого топлива

Если известна величина среднего индикаторного давления, то можно аналитически определить расход топлива на индикаторную силу-час и индикаторный коэффициент полезного действия.

Индикаторная мощность, полученная при сжигании 1 моля газа в течение 1 часа, будет

$$N'_i = \frac{10\,000 P_i V_i}{75 \cdot 3\,600} = \frac{P_i V_i}{27} \frac{\text{л.с.}}{\text{моль газа}},$$

где V_i — объем рабочей смеси в цилиндре двигателя, который получен из 1 моля газа и соответствующего количества воздуха при действительных условиях.

Этот объем при 0°C и 760 мм рт. ст. будет;

$$V_i = 22,4 (1 + L) \frac{\text{м}^3}{\text{моль газа}};$$

Объем рабочей смеси в цилиндре двигателя при T_0 (температура смеси $T_0 = T_{\text{см}}$) и P_0 (давление после смесителя) с введением коэффициента подачи будет:

$$V_i = 22,4 \frac{1,033}{P_0} \frac{T_0 (1 + L)}{273} \frac{\text{м}^3}{\eta_v \text{ моль газа}},$$

или

$$V_i = 0,0848 \frac{T_0 (1 + L)}{P_0 \eta_v} \frac{\text{м}^3}{\text{моль газа}}.$$

Подставляя полученное значение для V_i в уравнение N'_i , будем иметь:

$$N'_i = \frac{0,0848}{27} \frac{P_i T_0 (1 + L)}{P_0 \eta_v} \frac{\text{л.с.}}{\text{моль газа}}.$$

Расход топлива на 1 индикаторную силу-час в молях может быть определен по формуле:

$$C_i = \frac{1}{N'_i} \frac{\text{мол/л.с.ч.}}{\text{моль газа}}.$$

Подставляя значение для N'_i , получим:

$$C_i = \frac{27 \cdot 22,4}{0,0848} \frac{P_0}{T_0} \frac{\eta_v}{P_i (1 + L)} \frac{\text{м}^3}{\text{л.с.ч.}},$$

$$C_i = 7\,132 \frac{P_0}{T_0} \frac{\eta_v}{P_i (1 + L)} \frac{\text{м}^3}{\text{л.с.ч.}};$$

давление после смесителя можно без большой погрешности принять равным $P_0 = 1$ ата.

Индикаторный коэффициент полезного действия можно определить по формуле:

$$\eta_i = \frac{632}{C_i H_u}.$$

Подставляя в последнюю формулу значение C_i , получим:

$$\eta_i = \frac{632}{7\,132} \frac{T_0 P_i (1 + L)}{P_0 \eta_v H_u} = 0,0886 \frac{T_0 P_i (1 + L)}{P_0 \eta_v H_u}.$$

Определив индикаторный коэффициент полезного действия η_i , мы можем определить расход тепла, выраженный в калориях на 1 индикаторную силу-час по формуле:

$$Q_i = \frac{632}{\eta_i}.$$

Также можно будет определить и расход топлива (газа), выраженного в кубических метрах, на 1 индикаторную силу-час по более простой формуле, чем предыдущая:

$$C_i = \frac{Q_i}{H_u}$$

Зная расход газа на 1 и. с. ч., нетрудно определить расход твердого топлива, если известен выход газа с каждого килограмма топлива, по формуле:

$$G_i = \frac{C_i}{V_r}$$

где G_i — расход топлива на 1 и. с. ч. в кг;

C_i — расход газа на 1 и. с. ч. в м³;

V_r — количество газа получаемого из 1 кг топлива.

Механический коэффициент полезного действия

Индикаторная мощность, получаемая в цилиндре двигателя, полностью в механическую работу превращена быть не может, так как часть этой мощности должна быть израсходована на трение и приведение в действие вспомогательных механизмов — насосов, распределительного вала, магнето и т. д.

Следовательно, механический коэффициент полезного действия будет:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

где N_e — эффективная мощность двигателя;

N_i — индикаторная мощность двигателя.

Эффективная мощность будет:

$$N_e = N_i - N_r$$

где N_r — мощность, теряемая на трение и др.

Тогда можем написать:

$$\eta_m = \frac{N_i - N_r}{N_i}$$

Если вместо N_i , N_e и N_r ввести соответствующие средние давления P_i , P_e и P_r , то можно будет написать:

$$\eta_m = \frac{P_i - P_r}{P_i} = \frac{P_e}{P_i}$$

На основании вышесказанного можно написать значение для экономического коэффициента полезного действия:

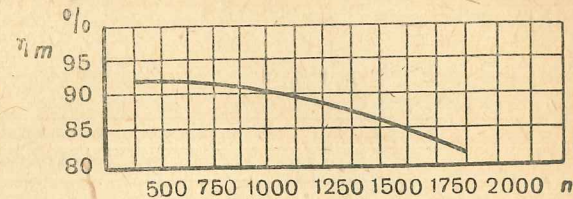
$$\eta_e = \eta_i \eta_m$$

Последняя величина имеет наиболее существенное значение в практическом отношении и представляет собою количество

тепла, выраженное в процентах, которое может быть использовано в двигателе на полезную работу.

Механический коэффициент полезного действия зависит от следующих факторов: от числа оборотов двигателя, степени сжатия, веса движущихся масс, нагрузки, температуры охлаждающей воды и др.

На фиг. 56 и 57 даны кривые изменения η_m в зависимости от числа оборотов и степени сжатия.



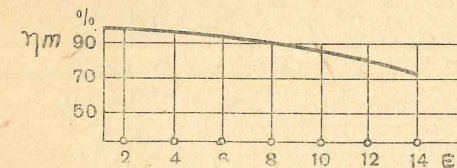
Фиг. 56. Зависимость механического коэффициента от числа оборотов.

По опытам Рикардо, в пределах температур охлаждающей воды от 20° до 70°С, механический коэффициент полезного действия увеличивается с увеличением температуры охлаждающей воды.

С увеличением веса поршня и шатуна механический коэффициент полезного действия уменьшается. С уменьшением нагрузки механический коэффициент полезного действия уменьшается, так как работа, затрачиваемая на трение, при изменении нагрузки остается постоянной.

Величина η_m для газовых двигателей колеблется в очень широких пределах $\eta_m = 0,72 - 0,85$; в среднем для автотракторных двигателей можно

принять $\eta_m = 0,8$, хотя для степени сжатия выше $\epsilon = 8$ можно ожидать еще более резкого падения последнего.



Фиг. 57. Зависимость механического коэффициента от степени сжатия.

В двигателях, переделанных с жидкого топлива на газообразное, падение η_m происходит, главным образом,

вследствие понижения мощности, следовательно, уменьшения нагрузки двигателя.

ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПЕРЕВОДЕ С ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА ГЕНЕРАТОРНЫЙ ГАЗ

При переводе двигателей с жидкого топлива на генераторный газ происходит потеря мощности. В этом разделе будут разобраны методы повышения мощности двигателя при работе на газообразном топливе и те пути, которые дают максимальный эффект в работе.

Часовой расход смеси для двигателя может быть определен по формуле:

$$V_{\text{час}} = C_e N_e (1 + \alpha L_0)$$

где C_e — расход рабочей смеси на 1 эф. силу-час в м³;
 N_e — эффективная мощность двигателя;
 α — коэффициент избытка воздуха;
 L_0 — теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 м³ газа;
 $(1 + \alpha L_0)$ — количество рабочей смеси в м³, получаемой с 1 м³ газа.

С другой стороны, этот же расход смеси может быть определен по формуле:

$$V_{\text{час}} = V_h i \eta_v \frac{n}{2} 60 \cdot \frac{1,033}{273} \cdot \frac{T_0}{P_0},$$

где V_h — рабочий объем одного цилиндра двигателя в м³;
 i — число цилиндров;
 η_v — коэффициент подачи;
 n — число оборотов в минуту;
 P_0 — давление смеси в ата;
 T_0 — температура смеси в °С.

Приравнявая два последних уравнения между собой, получим выражения для эффективной мощности:

$$N_e = \frac{273}{1,033} \cdot \frac{P_0}{T_0} \cdot \frac{V_h \eta_v i n 30}{C_e (1 + \alpha L_0)},$$

так как

$$C_e = \frac{632}{\eta_e H_u},$$

то, подставляя, получим:

$$N_e = \frac{273 \cdot 30}{1,033 \cdot 632} \cdot \frac{P_0}{T_0} \cdot \frac{V_h \eta_v i n H_u \eta_e}{(1 + \alpha L_0)}.$$

Эффективный коэффициент полезного действия равен:

$$\eta_e = \eta_m \eta_t \eta_g,$$

где η_m — механический коэффициент полезного действия;
 η_t — термический коэффициент полезного действия;
 η_g — относительный коэффициент полезного действия.

Подставляя значение эффективного К.П.Д. в последнюю формулу, получим после сокращения:

$$N_e = 12,54 \cdot \frac{P_0}{T_0} \cdot \frac{H_u}{(1 + \alpha L_0)} V_h i n \eta_v \eta_g \eta_m.$$

Из приведенной формулы видно, что эффективная мощность двигателя зависит от целого ряда параметров, которые ниже мы разберем каждый в отдельности.

Давление и температура смеси

На величину давления смеси перед двигателем оказывает влияние сопротивление газогенераторной установки. При проектировании необходимо обращать самое серьезное внимание на конструкции генератора, очистителей, холодильников и смесителя.

Температура смеси также оказывает влияние на мощность двигателя: при повышении температуры смеси мощность двигателя уменьшается. Отсюда вытекает вполне законное требование ко всем газогенераторным установкам — иметь наиболее низкие температуры газа перед смесителем, так как при недостаточном охлаждении не будут использованы все преимущества более охлажденного газа перед менее охлажденным.

Максимальный эффект от охлаждения газа получается в том случае, когда за счет его теплоты производят подогрев бункера газогенератора и воздуха, поступающего на газификацию.

Влияние подогрева бункера и воздуха, за счет теплоты выходящих из газогенератора газов, на мощность двигателя было исследовано НАТИ. Испытание производилось с двигателем ГАЗ, в котором был устранен подогрев рабочей смеси и степень сжатия была увеличена до 6,4. Все испытания были произведены с одной газогенераторной установкой, при этом менялся только подогрев бункера и воздуха.

В результате исследований была получена мощность двигателя без подогрева бункера и воздуха, равная 27 л. с., с подогревом бункера — 30,8 л. с., а с подогревом бункера и воздуха — 31,3 л. с.

Полученное увеличение мощности двигателя нужно отнести за счет охлаждения газа и за счет улучшения самого процесса газификации, происходящего при подогреве бункера и воздуха.

Для уменьшения температуры смеси, при переделке автотракторных двигателей с жидкого топлива на газообразное, производят устранение подогрева рабочей смеси путем установки нового всасывающего коллектора, что в частности уже применяется на двигателях автомобилей ГАЗ и ЗИС-5. В этих коллекторах подогрев рабочей смеси за счет теплоты выхлопных газов, как это имеет место в стандартных двигателях, полностью устранен.

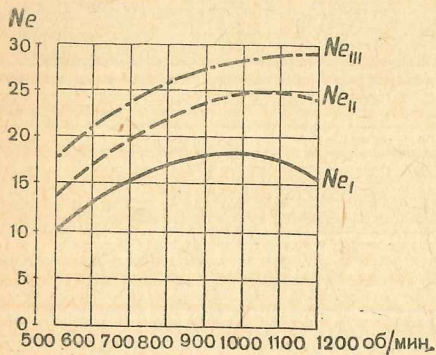
Теплотворная способность рабочей смеси

Теплотворная способность рабочей смеси зависит от калорийности газа и коэффициента избытка воздуха.

Калорийность газа может быть повышена следующими способами: 1) улучшением процесса газификации; 2) подведением отработанных газов двигателя под решетку газогенератора;

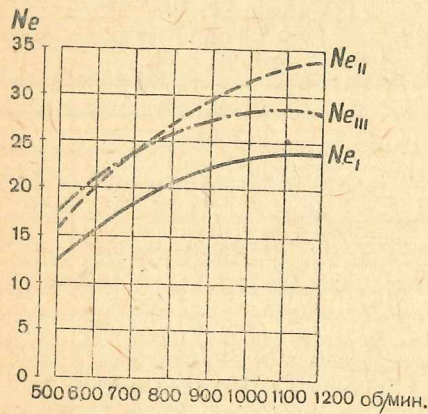
3) введением в зону восстановления газогенератора нефти и других жидких продуктов (керосин, картерное отработанное масло, нефтяные остатки и др); 4) карбюрированием газа жидким горючим.

Опыты с подведением отработанных газов двигателя под решетку газогенератора с целью повышения калорийности газа производились в лаборатории тепловых двигателей ВТА



Фиг. 58. Мощность двигателя при $\epsilon = 4,02$:

N_{eI} — мощность на газе, N_{eII} — мощность на газе со спиртом, N_{eIII} — мощность на бензине.



Фиг. 59. Мощность двигателя:

1 — при степени сжатия $\epsilon = 5,75$; N_{eI} — мощность на газе; N_{eII} — мощность на газе со спиртом; 2 — при степени сжатия $\epsilon = 4,02$; N_{eIII} — мощность на бензине.

очень высокой теплотой испарения, благодаря чему происходит сильное охлаждение рабочей смеси, и хорошими антидетонационными свойствами.

При проведении опытов карбюрирование рабочей смеси производилось при помощи сопла, установленного за смеси-

и дали благоприятные результаты; теплотворная способность 1 м^3 газа, получаемая из генератора с поддувкой, получалась примерно выше на 100 кал, чем без поддувки.

Опыты с введением в восстановительную зону газогенератора нефти и других жидких продуктов (получается в результате так называемый дингаз) проводились в лаборатории тепловых двигателей ВТА, в специально сконструированном газогенераторе. Опыты показали, что в случае введения жидких продуктов в восстановительную зону, при незначительном увеличении степени сжатия, можно получить ту же мощность двигателя, какую имеет двигатель при работе на жидком топливе. Произведенных опытов недостаточно для выявления экономического эффекта, и это мероприятие требует продолжительной экспериментальной проверки.

Эффективное повышение теплотворной способности рабочей смеси происходит при карбюрировании ее жидким горючим. Наиболее пригодным жидким топливом для карбюрирования газовой смеси является спирт, так как он обладает

теплом. Увеличение мощности двигателя происходило в зависимости от количества введенного спирта.

На фиг. 58, 59 и 60 даны кривые мощностей, полученных во время опыта, при различных степенях сжатия ($\epsilon = 4,02$, $\epsilon = 5,75$ и $\epsilon = 8,29$) для нормального газа и газа, карбюрированного спиртом, по сравнению с нормальной мощностью на бензине ($\epsilon = 4,02$).

Из приведенных диаграмм видно, что при работе на смешанном газе (при теплотворной способности газа от 1100 до 1400 кал/м³), при числе оборотов двигателя $n = 1000$ об/мин, имели место, в зависимости от степени сжатия, следующие потери мощности:

При $\epsilon = 4,02$	потери мощн. в %	—35,1
> $\epsilon = 5,75$	> > > > > >	> > > > > > —15,8
> $\epsilon = 8,29$	> > > > > >	> > > > > > —5,6

При карбюрировании газа спиртом получается следующее:

При $\epsilon = 4,02$	потери мощн. в %	—12,8
> $\epsilon = 5,75$	повыш. > > >	> > > —13,8
> $\epsilon = 8,29$	> > > > >	> > > > > —22,0

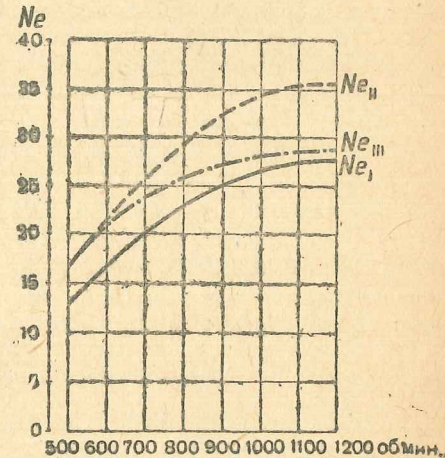
Расход тепла при испытании, выраженный в кал/час, при карбюрировании газа спиртом выражался (при $n = 1200$ об/мин и $\epsilon = 5,75$) в 95 250 кал; это общее тепло распределялось таким образом: 54 250 кал/час генераторного газа и 41 000 кал/час спирта.

При таком расходе тепла получается повышение мощности двигателя, по сравнению с бензиновой ($\epsilon = 5,75$), на 13,8%; очевидно, расход спирта будет снижен, если достигнуть только бензиновой мощности. Кроме спирта, также можно производить присадку к газовой рабочей смеси и других жидких горючих: бензол, бензин, лигроин, керосин и т. д.

Влияние присадки бензина к газовой рабочей смеси на мощность двигателя было детально исследовано в НАТИ. Исследование производилось с двигателем ЗИС-5 и древесным газогенератором НАТИ-10, при этом было выявлено следующее.

Двигатель на генераторном газе со степенью сжатия 7,3 давал 47 л. с. при $n = 2400$ об/мин.

В случае присадки к газу 38% бензина, что соответствовало его расходу 9,5 кг/час, мощность двигателя при $\epsilon = 7,3$ и $n = 2400$ об/мин была получена равной 66 л. с.



Фиг. 60. Мощность двигателя:

1 — при степени сжатия $\epsilon = 8,29$; N_{eI} — мощность на газе; N_{eII} — мощность на газе со спиртом; 2 — при степени сжатия $\epsilon = 4,02$; N_{eIII} — мощность на бензине.

В случае присадки 65% бензина, что соответствовало расходу 15,8 кг/час, мощность двигателя при $\epsilon = 7,3$ и $n = 2,400$ об/мин была получена равной 77,5 л. с.

При работе двигателя на бензине при $\epsilon = 4,8$ и $n = 2500$ об/мин мощность была получена равной 72,5 л. с. при этом расход бензина составлял 24,2 кг/час.

Кроме того, было установлено, что присадка бензина свыше 11 кг/час для двигателя ЗИС-5 вызывала детонационные стуки.

При изучении влияния присадки бензина в эксплуатационных условиях на автомобиле ЗИС-5 без нагрузки и с нагрузкой в 2,5 т были получены следующие результаты: в случае работы двигателя на газе с присадкой расход бензина при полной нагрузке был в 4,5 раза и без нагрузки в 10 раз меньше, чем при работе двигателя на одном бензине. Эти сравнительные данные были получены при расходе бензина на 100 км пробега. Предварительные лабораторные опыты в НАТИ показали, что при присадке жидкого топлива к генераторному газу можно бензин заменить керосином.

Вполне естественно, что карбюрирование газа жидким горючим повысит стоимость эксплуатации данного двигателя. Этот дополнительный расход может быть сведен до минимума, если производить добавление его только в тех случаях, когда требуется повысить мощность двигателя, а в остальное время работать на одном газе.

Рабочий объем цилиндра (литраж)

Увеличение литража двигателя (за счет рассверловки цилиндров) повлечет за собой увеличение мощности. Это, однако, не может считаться способом повышения мощности существующих двигателей при переводе с жидкого горючего на газ, так как при увеличении литража двигателя мощность последнего на бензине также возрастет. Кроме того, рассверловка цилиндров у существующих автотракторных двигателей может быть произведена на незначительную величину, а в некоторых конструкциях двигателей совершенно недопустима.

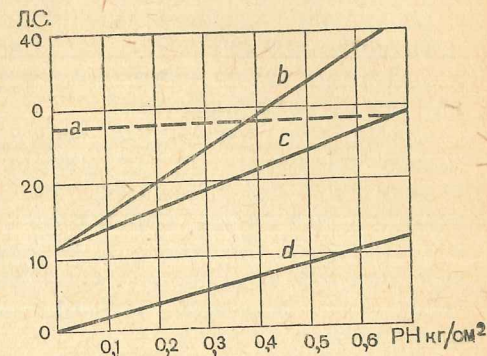
Совершенно иначе обстоит дело с увеличением литража вновь проектируемых двигателей, так как в этом случае можно будет учесть дополнительные нагрузки на отдельные детали и трущиеся поверхности вследствие увеличения общего давления на поршень.

Коэффициент подачи

На увеличение коэффициента подачи большое влияние оказывает наддув. Наддувом называется принудительное нагнетание рабочей смеси в цилиндры двигателя при помощи компрессора. Это мероприятие может не только увеличить давление всасывания до атмосферного, но и повысить его до требуемой величины.

Опыты с применением наддува в газогенераторных двигателях, произведенные в Ленинграде (ВНИДИ), показали, что для получения мощности двигателя на газе, равной бензиновой мощности, рабочая смесь должна подаваться в цилиндры двигателя под давлением около 1,7 ата.

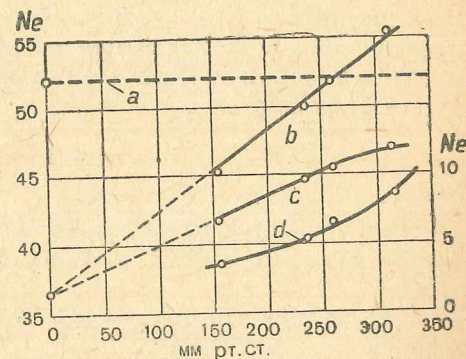
Результаты опытов ВНИДИ приведены на фиг. 61, где по оси абсцисс отложены абсолютные давления наддува, а по оси ординат — мощности в л. с. Здесь *a* представляет собою мощность двигателя на бензине при $\epsilon = 3,8$ и $n = 900$ об/мин; *b* — брутто мощности двигателя на газе при тех же $\epsilon = 3,8$ и $n = 900$ об/мин; *c* — нетто мощности двигателя и *d* — мощность, затрачиваемая на компрессор для нагнетания рабочей смеси в цилиндры двигателя.



Фиг. 61.

Результаты опытов проф. Кюна приведены для сравнения на фиг. 62, где кривые представляют собою мощность двигателя (при наддуве), работающего на генераторном газе, получаемом из дров, а также мощности, потребляемой компрессором в зависимости от давления наддува, выраженного в миллиметрах ртутного столба.

Прямая *a* представляет собою мощность двигателя на бензоле при степени сжатия $\epsilon = 5,17$ и $n = 1100$ об/мин; кривая *b* — брутто



Фиг. 62.

мощности на дровяном газе при $\epsilon = 6,89$ и $n = 1100$ об/мин; кривая *c* — нетто мощности двигателя на газе; кривая *d* — мощность, потребляемая компрессором для нагнетания рабочей смеси в цилиндры двигателя.

На основании приведенных результатов опытов можно заключить, что при давлении наддува, равном 1,67 ата, можно получить ту же мощность, какую двигатель имеет на бензине.

Произведенные опыты проф. Кюна и ВНИДИ показывают, что в том случае, когда вместе с наддувом увеличивают и степень сжатия, расход мощности на компрессор составляет

15—20% от общей мощности двигателя; если же применить только один наддув без изменения степени сжатия, то расход мощности на компрессор будет составлять 40—50% от общей мощности двигателя, т. е. почти половина мощности будет израсходована на компрессор.

Вообще применение одного наддува без изменения степени сжатия нельзя считать целесообразным, так как в этом случае приходится вводить почти двойное количество тепла и вследствие постоянства термического коэффициента полезного действия иметь чрезвычайно большой отвод тепла в охлаждающую воду, что вызовет увеличение термической напряженности двигателя.

Кроме всех указанных мероприятий, коэффициент подачи можно увеличить путем увеличения время-сечения всасывающих клапанов, которое заключается в том, что увеличивают подъем всасывающего клапана или увеличивают время его открытия. Каков будет эффект от увеличения время-сечения, сказать трудно, так как первая выполненная для этого переделка двигателя ЧТЗ бригадой Автодора пока еще не проверена.

Термический коэффициент полезного действия

При увеличении термического коэффициента полезного действия мощность двигателя будет также увеличиваться.

Термический коэффициент полезного действия для цикла Отто выражается формулой:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}}$$

Из этой формулы видно, что термический коэффициент будет увеличиваться с увеличением степени сжатия и показателя адиабаты.

В виду того что показатель адиабаты может меняться только в очень незначительных пределах, будем рассматривать только степень сжатия.

Степень сжатия двигателей внутреннего сгорания обуславливается температурой самовоспламенения смеси и детонацией. Ниже помещена таблица, которая указывает примерно допустимые степени сжатия для различных топлив, применяемых в двигателях внутреннего сгорания.

Двигатели керосиновые	$\epsilon = 3 - 4$
Двигатели бензиновые (автомобильного типа)	$\epsilon = 4 - 5,5$
Спиртовые двигатели	$\epsilon = 7 - 8$
Газогенераторные двигатели	$\epsilon = 6 - 10$

Так как для газогенераторных двигателей термический коэффициент полезного действия будет выше, чем для бензиновых, то, следовательно, количество тепла, выделившееся

при сгорании газовой рабочей смеси, будет переведено в механическую работу также с большим коэффициентом, чем при бензиновой.

Мощность двигателя с повышением степени сжатия будет увеличиваться, а также одновременно будет уменьшаться расход газа и дров на 1 л. с. ч.

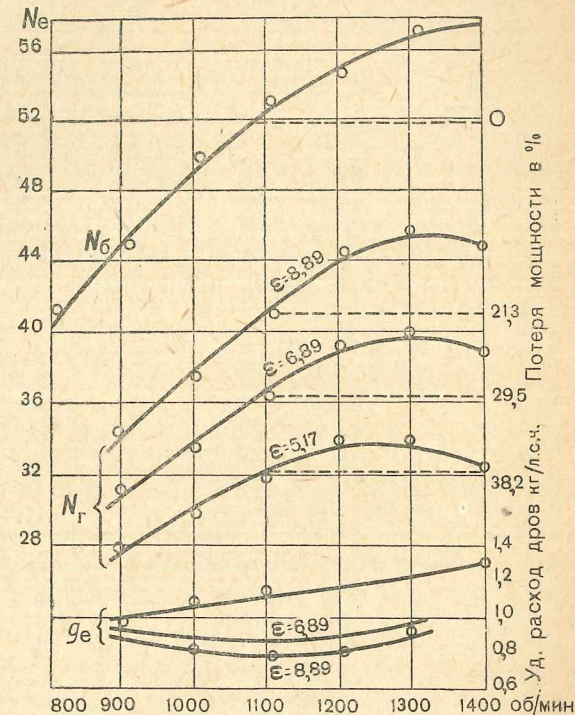
На фиг. 63 даны кривые изменения мощности и удельного расхода топлива в зависимости от степени сжатия.

Из приведенных кривых видно, что двигатель на бензоле при $\epsilon = 5,17$ и $n = 1100$ об/мин развивает мощность $N_e = 52$ л. с. (справа указана потеря, равная нулю). При работе двигателя на генераторном газе, получаемом из дров, при тех же оборотах $n = 1100$ об/мин получают следующие потери мощности (в зависимости от степени сжатия): при $\epsilon = 5,17$ потеря $\Delta N_e = 38,2\%$, при $\epsilon = 6,89$ потеря $\Delta N_e = 29,5\%$ и при $\epsilon = 8,89$ потеря $\Delta N_e = 21,3\%$.

Расход дров также будет изменяться при $n = 1100$ об/мин от 1,18 кг до 0,8 кг, причем больший расход будет соответствовать меньшей степени сжатия, и наоборот.

В табл. 39 приведены зависимости среднего эффективного давления и удельного расхода древесного угля от степени сжатия, полученные на конкурсе военных грузовых автомобилей во Франции. Из таблицы видно, что при увеличении степени сжатия мощность двигателя растет, а удельный расход древесного угля уменьшается.

На допустимую величину степени сжатия в газогенераторных двигателях оказывает весьма существенное влияние содержание водорода в генераторном газе. Чем больше будет находиться водорода в газе, тем меньшие степени сжатия должны быть применены для двигателя.



Фиг. 63.

Таблица 39

Степень сжатия	Среднее эффективное давление в кг/см ²	Удельный расход древесного угля на 1 л. с. ч. в г
4,20	2,40	850
4,98	3,78	605
5,88	3,81	598
6,25	4,33	533
7,21	4,50	428

При исследовании работы газовых двигателей установлено, что при температуре всасываемого газа 140—150°С и при содержании водорода в нем 15—16%, степень сжатия должна быть около 4,66, а при содержании водорода 5—7%, последняя находилась за пределами 6,16. Дальнейшее увеличение степени сжатия для данных газов вызывало детонацию.

Приведенные степени сжатия не могут являться контрольными, так как температура газов в указанных опытах была чрезмерно высока.

Учитывая все данные, полученные в лабораторных и производственных условиях при работе автотракторных двигателей на газогенераторном топливе, на практике останавливаются на степени сжатия 7—8 и редко доводят до 9. Это обстоятельство обуславливается еще и тем, что пуск газогенераторных двигателей автотракторного типа производится в большинстве случаев на жидком горючем, следовательно, при пуске может иметь место детонация. Кроме того, при высоких степенях сжатия затрудняется пуск двигателя, т. е. стартер не в состоянии будет провернуть двигатель или, в случае ручного пуска, тракторист не сможет приложить соответствующего усилия.

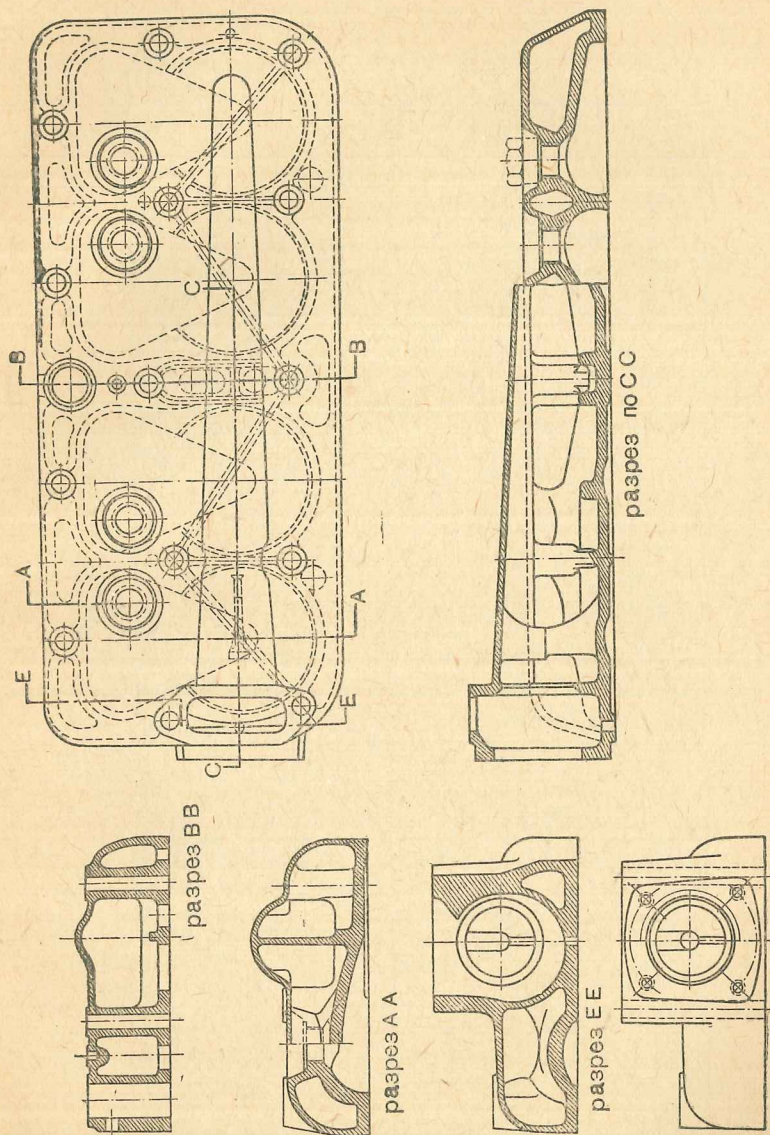
В последнее время на некоторых установках очень удачно был применен пуск двигателя на газе. У нас в Союзе первая установка, где двигатель пускался непосредственно на газе, была оборудована в 1934 г. на автомобиле Я-5.

Пуск двигателя на газе заключается в том, что вначале розжиг газогенератора производится специальным электрическим вентилятором, подсасывающим газ к смесителю, затем через 6—10 мин двигатель пускается стартером. При этом напряжение аккумуляторной батареи в большинстве случаев применяется 12 в.

Преимущества пуска двигателя на газе заключаются в следующем: 1) отсутствие бензинового бака, что устраняет опасность воспламенения, и запуск может быть произведен в любой местности; 2) питательная система имеет более простую конструкцию, что упрощает управление и обслуживание.

При практической переделке двигателей с жидкого топлива на газообразное степень сжатия является наиболее эффектив-

ным мероприятием, повышающим мощность. Поэтому все двигатели, приспособляемые к работе на газе, имеют повышенные степени сжатия по сравнению с бензиновыми.

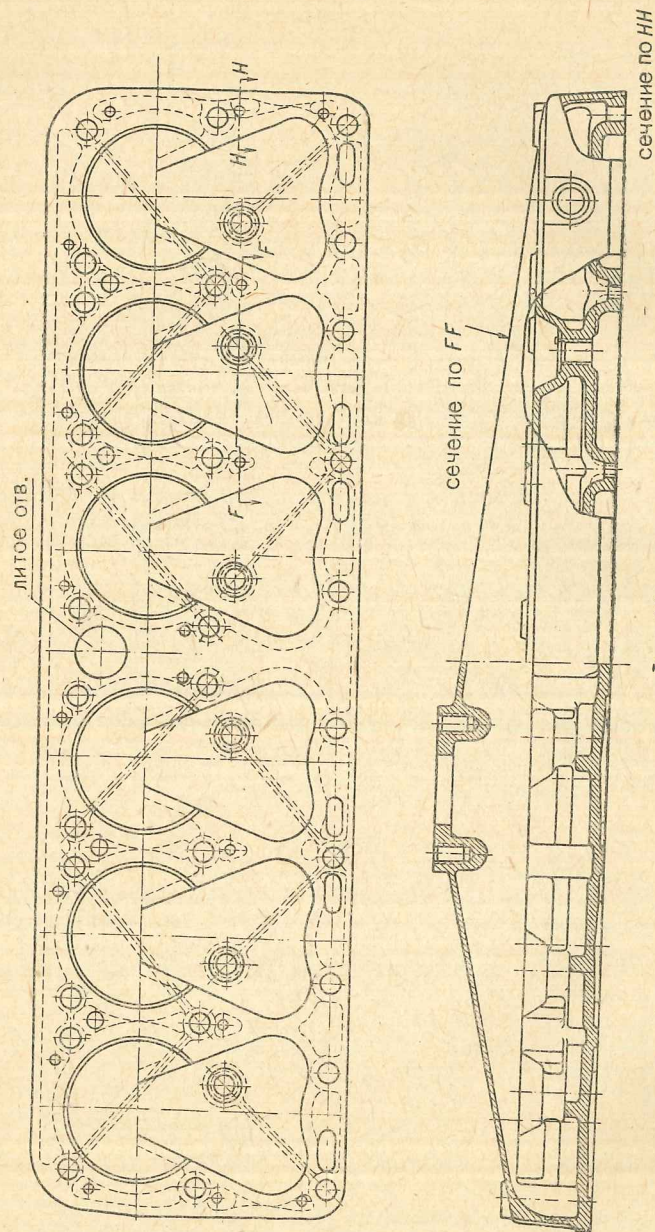


Фиг. 64.

Повышение степени сжатия осуществляется за счет постановки другой головки, имеющей меньший объем камеры сжатия.

На фиг. 64 представлена головка двигателя ГАЗ, приспособленная для работы на генераторном газе, где степень сжа-

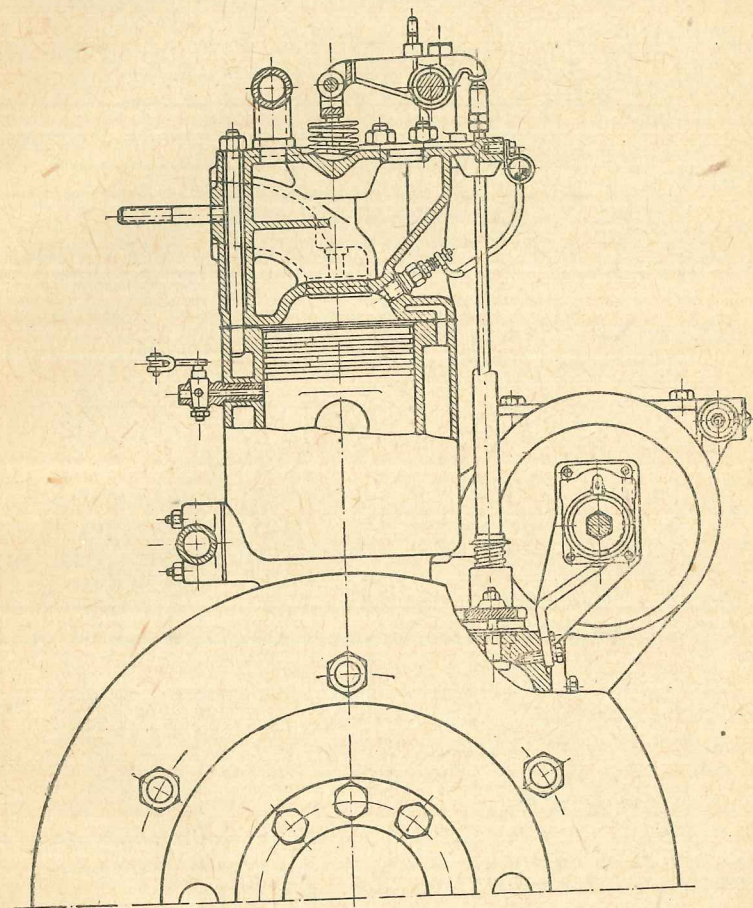
тия увеличена до $\epsilon = 7,15$. Эта головка от стандартной отличается тем, что здесь уменьшен объем камер сжатия и



Фиг. 65.

опущены ниже свечи, что же касается внешних размеров, то они остались без изменения.

На фиг. 65 представлена головка двигателя ЗИС-5, предназначенная для работы на генераторном газе и имеющая степень сжатия $\epsilon = 7$. Внешние размеры в этой головке не изменились, тогда как камеры сжатия имеют меньший объем, и, кроме того, здесь также опущены ниже свечи.



Фиг. 66.

Свечи в головках ГАЗ и ЗИС-5 опущены ниже (утоплены) для того, чтобы не могло иметь места замедленное распространение пламени в камере сгорания, так как если свеча не будет опущена ниже, то электроды ее будут находиться в образовавшемся колодце.

На фиг. 66 представлена головка двигателя ЧТЗ с увеличенной степенью сжатия до $\epsilon = 8$ и предназначенная для работы на генераторном газе. Здесь также уменьшена камера

сгорания и опущена свеча, а внешние размеры головки остались без изменения.

Кроме того, здесь увеличено время-сечение всасывающего клапана за счет смещения центра качания коромысла.

Относительный коэффициент полезного действия

Относительный к. п. д. учитывает использование тепла в двигателе по отношению к идеальной машине.

Этот коэффициент будет тем выше, чем ближе к мертвой точке полностью сгорит рабочая смесь. Так как газовая рабочая смесь имеет меньшие скорости сгорания, чем смесь бензиновая, то отсюда вытекает требование к газовому двигателю — иметь большее опережение зажигания.

Испытаниями установлены следующие наивыгоднейшие углы опережения зажигания для различных степеней сжатия.

Для бензина при $\epsilon = 5,17$ наивыгоднейший угол опережения был установлен	— 29
> газа $\epsilon = 5,17$ угол опережения	— 39°
> > $\epsilon = 6,89$ >	— 35,5
> > $\epsilon = 8,89$ >	— 31,5°

Отсюда видно, что скорость сгорания рабочей смеси зависит от степени сжатия; следовательно, при дальнейшем увеличении ее можно было бы дойти до такого предела, где пришлось бы уменьшить угол опережения зажигания против нормального. Очевидно, в последнем случае скорость сгорания газовой смеси была бы больше скорости сгорания бензиновой.

На основании приведенного анализа индикаторной мощности двигателя при работе на генераторном газе можно заключить, что для получения максимальной ее величины, при переделке двигателя с жидкого светлого горючего на газ, необходимо следующее:

- 1) увеличить степень сжатия двигателя путем отливки новой головки с уменьшенным объемом камеры сгорания;
- 2) иметь температуру газа, поступающего в смеситель, возможно низкой;
- 3) необходимо сделать отдельными всасывающий и выхлопной коллекторы, для устранения подогрева рабочей смеси;
- 4) сопротивление всей газогенераторной установки должно быть по возможности минимальным;
- 5) увеличить опережение зажигания двигателя, в зависимости от числа оборотов и степени сжатия;
- 6) увеличить время-сечение всасывающих клапанов путем переделки клапанных коромысел или изготовления нового распределительного вала;
- 7) изменить фазы распределения двигателя, что также

можно сделать путем изготовления нового распределительного вала.

Кроме того, для некоторых двигателей необходимо перенести выше или установить вновь декомпрессионные краники в целях лучшего запуска двигателя.

При выполнении всех указанных условий мощность двигателя на генераторном газе будет составлять 70—80% от бензиновой. Следовательно, при переводе двигателя с бензина на газ минимальная потеря мощности будет составлять 20%, которая может быть компенсирована наддувом или присадкой жидких горючих к газовой рабочей смеси.

В настоящее время при переводе автотракторных двигателей с жидкого топлива на газ производят только увеличенные степени сжатия и установку нового всасывающего коллектора. Кроме того, при проектировании газогенераторной установки предусматривается хорошее охлаждение газа и минимальное сопротивление всей системы.

АВТОТРАКТОРНЫЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

Современные конструкции автотракторных газогенераторных установок вполне могут быть размещены на любом автомобиле или тракторе. Следовательно, любой автомобиль или трактор может быть переведен с жидкого топлива на генераторный газ.

Газогенераторная установка обычно состоит из следующих отдельных частей: газогенератор, очиститель газа, охладитель газа, смеситель газа с воздухом, вентилятор для розжига, система трубопроводов.

Газогенератор на грузовых автомобилях обычно монтируется в левом переднем углу платформы, сзади кабины водителя; на легковых автомобилях и автобусах — сзади кузова; на тракторах — в местах снятого бака для жидкого горючего (ЧТЗ и Коммунар), а также с левой стороны водителя (СТЗ—ХТЗ).

Очистители газа на автомобилях в большинстве случаев располагаются под кузовом в задней или передней части, а на тракторах — сзади сиденья водителя.

Охладители газа на автомобилях монтируются или сзади под платформой или впереди радиатора. Иногда охладители располагают сбоку кабинки водителя. На тракторах охладители монтируют сзади сиденья водителя или перед радиатором.

Смеситель, как правило, устанавливается около всасывающего коллектора.

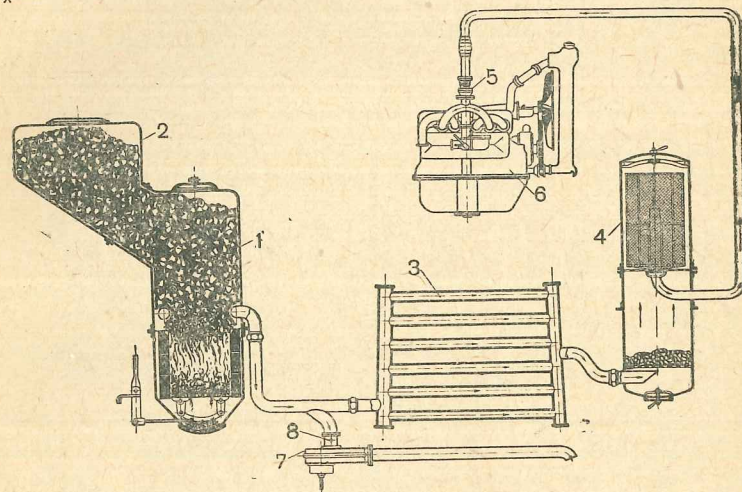
Вентилятор может быть установлен в любом удобном месте, но отсасывание газа обычно производится перед смесителем.

Обычно для работы на генераторном газе приспособляют стандартные бензиновые двигатели. Однако, в последнее время за границей довольно часто стали использовать автотракторные дизели с измененной головкой цилиндра. В случае же использования бензинового двигателя, как правило, усиливают кривошипно-шатунный механизм, что связано с увеличенными степенями сжатия.

ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА

На фиг. 67 представлена схема газогенераторной установки проф. Наумова, предназначенная для грузового автомобиля ГАЗ-АА. Газ по выходе из генератора попадает в охладитель 3, затем проходит очиститель 4 и по трубопроводу поступает в смеситель 5. Для розжига газогенератора имеется ручной вентилятор 7 с клапаном 8, который служит для его включения и выключения. Бункер 1 является основным, а бункер 2 дополнительным. Пуск двигателя 6 производится на бензине. Степень сжатия двигателя $\epsilon=5$.

Общий вид монтажа установки на автомобиле представлен на фиг. 68.



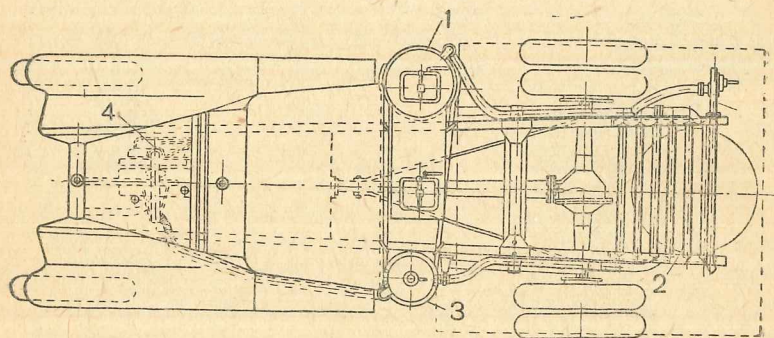
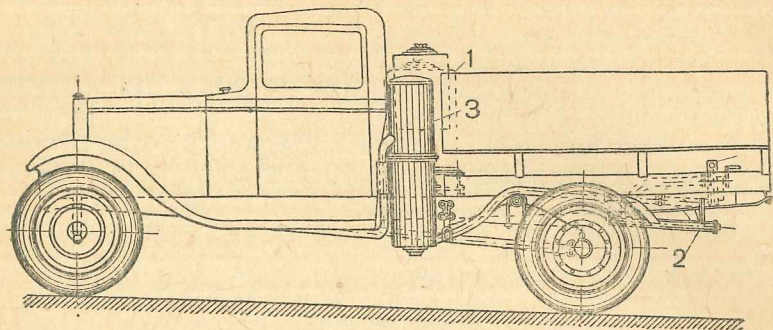
Фиг. 67.

Эта установка испытывалась в пробегах Ленинград — Тифлис (1933 г.) и Ленинград — Москва — Ленинград (1934 г.), где были получены следующие средние показатели:

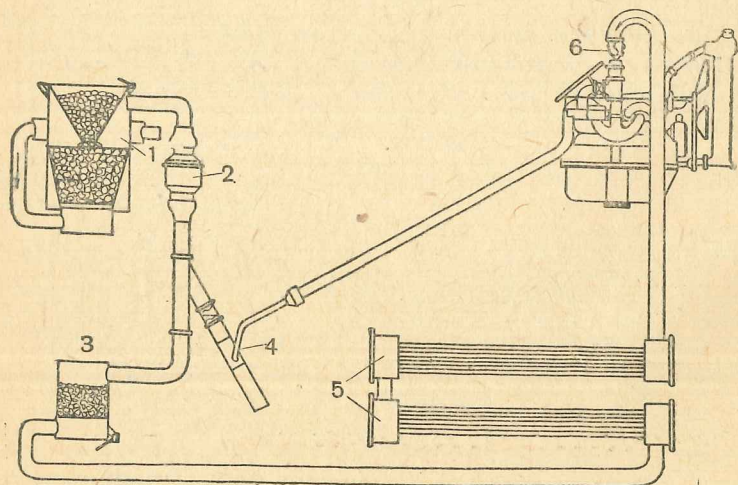
	Ленинград — Тифлис	Ленинград — Москва — Ленинград
Полезная нагрузка	1 300 кг	1 011 кг
Расход топлива (древ. уголь) на 100 км	45,3 »	48 »
Удельный расход топлива на 1 т/км	0,35 »	0,43 »
Емкость бункера	50 »	50 »
Дальность действия на одной загрузке	—	100—127 км
Расход бензина на 1 км пробега	0,0165 кг	—
Средняя техническая скорость	24,35 км/ч	24,6 км/ч
Среднее время запуска (включая розжиг вентилятором)	—	15—25 мин.

Схема газогенераторной установки инж. Прощакова представлена на фиг. 69. Эта установка работает по прямому

процессу на антраците и предназначена для грузового автомобиля ГАЗ-АА.



Фиг. 68.



Фиг. 69.

Насыщенный водяными парами воздух подводится под колосниковую решетку, а полученный газ отбирается в верхней части газогенератора 1. Затем газ проходит через механический очиститель 2, химический очиститель 3, охладитель 5 и поступает в смеситель 6. Эжектор 4 служит для розжига.

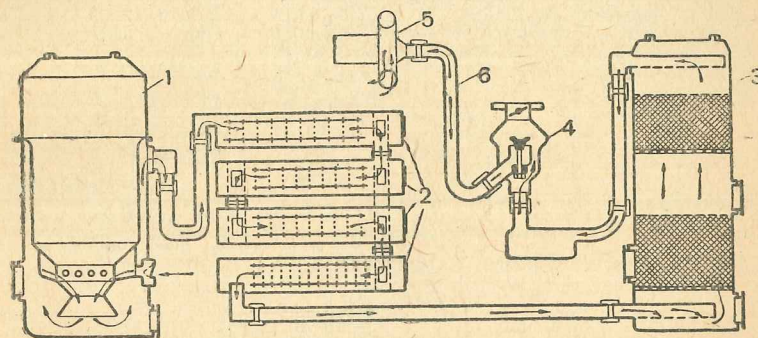
Механический очиститель представляет собой обыкновенный воздухоочиститель для двигателя ЗИС-5. Химический очиститель представляет собой цилиндр, наполненный активированным углем, окисляющим образовавшийся из серы топлива сернистый газ и сероводород до элементарной серы, которая и осаждается в угле.

Расход топлива (антрацит АС) на 1 км пробега составлял около 300 г, а расход воды — 120 г.

ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ ОПРОКИНУТОГО ПРОЦЕССА

Древесные газогенераторные установки

На фиг. 70 представлена схема газогенераторной установки ЗИС-13, предназначенной для грузового автомобиля ЗИС-5.



Фиг. 70.

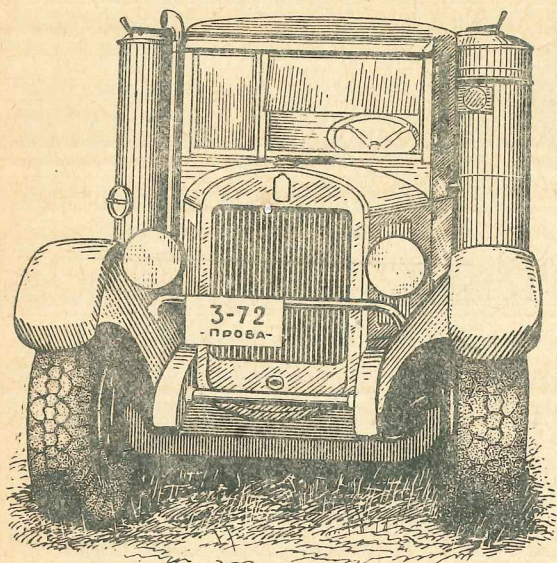
Газ по выходе из генератора 1 последовательно проходит четыре инерционных очистителя 2, затем поступает в тонкий очиститель 3, откуда проходит к смесителю 4.

Розжиг газогенератора производится при помощи вентилятора 5, приводимого в действие от электромотора. Труба 6 служит для отсасывания газа во время розжига и подачи воздуха в смеситель. Это сделано в целях подачи в смеситель более чистого воздуха, который при помощи трубы отбирается около крыши кабинки водителя; кроме того, в эту трубу будет выходить газ при резком уменьшении нагрузки двигателя.

Газогенераторная установка монтируется на длиннорамном стандартном шасси ЗИС-8, применяющемся для автобусов. Электрооборудование автомобиля 12-вольтовое, емкость ак-

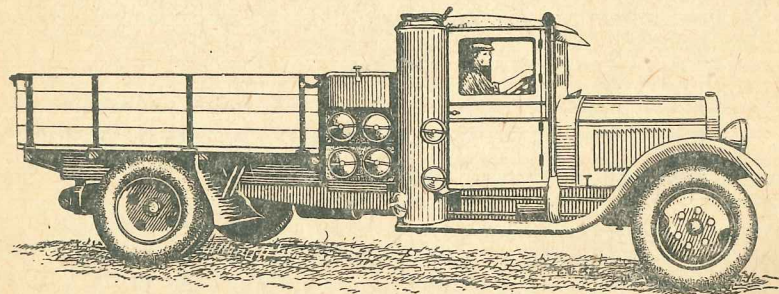
кумуляторной батареи 144 амп/час, мощность динамомашины 225 *вт*. Зажигание от магнето.

Пуск двигателя производится непосредственно на газе, но для гаражного маневрирования предусмотрен карбюратор Солекс.



Фиг. 71.

Расположение газогенератора и тонкого очистителя на автомобиле показано на фиг. 71. С левой стороны автомобиля расположен газогенератор, а с правой — очиститель.



Фиг. 72.

Расположение грубых и тонкого очистителей на автомобиле показано на фиг. 72. Над грубыми очистителями помещен ящик для запаса топлива. Перед кабиной водителя, в правом углу, видна труба, через которую засасывается воздух в смеситель во время работы двигателя на газе, а также отсасывается газ во время розжига газогенератора.

Степень сжатия двигателя увеличена до $\epsilon = 7$. Всасывающий и выхлопной коллекторы в целях устранения подогрева смеси выполнены раздельными.

Монтаж газогенератора и тонкого очистителя на автомобиле производится сзади кабины, по углам. Грубые очистители помещаются сзади кабины на лонжеронах, над которыми располагается ящик, служащий для запаса топлива.

Расположение газогенератора и тонкого очистителя на автомобиле показано на фиг. 71.

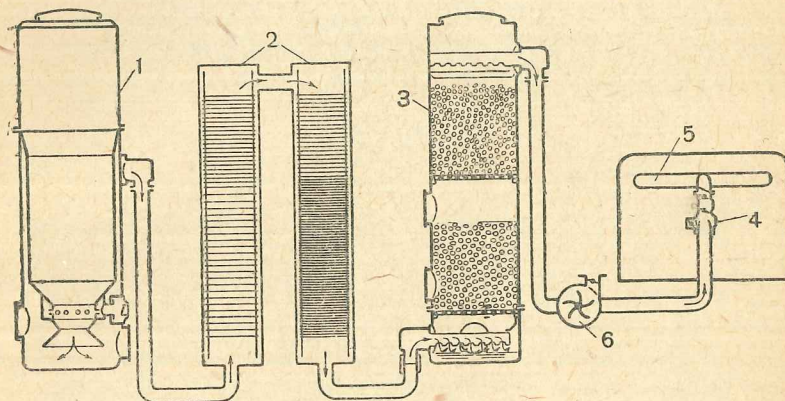
В нижней части этой трубы расположены вентилятор с электромотором.

Эта установка испытывалась в июне 1936 г. в Загорском леспромхозе, где были получены следующие показатели:

Средняя полезная нагрузка	3 т
Расход топлива (древ. чурки) на 100 км	81 кг
Удельный расход топлива на 1 т/км	0,27 >
Емкость бункера	75 >
Дальность действия на одной загрузке	70 км
Средняя техническая скорость	24 км/ч
Среднее время запуска	9 мин.

Комиссией по испытаниям эта установка была рекомендована для серийного производства.

На фиг. 73 представлена схема газогенераторной установки НАТИ Г-14, предназначенной для грузового автомобиля ГАЗ-АА.



Фиг. 73.

Газ из газогенератора 1 поступает в грубые инерционные очистители 2, затем проходит через тонкий очиститель 3 и подводится к смесителю 4 и всасывающему коллектору 5.

Розжиг газогенератора производится при помощи вентилятора 6, приводимого во вращение от электромотора мощностью 60 *вт*.

Степень сжатия двигателя увеличена до $\epsilon = 6,5$. Пуск двигателя производится непосредственно на газе, но для гаражного маневрирования устанавливается карбюратор Солекс, имеющий меньшие проходные сечения, чем ГАЗ-Зенит. Всасывающий коллектор установлен новый, предусматривающий устранение подогрева смеси.

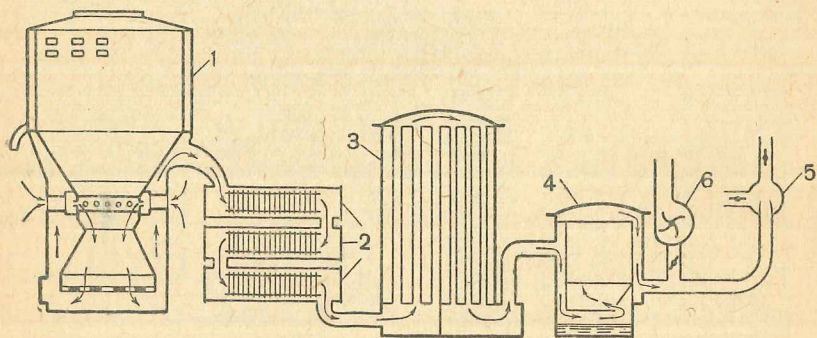
Электрооборудование автомобиля 6-вольтовое, причем установлены две стандартные батареи аккумуляторов, соединенных между собой параллельно, вследствие чего общая емкость увеличилась до 160 амп/час. Стандартные свечи с резь-

бой диаметром 22 мм заменены свечами с резьбой 18 мм. Стартер, динамомашинка и зажигание остаются стандартные. При испытании этой установки в июне 1936 г. в Загорском леспромхозе были получены следующие показатели:

Средняя полезная нагрузка	1,53 т
Расход топлива (древ. чурки) на 100 км	47 кг
Удельный расход топлива на 1 т/км	0,307 кг
Емкость бункера	55 кг
Дальность действия на одной загрузке	90 км
Средняя техническая скорость	24 км/ч
Среднее время запуска	9 мин.

Комиссией по испытаниям установка была рекомендована для серийного производства.

На фиг. 74 представлена схема газогенераторной установки НАТИ Г-13, предназначенной для трактора ЧТЗ. Газогенера-



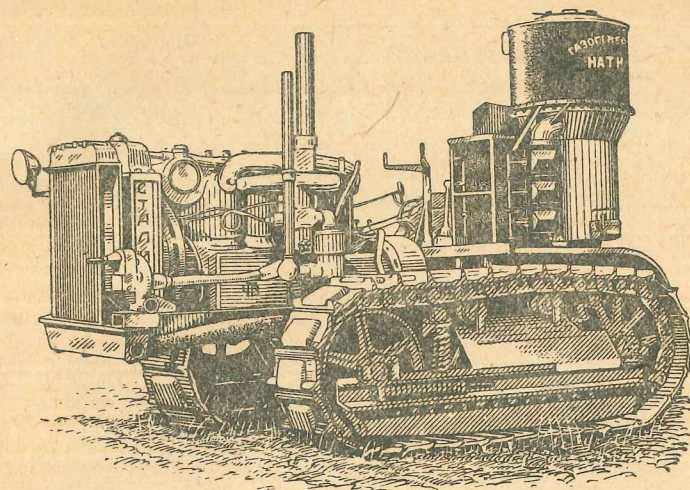
Фиг. 74.

торная установка состоит из газогенератора 1, трех грубых инерционных очистителей 2, охладителя газа 3, тонкого самоочищающегося очистителя 4, смесителя 5 и ручного вентилятора 6. Газ из генератора поступает в грубые очистители, затем проходит через охладитель газа, тонкий очиститель и подходит к смесителю.

Для розжига газогенератора служит ручной вентилятор. Пуск двигателя производится на бензине, для чего оставлен стандартный карбюратор и установлен между мотором и радиатором бензиновый бачок емкостью 20 л. Для устранения подогрева газовой рабочей смеси всасывающий и выхлопной коллекторы выполнены отдельными. Степень сжатия двигателя увеличена до $\epsilon=7$ путем установки новых головок. Штанги толкателей укорочены на 33 мм. Воздух при работе на бензине (запуск) поступает неочищенным, а при работе на газе — проходит через стандартный воздухоочиститель.

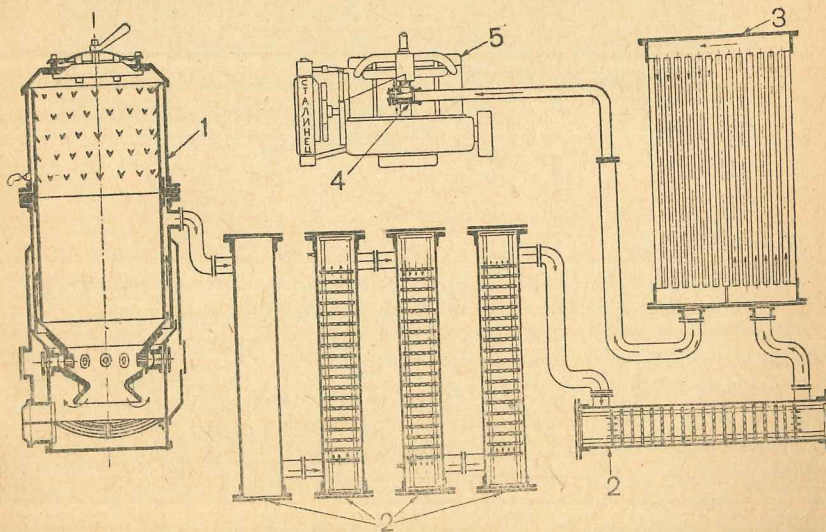
Монтаж газогенератора и трех грубых очистителей (фиг. 75) производится на месте снятого топливного бака. Охладитель

газа монтируется перед радиатором, тонкий очиститель — с правой стороны радиатора. С левой стороны охладителя



Фиг. 75.

монтируется вентилятор, который соединяется с трубой газа около смесителя.

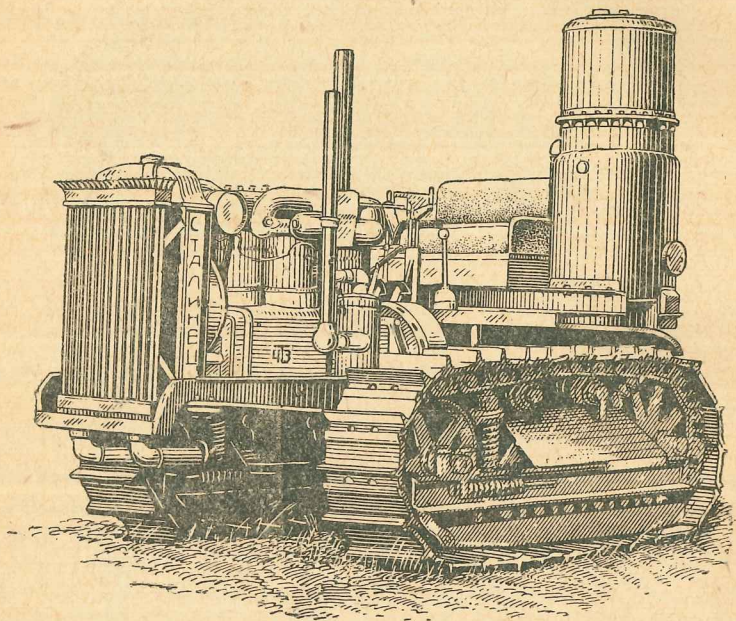


Фиг. 76.

На фиг. 76 представлена схема газогенераторной установки Вастан, предназначенной для трактора ЧТЗ. Образовавшийся

в газогенераторе 1 газ поступает в первый очиститель, который представляет собой ничем не заполненную трубу прямоугольного сечения. В этом очистителе происходит очистка газа только за счет резкого уменьшения скорости, вследствие чего более крупные частицы будут оседать.

После первого очистителя газ проходит последовательно четыре очистителя 2, представляющие собой также прямоугольные трубы, но имеющие внутри пластинки с отверстиями. Из очистителей газ поступает в холодильник 3, откуда проходит к смесителю 4 и двигателю 5.



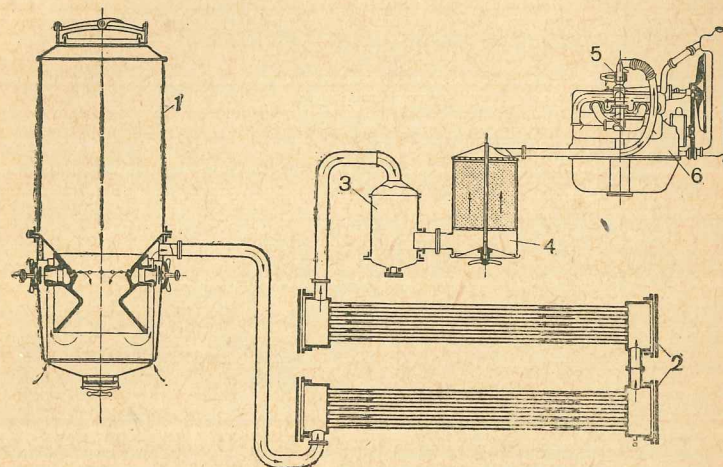
Фиг. 77.

Степень сжатия двигателя увеличена до $\epsilon = 7$. Розжиг газогенератора производится или самотягой или двигателем; вентилятора установка не имеет. Пуск двигателя производится на бензине, для чего установлен бензиновый бачок. При работе на бензине (запуск) воздух поступает неочищенным, а при работе на газе — проходит через стандартный воздухоочиститель. Всасывающий и выхлопной коллекторы у опытного образца оставлены стандартными, нормально же они должны быть отдельными.

Монтаж газогенератора (фиг. 77) производится на месте снятого топливного бака, а всех пяти очистителей — сзади сиденья водителя. Охладитель газа монтируется перед радиатором. Бачок для пускового бензина монтируется между двигателем и радиатором.

На фиг. 78 представлена схема газогенераторной установки Автодор-2, предназначенной для грузового автомобиля ГАЗ-АА. Газ из газогенератора 1 поступает в охладитель 2, где происходит закалка и охлаждение газа. Сконденсировавшиеся водяные пары из газа могут быть удалены через спусковые краники. Затем газ проходит последовательно центробежный 3 и поверхностный 4 очистители и подводится к смесителю 5.

Пуск двигателя 6 производится на бензине, для чего оставлен стандартный карбюратор. Степень сжатия двигателя увеличена до $\epsilon = 5,6$ за счет отливки новой головки. Для устра-



Фиг. 78.

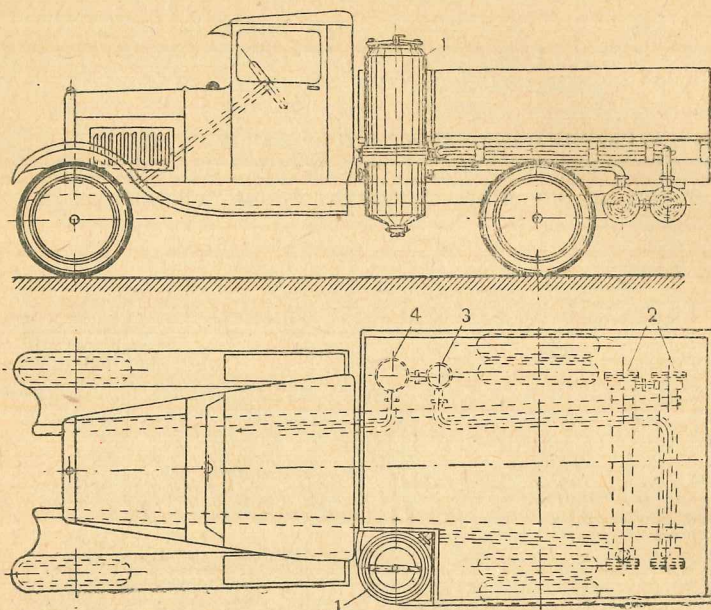
нения подогрева рабочей смеси всасывающий коллектор перевернут на 180° . Зажигание и электрооборудование стандартные.

Монтаж газогенератора (фиг. 79) производится в левом переднем углу платформы, сзади кабины водителя. Охладитель газа монтируется под кузовом, на месте снятого запасного колеса. Центробежный и поверхностный очистители монтируются под кузовом, с правой стороны автомобиля.

Эта установка была испытана в пробеге Москва — Ленинград — Москва (1934 г.), где были получены следующие показатели:

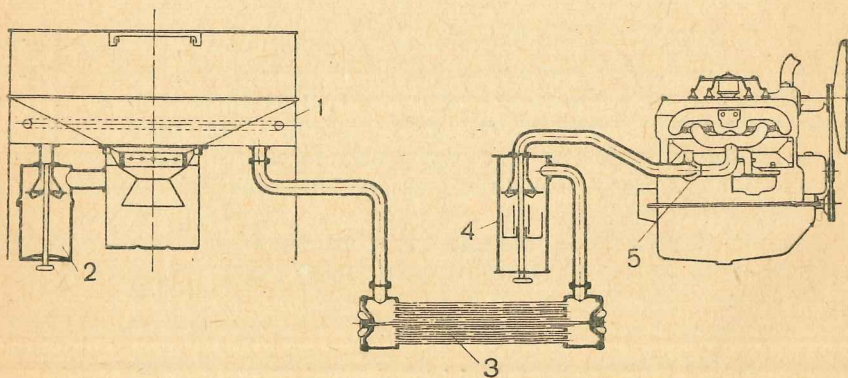
Средняя полезная нагрузка	0,917 т
Расход топлива (древ. чурки) на 100 км	67,3 кг
Удельный расход топлива на 1 т/км	0,223 кг
Емкость бункера	50 кг
Дальность действия на одной загрузке	80 км
Средняя техническая скорость	28,8 км/ч
Среднее время запуска	7 мин.

Комиссией по испытаниям установка по динамике и экономике была признана как наилучшая из однотипных газогенераторных машин, участвовавших в пробеге.



Фиг. 79.

На фиг. 80 представлена схема газогенераторной установки Автодор-3, предназначенной для легкового автомобиля ГАЗ-А.



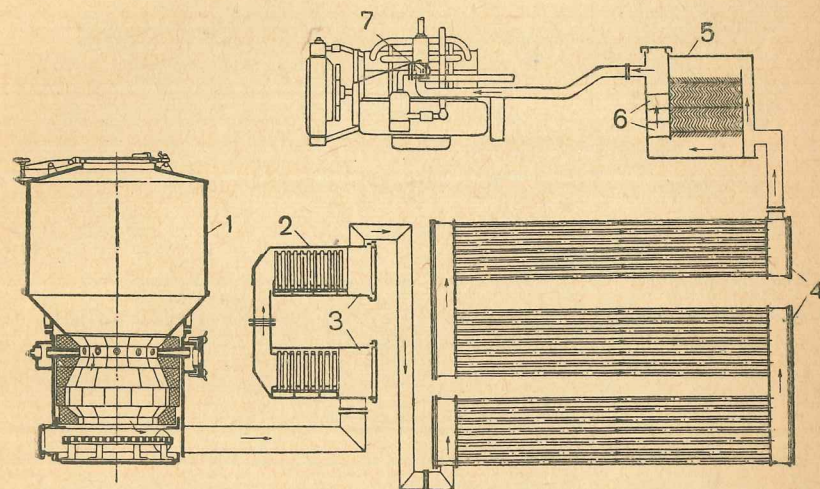
Фиг. 80.

Газ из зольникового пространства поступает в грубый очиститель 2, откуда проходит под конус бункера газогенера-

тора 1 для нагрева конуса, что создает условия лучшего опускания топлива. Затем газ поступает в охладитель 3 и через тонкий очиститель 4 проводится к смесителю 5.

Газогенератор монтируется сзади кузова и укрывается кожухом в виде багажника. Грубый очиститель монтируется около газогенератора и помещается также под кожухом. Охладитель газа монтируется под кузовом, в задней части, а тонкий очиститель — под капотом двигателя.

При испытаниях этой установки в пробеге Москва — Киев — Москва (1935 г.) была получена средняя техническая скорость 46,1 км/час при расходе топлива (древ. чурки) 0,324 кг/км.



Фиг. 81.

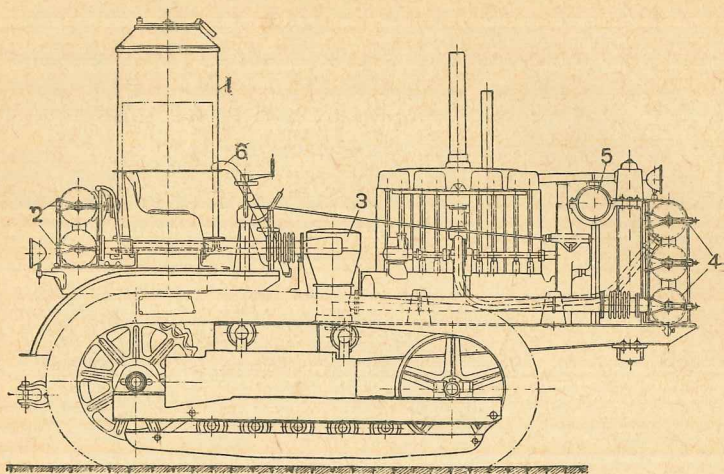
На фиг. 81 представлена схема газогенераторной установки Автодор-1, предназначенной для трактора ЧТЗ. Газ из генератора 1 поступает в грубый очиститель 2, затем через набивку 3 проходит охладитель 4 и тонкий очиститель 5 и через набивку 6 направляется к смесителю 7.

Степень сжатия двигателя увеличена до $\epsilon = 8$, изменено время-сечение всасывающих клапанов в сторону увеличения. Пуск двигателя происходит на бензине.

Монтаж генератора производится на месте снятого топливного бака. Грубый очиститель и охладитель монтируются сзади сиденья водителя, а тонкий очиститель — с правой стороны от сиденья водителя.

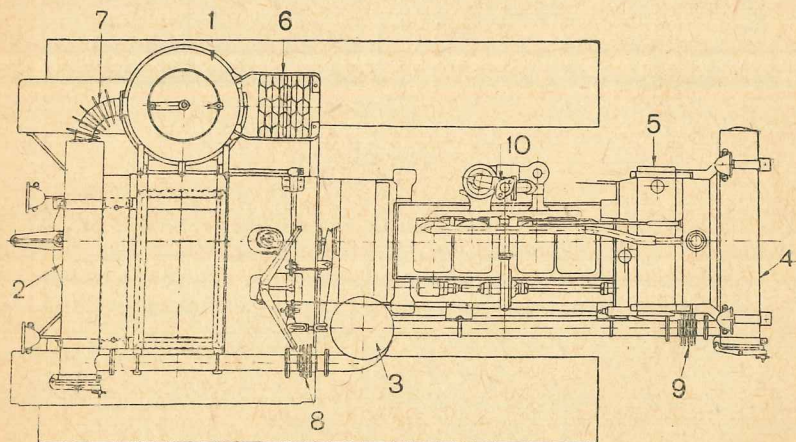
При испытаниях этой установки в ЛТА были получены следующие данные: тяговое усилие на 2-й передаче при $n = 650$ об/мин и $\epsilon = 8$ равнялось 3850 кг; потеря мощности около 20%; часовой расход древесных чурок около 45 кг.

Во время испытаний выяснилось, что эта установка дает бессмолистый газ только в случае средних и больших обо-



Фиг. 82.

ротов двигателя, а также при влажности древесины не выше 15%. При малых оборотах и большей влажности топлива генератор дает газ, содержащий смолы.



Фиг. 83.

На фиг. 82 и 83 представлена газогенераторная установка Д-9, смонтированная на тракторе ЧТЗ. Газ из генератора 1 поступает в очистители-охладители 2, откуда проходит в циклон 3. Из циклона газ поступает в очистители-охладители 4 и затем к смесителю 10.

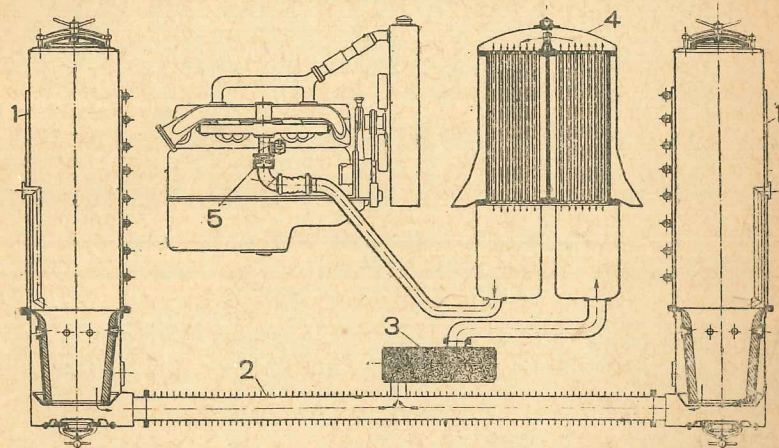
Запуск двигателя производится на бензине, для чего оставлен стандартный карбюратор и установлен бензиновый бачок 5. Степень сжатия двигателя увеличена до $\epsilon=7$. Розжиг генератора производится или двигателем или самотягой. Зажигание стандартное.

Для удобства загрузки топлива в газогенератор сделана специальная лестница 6.

В целях устранения перекосов в установке при тряске, что может вызвать неплотность в соединениях, предусмотрены компенсаторы 7, 8 и 9.

Древесноугольные газогенераторные установки

На фиг. 84 представлена схема газогенераторной установки предназначенной для автомобиля Я-5.



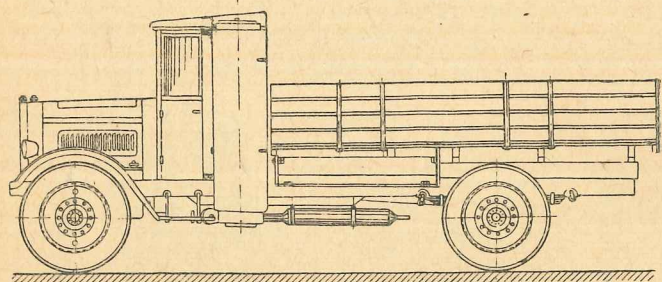
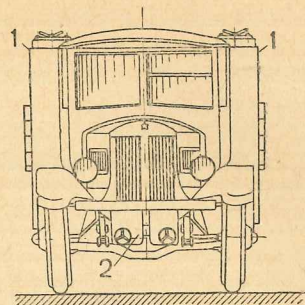
Фиг. 84.

Она отличается от других наличием двух параллельно работающих газогенераторов. Установка двух газогенераторов дает возможность не уменьшать площади грузовой платформы.

Газ из двух генераторов 1 поступает в снабженный ребрами коллектор 2, где происходит его закалка, т. е. охлаждение до температур, при которых прекращаются обратные реакции. Далее газ проходит через очиститель 3 и охладитель 4, а из последнего направляется к смесителю 5.

Монтаж газогенераторов (фиг. 85) производится с боков кабины водителя. Кабина имеет вырезы, вследствие чего сиденье уменьшено, однако, на нем могут свободно поместиться

два человека и с некоторыми неудобствами даже три. Очиститель монтируется под кабиной, а охладитель — перед радиатором.



Фиг. 85. Монтаж газогенераторной установки на автомобиле Я-5:

1 — газогенераторы; 2 — охладитель.

Эта установка испытывалась в пробеге Москва — Ленинград — Москва (1934 г.), где были получены следующие показатели:

Средняя полезная нагрузка	3,1 т
Расход топлива (древ. уголь) на 100 км	85 кг
Удельный расход топлива на 1 т/км	0,105 кг
Емкость бункера	100 кг
Дальность действия на одной загрузке	100 км
Средняя техническая скорость	21,7 км/ч
Среднее время запуска	13—20 мин

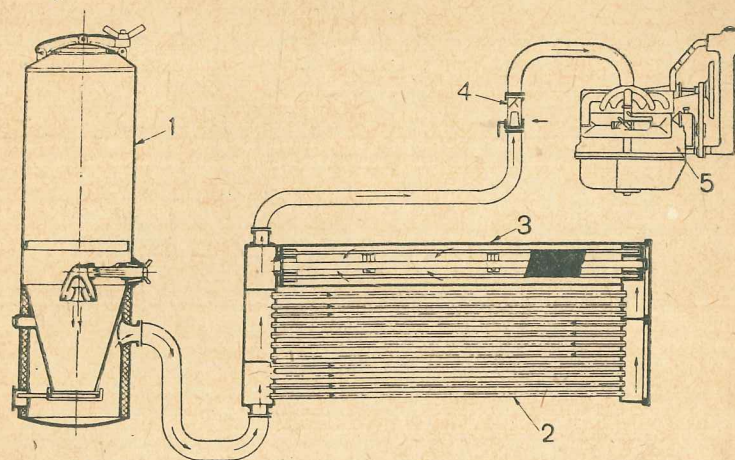
(Розжиг самотягой. Пуск на бензине и перевод на газ).

Комиссия признала установку по динамическим, экономическим и другим качествам как одну из лучших установок, участвовавших в пробеге.

Участвовавшая в пробеге установка имела двигатель с повышенной степенью сжатия до $\epsilon=8,2$ и запуск на бензине. После пробега эта установка была приспособлена для пуска непосредственно на газе, для чего был установлен электрический вентилятор, применено 12-вольтовое электрооборудование

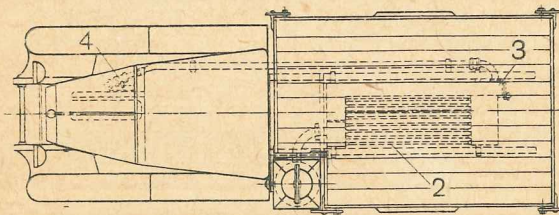
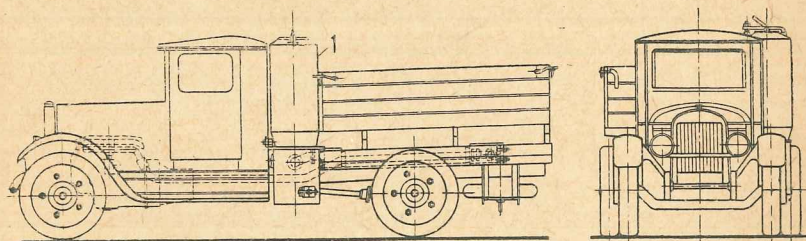
и снят карбюратор. Запуск двигателя на газе с момента начала розжига производился в 7—8 минут.

На фиг. 86 представлена схема газогенераторной установки ЛИИ, предназначенной для автомобиля ГАЗ-АА.



Фиг. 86.

Газ из генератора 1 поступает в охладитель 2, откуда проходит в очиститель 3, а из последнего направляется к смесителю 4 и двигателю 5.



Фиг. 87.

Монтаж газогенератора производится в правом углу платформы, сзади кабины водителя. Охладитель-очиститель монтируется под кузовом.

При испытании этой установки в Загорском леспромхозе (1935 г.) были получены следующие показатели: при $\epsilon = 7,15$ техническая скорость — 24,6 км/час, расход древесного угля — 8 кг/час и удельный расход — 0,425 кг/км.

На фиг. 87 представлена газогенераторная установка НИТО-ЦНИИМЭ, смонтированная на автомобиле ЗИС-5. Газ из газогенератора 1 поступает в охладитель 2, затем проходит в очиститель 3, откуда направляется в смеситель 4.

При испытании в Загорском леспромхозе (1936 г.) были получены следующие данные:

Расход древесного угля в час	14 кг
Удельный расход	0,65 кг/км
Средняя техническая скорость	35 км/час
Максимальная скорость	50 »
Запас топлива в бункере	3,5 часа
Расход бензина на пуск двигателя	1,5—2 л

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

ГЛАВА I.

Топливо для автотракторных газогенераторов	3
Виды топлива и его состав	3
Древесное топливо	7
Состав и теплотворная способность топлива	7
Влажность и зольность древесины	9
Размеры древесного топлива	15
Сухая перегонка древесины	18
Древесный уголь	23
Общие сведения	23
Способы получения древесного угля	30
Твердое ископаемое топливо	31
Брикеты	36

ГЛАВА II.

Расчет автотракторных газогенераторов	41
Процессы газификации топлива	41
Теория газогенераторного процесса	44
Тепловой расчет газогенератора	63
Конструктивный расчет газогенератора	73

ГЛАВА III.

Конструкции автотракторных газогенераторов	79
Газогенераторы прямого процесса	79
Газогенераторы горизонтального процесса	80
Газогенераторы опрокинутого процесса	81
Древесные газогенераторы	82
Древесноугольные газогенераторы	91

ГЛАВА IV.

Охлаждение и очистка газа	94
Необходимость охлаждения газа	94
Конструкции охладителей газа	99
Очистка газа	101

ГЛАВА V.

Смешение газа с воздухом	105
Расчет смесителя	105
Конструкции смесителей	108

ГЛАВА VI.

Автотракторные двигатели, работающие на газообразном топливе	114
Причина падения мощности двигателей при переводе с жидкого топлива на генераторный газ	114
Реакции сгорания газообразных топлив	115
Необходимое количество воздуха при сгорании	118
Рабочий цикл двигателя внутреннего сгорания	121
Процесс всасывания	121
Процесс сжатия	125
Воспламенение и сгорание	128
Процесс расширения	130
Процесс выхлопа	132
Мощность и экономичность двигателя	133
Среднее индикаторное давление	133
Расход газа и твердого топлива	136
Механический коэффициент полезного действия	138
Повышение мощности двигателя при переводе с жидкого топлива на генераторный газ	139
Давление и температура смеси	141
Теплотворная способность рабочей смеси	141
Рабочий объем цилиндра (литраж)	144
Коэффициент подачи	144
Термический коэффициент полезного действия	146
Относительный коэффициент полезного действия	152

ГЛАВА VII.

Автотракторные газогенераторные установки	154
Газогенераторные установки прямого процесса	155
Газогенераторные установки опрокинутого процесса	157
Древесные газогенераторные установки	157
Древесноугольные газогенераторные установки	167

Редактор А. Кузюткин. Технический редактор А. Алексеев. Корректор М. Виноградская.

Сдано в набор 4/IV 1937 г. Подписано к печати 19/VI 1937 г.
 Вид. 13-Г. СХГИЗ № 3701. Тираж 15.000 экз. Уполномоч. Главлита № Б-20523. Заказ № 1405.
 Формат бумаги 60 × 92¹/₁₆. 10³/₄ печ. л. У. а. л. 13,23. В 1 бум. л. 46000 тип. знак.
 Бумага фабрики имени А. М. Горького.

2-я типография ОГИЗа РСФСР треста «Полиграфкнига» «Печатный Двор» им. А. М. Горького.
 Ленинград, Гатчинская, 26.

Цена 2 р. 40 к.

10004179

М



С ЗАКАЗАМИ ОБРАЩАТЬСЯ
ВО ВСЕ МАГАЗИНЫ И ОТДЕЛЕНИЯ
КНИГОТОРГОВОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ ОГИЗ'А
И «КНИГА-ПОЧТОЙ», МОСКВА. 12.