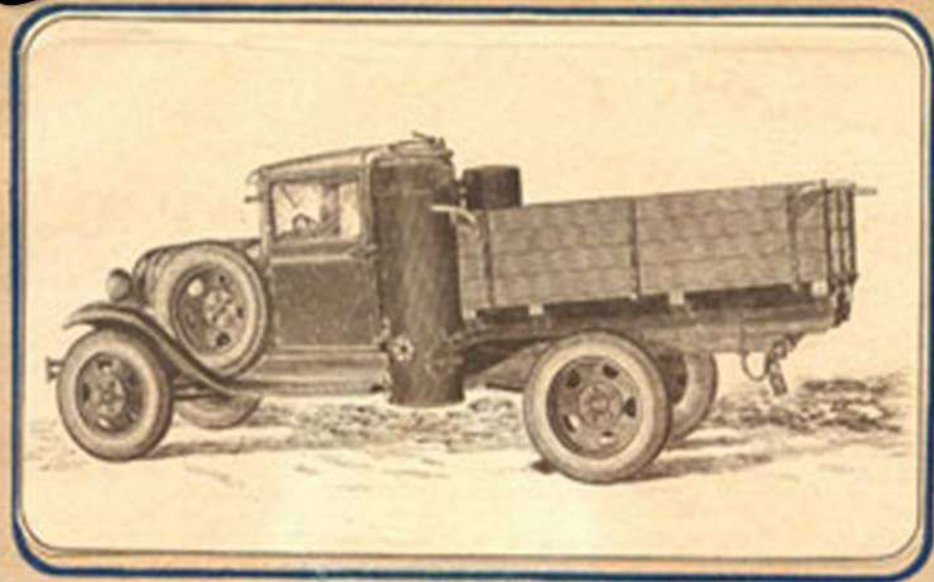
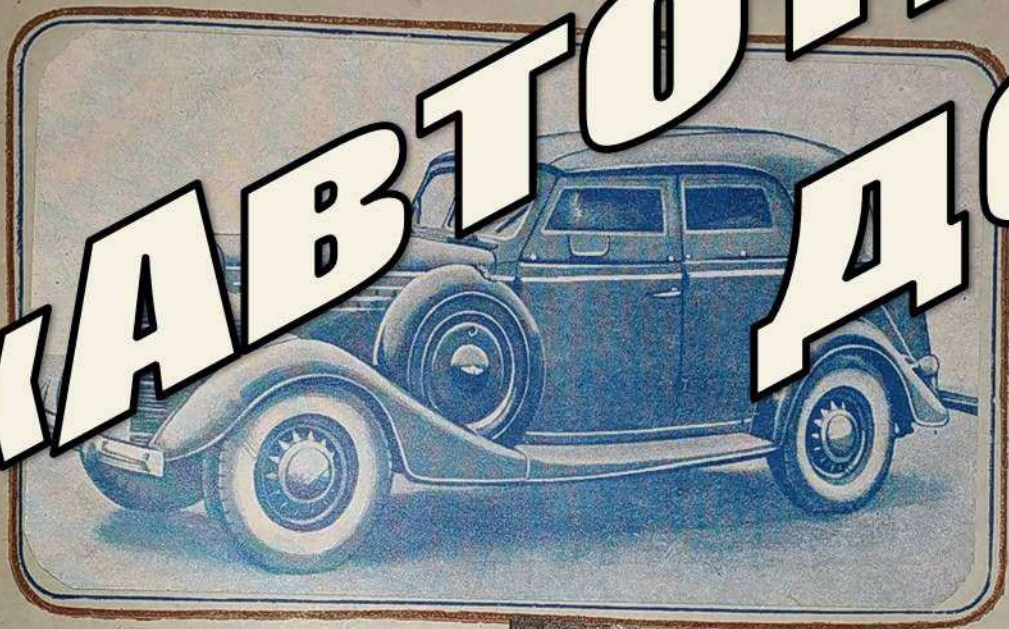


А В М О
Т Р А К Т О Р Н О Е
Д Е Л О

А В М О
Т Р А К Т О Р Н О Е
Д Е Л О



Газогенераторы
в журнале
«Автомоторное
дело»



А В Т О
Т Р А К Т О Р Н О Е
Д Е Л О

А В Т О
Т Р А К Т О Р Н О Е
Д Е Л О

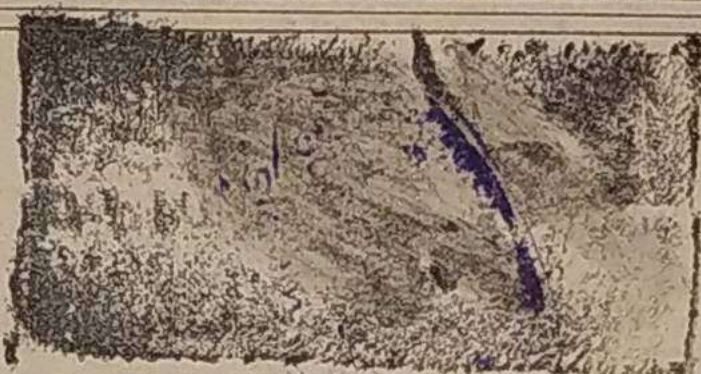
1940

АВТО ТРАКТОРНОЕ ДЕЛО

1940

ФЕВРАЛЬ
Год издания
ДЕСЯТЫИ

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. Орган Народного Комиссариата Среднего Машиностроения СССР



Антрацитовые газогенераторные установки УА-8 и УА-9

Проф. В. С. Наумов

В резолюции XVIII съезда ВКП(б) по докладу тов. Молотова «Третий пятилетний план развития народного хозяйства СССР» вопросам развития газификации топлива уделено большое внимание. Перед советской техникой и промышленностью поставлено требование: «Перевести на газогенераторы все машины на лесозаготовках, а также значительную часть тракторного парка сельского хозяйства и автомобильного парка».

При выполнении этого требования необходимо было обратить особенное внимание на разработку транспортных газогенераторных установок, работающих на антраците. Действительно, антрацит, как топливо для газогенераторных автомашин, является особенно ценным, как по своей высокой теплотворной способности (6500—7000 кал/гр), так и по большому объемному весу (900—920 кг/м³), значительной твердости, невосприимчивости к поглощению влаги, дешевизне и простоте хранения. Кроме того, месторождения антрацита имеются во многих областях Союза, и он весьма транспортабелен.

К недостаткам антрацита, как топлива для транспортных газогенераторных установок, работающих с высокими напряжениями и неустойчивым режимом, можно отнести малую реакционную способность его, высокую температуру воспламеняемости (700—800°), низкую температуру расплавления его золы (1150—1250°) и значительное содержание серы (2—3%). Однако, эти недостатки антрацита не умаляют высокой ценности его, как топлива для автотракторного парка, почему антрацитовые транспортные установки должны получить широкое распространение, особенно в центральных и южных областях Союза, где антрацит может явиться основным топливом газогенераторных машин.

Над использованием антрацита в малолитражных

газогенераторах автор начал работать с 1938 г. При этом пришлось разрешить следующие основные вопросы: 1) влияние высоты восстановительной зоны на состав генераторного газа, получаемого из антрацита марок АМ и АС, и определение оптимальной высоты ее и 2) влияние присадки паров воды на процесс газификации антрацита, определение количества их для получения устойчивого процесса газификации и выхода хорошего по составу генераторного газа. Разрешение этих вопросов позволило выявить конструктивные формы антрацитового газогенератора и его оборудование.

Исследования показали, что для получения устойчивого процесса газификации при пользовании антрацитами марок АМ и АС достаточно, чтобы высота слоя топлива над колосниковой решеткой составляла около 300 мм, при диаметре шахты газогенератора равном 285 мм. Увеличение высоты слоя приводит к ухудшению состава газа, что было подтверждено несколькими контрольными испытаниями.

Анализы 9 проб газа 4-часового испытания, проведенного на антраците марки АС с высотой слоя топлива над колосниковой решеткой в 300 мм при напряженности 120 кг/м² · час. и подаче около 30% воды показали, что газ содержит 17,4—21,16% СО; 6,78—12,58% Н₂ и теплотворная способность вырабатываемого газа от 775 до 975 кал/м³ (в среднем 904 кал/м³).

Таким образом, состав газа оказался среднего качества. Однако лучших результатов в отношении качества вырабатываемого газа на этой установке получить не удалось вследствие большого объема шахты газогенератора (0,0343 м³) и высокого отсоса газа (750 мм) от колосниковой решетки, ухудшавших качество газа, а также из-за невозможно-

сти повысить подачу паров воды более 30% по отношению к газифицируемому антрациту.

Вопрос о влиянии присадки паров воды на процесс газификации антрацита явился одним из важнейших при проведении испытаний. В своих первых древесно-угольных газогенераторах (типы У-2, У-3 и У-5) автор применял подачу воды к испарителю для получения паров воды и ввода их вместе с воздухом в шахту генераторов. Подача воды позволяла вырабатывать генераторный газ высокой теплотворной способности (1150—1250 кал/м³) и поддерживать умеренные температуры в газогенераторе. Однако подача воды усложнила как устройство газогенераторов, так и уход за генераторной установкой, так как потребовалось включить приборы регулирования подачи воды, водяной бак и систему трубок.

Стремясь освободиться от усложнений газогенераторной установки, связанных с подачей воды, автор в позднейших своих газогенераторах (типы У-4 и У-6) отказался от ввода паров воды в шахту. Однако отказ от подачи воды снижал теплотворную способность газа до 700—800 кал/м³. Таким образом совершенно определенно выяснилось, что антрацитовый газогенератор должен работать с подачей воды и иметь приборы питания и ее испарения.

Дальнейшие испытания газогенераторной установки на антраците велись с подачей воды. Однако наимыгоднейшее количество паров воды, необходимое для подвода в шахту газогенератора при работе на антраците, не удалось определить, так как устройство испарителя не позволило повысить подачу воды выше 0,3 кг на 1 кг газифицируемого топлива.

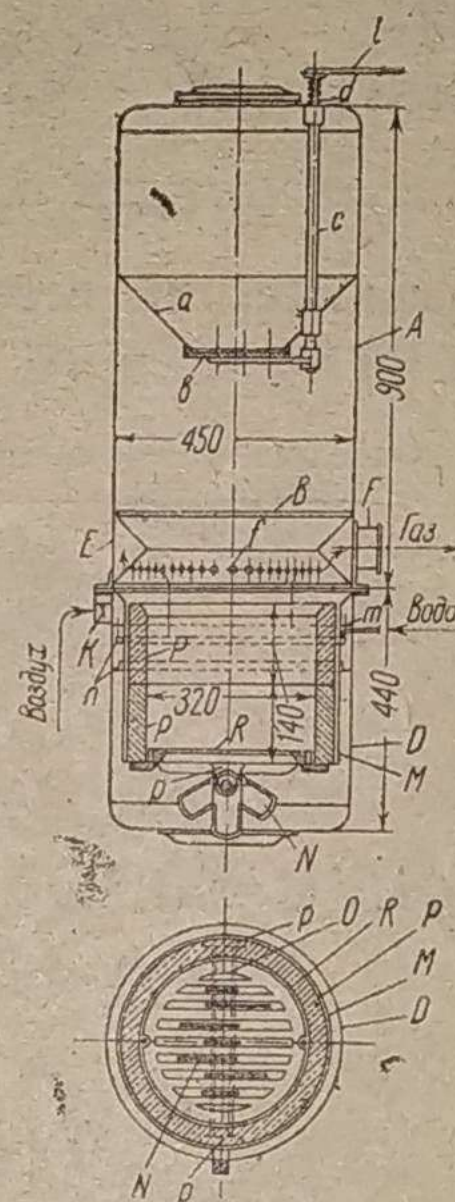
Эти же испытания показали, что при работе газогенераторной установки с переменным режимом испарители типа открытых котлов или камер, заполненных водой, через которые просасывается воздух для насыщения его парами воды, непригодны, так как они обладают большой инерцией и не допускают быстрой регулировки количества вводимого пара. Вместе с тем выяснилось, что основным затруднением при газификации антрацита в малолинейных газогенераторах является зашлаковывание зоны горения и колосниковой решетки.

Удовлетворительные результаты были получены при применении неподвижной решетки, под которой был размещен валик с набором плоских стальных ножей. При поворачивании этого валика ножи его проходят через прозоры колосниковой решетки и, входя в зону горения, раздробляют шлак и сбрасывают золу в зольник газогенератора. Это сравнительно простое устройство позволило нормально ве-

сти процесс газификации антрацита по 6—7 час. без перерыва с выходом газа устойчивого состава.

В табл. 1 приведены анализы генераторного газа одного из длительных испытаний.

Газогенератор типа УА-8. После того как были выяснены основные вопросы газификации антрацита и найдены надежные конструктивные формы главных узлов антрацитового газогенератора, началась разработка новых типов газогенераторов (УА-8 и УА-9).



1. Газогенератор типа УА-8

Антрацитовый газогенератор типа УА-8 (рис. 1) имеет цилиндрическую форму и состоит из двух частей: бункера и топливника. В бункере А, выполненном из листовой стали толщиной 1,5 мм, имеется дисковый затвор, состоящий из конуса а, стального диска b, трубчатой штанги с, отжимной пружины d и поворотной ручки l.

В нижней части бункера установлен двухконусный пояс В с отверстиями f, образующий со стенками бункера полую камеру Е для сбора вырабатываемого газа и отвода его через выводной патрубок F. При этом устройстве получается равномерный отвод газа, обеспечивающий устойчивый

процесс газификации топлива по всему сечению шахты генератора.

Вверху топливного бункера имеется загрузочный люк, закрываемый крышкой с зажимом рычажного типа.

Топливник газогенератора имеет высоту 440 мм и состоит из наружного кожуха D, выполненного из листовой стали толщиной 1,5 мм, и внутреннего цилиндра М со стенками толщиной 3 мм, опирающегося верхним своим отбортованным краем на фланцевое соединение бункера с наружным кожухом. Огнеупорная обмуровка шахты состоит из двух шамотных колец Р, накладываемых одно на другое. Благодаря применению цельных шамотных колец шахта топливника получается весьма простой и надежной, не требующей применения жароупорной стали и стального литья. Топливник снабжен боковой топочной дверцей (не показанной на рисунке), неподвижной колосниковой решеткой R и нижним зольниковым люком, закрываемым нижней крышкой.

Подвод кожуха в газогенераторе производится через пластинчатый клапан К; для равномерного же распределения потока воздуха по всему сечению рубашки топливника применено дырчатое кольцо т, приваренное к внутреннему цилиндру топливника.

Для образования водяного пара имеется мгновенный испаритель, состоящий из двух корытообразного сечения колец n, из которых верхнее приварено к внутреннему цилиндру, а нижнее — к внутренней стенке кожуха топливника. Вода в испаритель подается по трубке t в верхнее кольцо испарителя. Образовавшийся водяной пар захватывается потоком воздуха и вместе с последним подводится че-

Таблица 1

Время взятия пробы газа	Химический состав в %						Теплотворная способность кал/м³
	CO₂	O₂	H₂	CH₄	CO	N₂	
10 ч. 50 м.	4,0	0,4	10,5	2,1	23,2	59,8	1160
11 ч. 40 м.	3,8	0,2	8,7	1,1	24,5	61,7	1063
12 ч. 40 м.	3,2	0,2	7,0	1,6	26,2	61,8	1114
14 ч. 20 м.	4,4	0,2	8,9	1,7	25,1	59,7	1140
15 ч. 20 м.	4,2	0,2	7,8	1,9	25,2	60,7	1135
16 ч. 10 м.	3,9	0,3	12,2	0,3	26,4	55,9	1166
17 ч.	5,2	0,8	6,3	0,6	28,2	58,9	1071

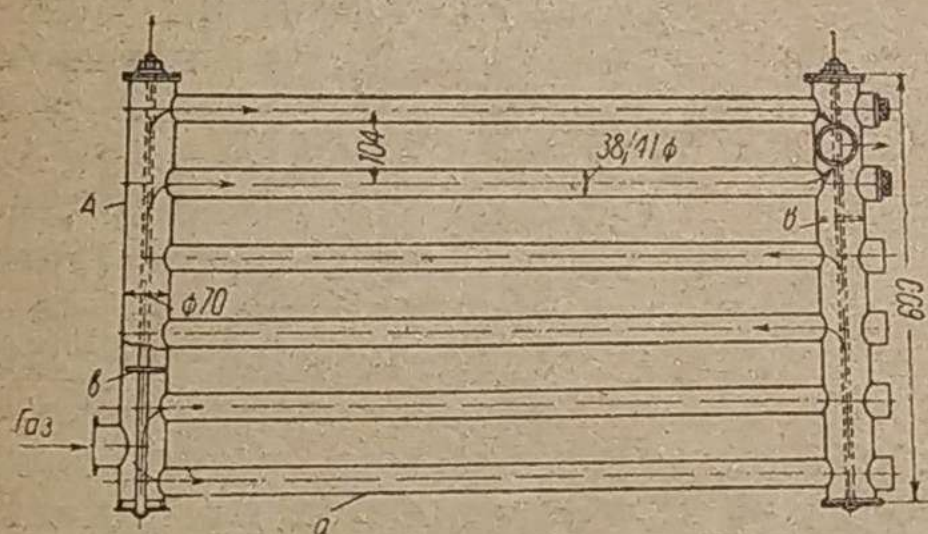
рез зольник под колосниковую решетку *R* газогенератора.

Для разрыхления шлака в зоне горения и на колосниковой решетке и удаления золы с последней, под колосниковой решеткой установлен горизонтальный валик *O*, лежащий в подшипниках *p*. На валике *O* насажено в различных плоскостях 7 плоских стальных ножей *N*, которые при повороте валика проходят через прозоры колосниковой решетки, разрыхляя при этом шлаки в зоне горения и сбрасывая золу с колосниковой решетки в зольник.

Основные размеры газогенератора УА-8 следующие:

Полная высота газогенератора	1340 мм
Наружный диаметр газогенератора	450 "
Диаметр шахты газогенератора	320 "
Высота	280 "
Полный вес газогенератора	108 кг
Количество топлива (антрацит марок АМ и АС) при полной загрузке газогенератора	120 "
Дальность пробега газогенератора грузовика (ГАЗ-АА) при полной загрузке генератора без нарушения работы	250 км

О х л а д и т е л ь. В газогенераторной установке УА-8 применен трубчатый охладитель газа (рис. 2), состоящий из двух боковых трубчатых коллекторов *A* диаметром 70 мм, между которыми разме-



2. Охладитель газа

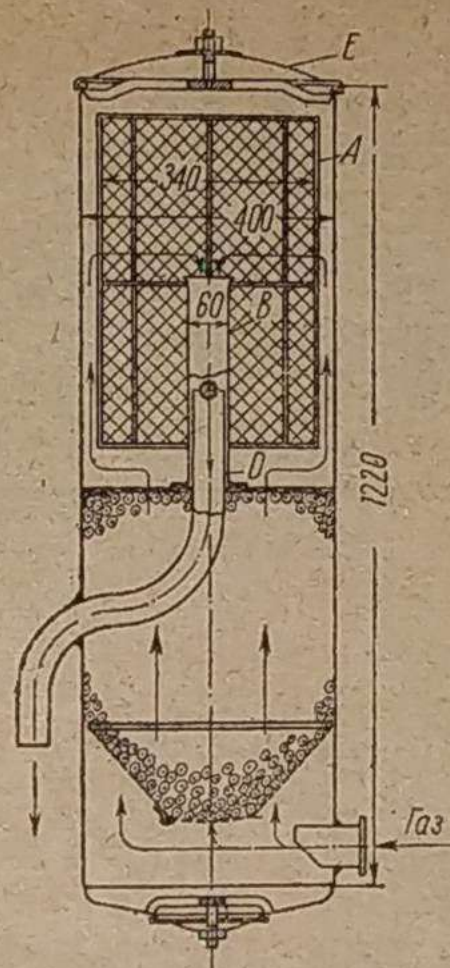
щено в одной плоскости на расстоянии 104 мм друг от друга шесть охлаждающих трубок *a* диаметром 38/41 мм. В коллекторах имеются перегородки *b*, при помощи которых поток охлаждаемого газа распределяется так, что газ проходит одновременно по двум трубкам, делая в охладителе 3 поворота.

Охладитель представляет цельную сварную конструкцию и подвешен на 4 подвесках в наклонном положении к задней части рамы машины ГАЗ-АА. Благодаря наклонному расположению охладителя под рамой машины, он полностью находится в вихревом потоке при движении машины, вследствие чего его охлаждающая поверхность работает очень интенсивно. Связь охладителя с газопроводами со стороны подвода газа жесткая, а со стороны отвода осуществляется при помощи небольшого резинового шланга.

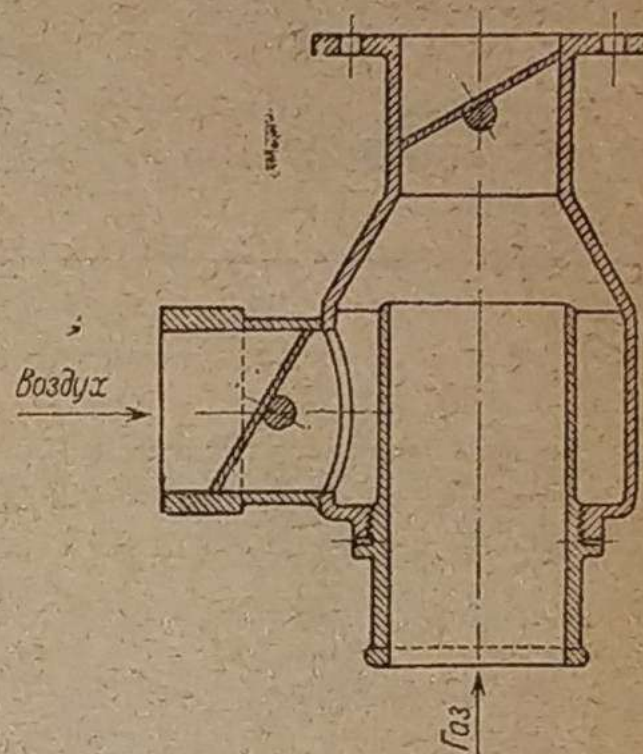
Поверхность охлаждения охладителя — 1 м²; вес охладителя 22 кг.

О ч и с т и т е л ь г а з а. Для очистки генераторного газа применен комбинированный очиститель, состоящий из цилиндра диаметром 400 мм, в нижней половине которого (рис. 3) помещена камера грубой очистки газа, заполненная кусочками стальных витых стружек весом 24 кг. Опыт работы газогенераторных установок с очистителями этого типа показал, что стальные витые стружки, являю-

щиеся отходами металлообрабатывающих заводов, представляют хороший материал для грубой очистки генераторного газа.

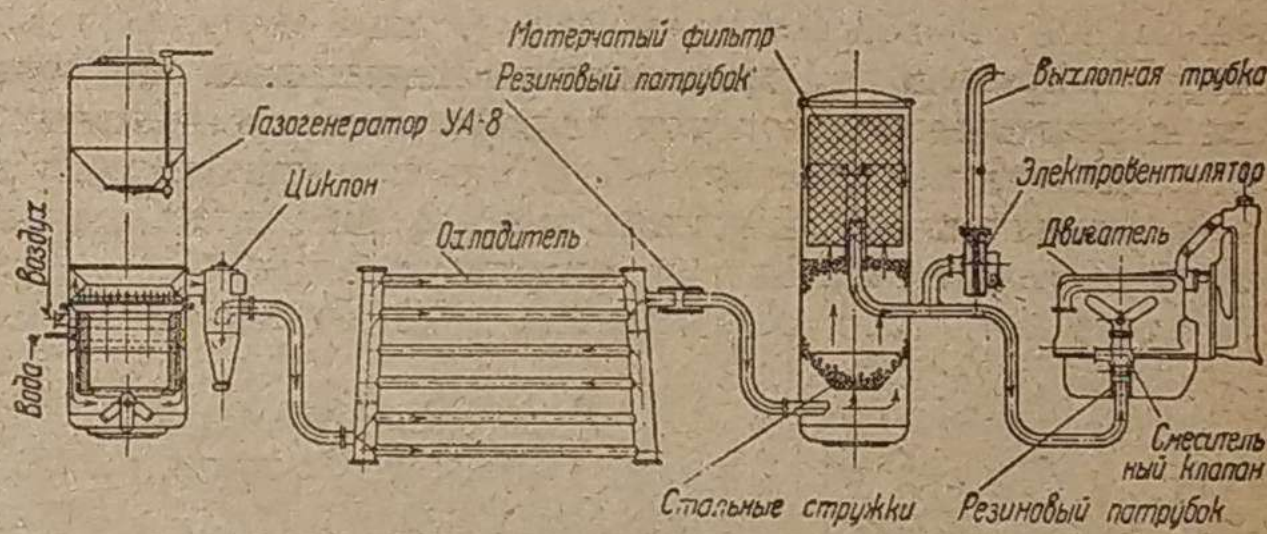


3. Очиститель газа



4. Смесительный клапан

В верхней половине очистителя размещена камера тонкой очистки газа, которая осуществляется че-



5. Схема газогенераторной установки УА-8

рез матерчатый фильтр (фланель или байка), натянутый на круглый проволочный каркас *A*, легко устанавливаемый своей втулкой *B* на газоотсасывающий патрубок *D*.

Для осмотра очистителя и смены матерчатого фильтра очиститель имеет верхнюю крышку *E*, зажимаемую специальным зажимом.

Поверхность матерчатого фильтра 0,75 м²; вес очистителя без насадки стальных стружек—22,5 кг.

С м е с и т е л ь н ы й к л а п а н. Для образования рабочей смеси применен газовый смесительный клапан простого устройства (рис. 4).

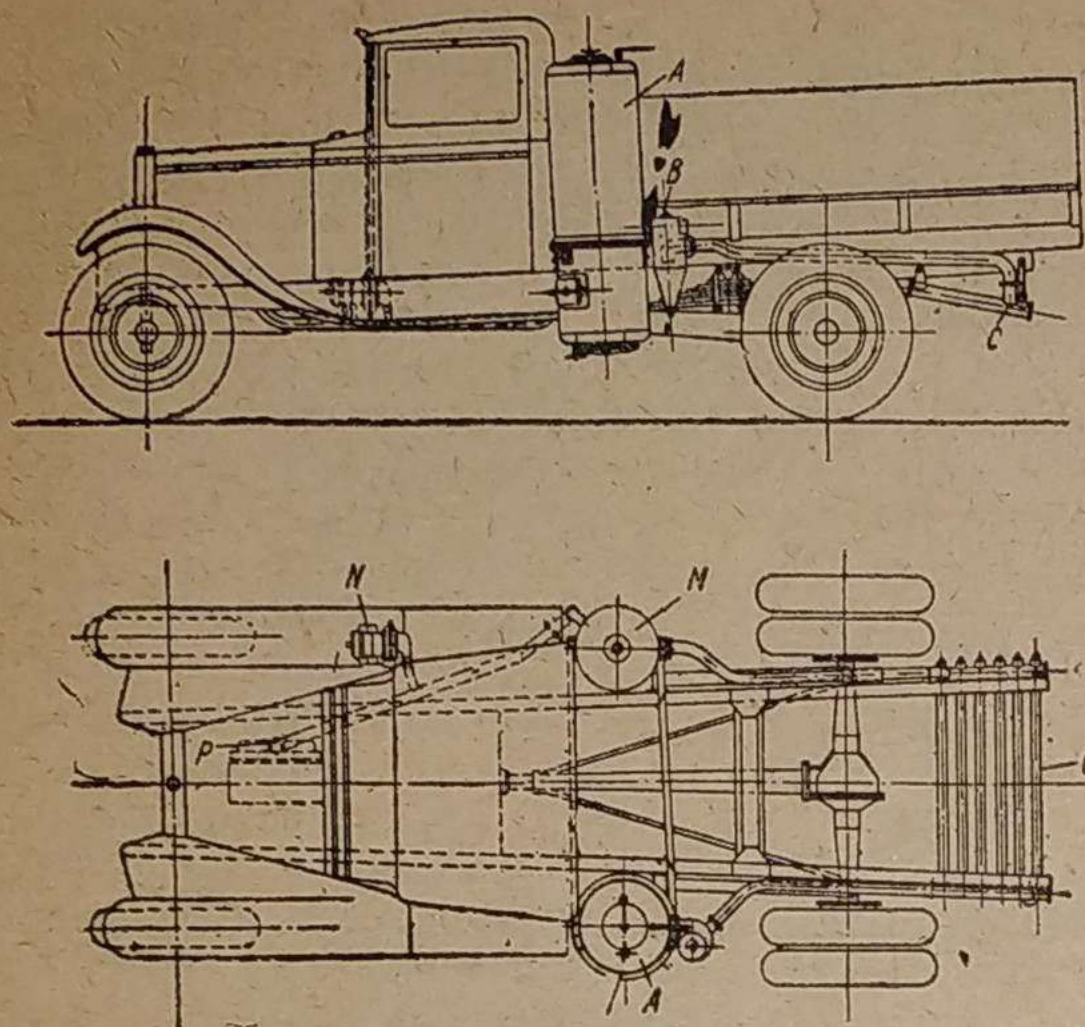
Схема газогенераторной установки УА-8 представлена на рис. 5, а на рис. 6 показано размещение этой установки на машине ГАЗ-АА, где *A* — газогенератор, *B* — циклон для улавливания крупных частиц топлива, *C* — охладитель, *M* — очиститель, *N* — электровентиль и *P* — смесительный клапан.

На рис. 7 представлен снимок газогенераторной машины ГАЗ-АА без платформы, оборудованной установкой УА-8.

Кроме газогенератора типа УА-8, автором разработан второй вариант антрацитового газогенератора — тип УА-9, представленный в вертикальном разрезе на рис. 8.

Газогенератор УА-9 отличается от газогенератора УА-8 следующим: 1) применением рессорного затвора верхней загрузочной крышки бункера, позво-

ляющего крышке приподниматься в случае взрыва газа в газогенераторе; 2) отсутствием в бункере дискового затвора, что позволило уменьшить диаметр бункера (320 мм вместо 450 мм); 3) примене-



6. Размещение установки на машине ГАЗ-АА

нием отсоса вырабатываемого газа через полую камеру, образуемую коническим переходом от бункера к наружному кожуху топливника, и нижней части цилиндра бункера и 4) отсутствием циклона для улавливания крупных частиц топлива, захватываемых потоком газа из газогенератора.

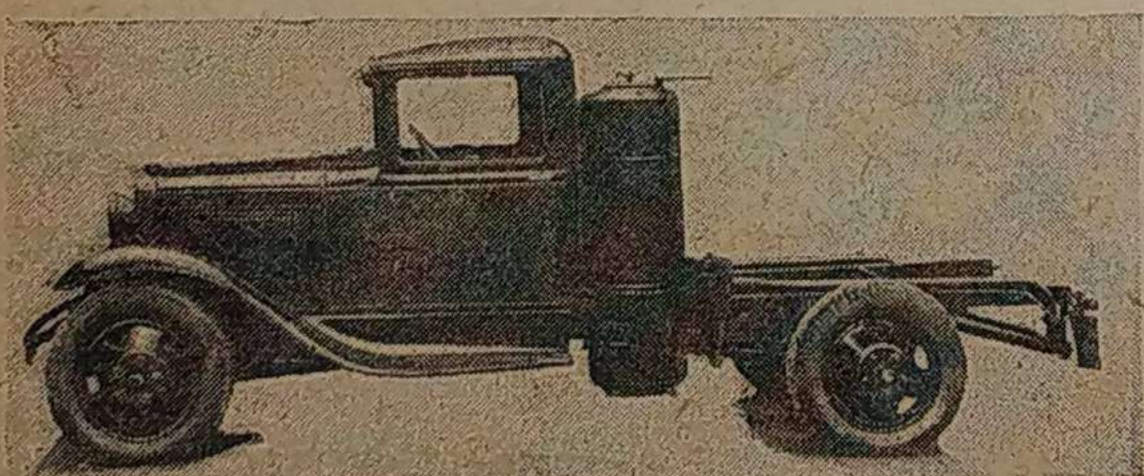
В остальном газогенератор УА-9 не отличается от газогенератора УА-8.

Для газогенераторной установки УА-9 были применены такие же охладитель, очиститель и смешительный клапан, как в установке УА-8.

На рис. 9 представлена машина ГАЗ-АА с установкой УА-9, снятая со стороны газогенератора.

Кроме измененного газогенератора, установка УА-9 отличалась от установки УА-8 тем, что на машине первой установкой не был установлен электроклапан для более быстрого пуска газогенератора и машины. Сделано это было для того, чтобы разрешить в условиях длительного пробега вопрос о возможности розжига газогенератора на антраците и пуска газогенераторной машины без применения электроклапана. Необходимо было также выяснить, какого порядка получится расход бензина для запуска машины и перевода ее на газ.

Испытательный пробег. Газогенераторные машины, оборудованные антрацитовыми установками УА-8 и УА-9, вышли в испытательный пробег 25 июля 1939 г. по маршруту Ленинград —



7. ГАЗ-АА с газогенераторной установкой УА-8

Киев — Харьков — Ростов-на-Дону — Курск — Москва — Ленинград.

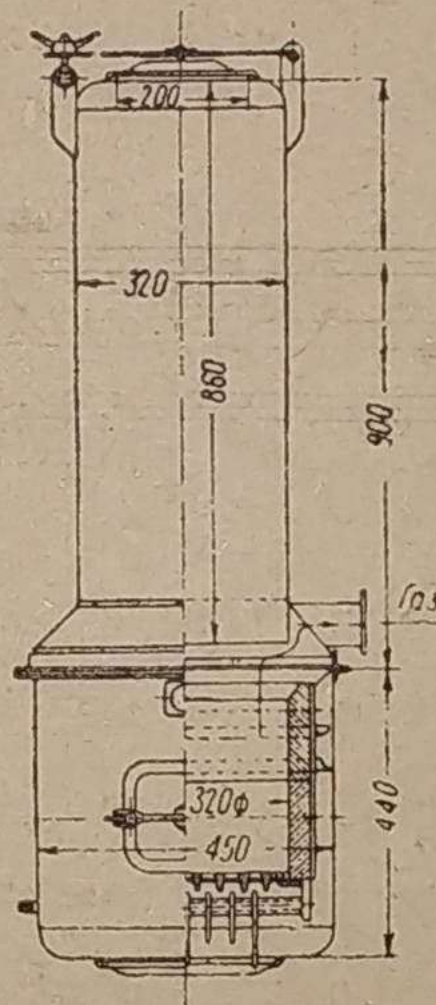
Машина № 2 с газогенераторной установкой УА-9 была более изношенной, по сравнению с машиной № 1, и требовала в пути частого ремонта, что задерживало ее пробег; поэтому показатели пробега для этих машин получились различные: более высокие для машины № 1 и более низкие для машины № 2.

В результате пробега по указанному маршруту были получены следующие показатели:

Таблица 2

№ машины	Число километров, пройденных на антраците	Чистое время пробега	Средняя техническая скорость км/час	Полное время, затраченное на пробег	Средняя эксплуатационная скорость км/час	Общий расход		Расход антрацита на 100 км в кг
						антрацита в кг	бензина в л	
1	4227,7	116 ч. 47 м.	36,2	148 ч. 59 м.	28,4	1695	55,5	40,0
2	4022	124 ч. 25 м.	32,3	160 ч. 15 м.	25,0	1735	133,0	43,1

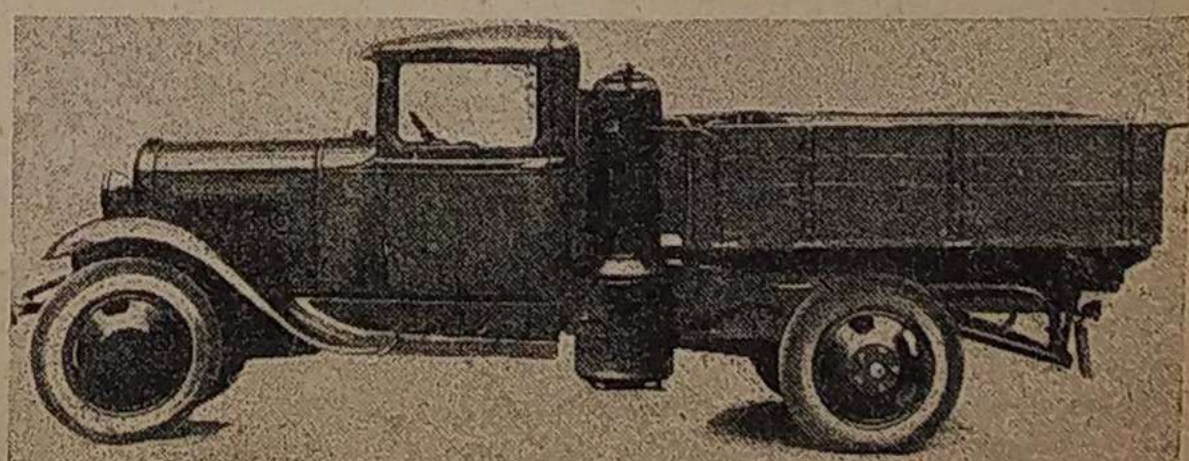
Полезная нагрузка обеих машин колебалась в пределах 950—1080 кг.



8. Газогенератор типа УА-9

Расход топлива. При испытательном пробеге газогенераторных машин топливом служила смесь антрацитов марок АМ и АС (орех и семечко). Пробег проходил без заранее подготовленных топливных баз, и топливо приобреталось в местах больших остановок. Наибольшее затруднение с топливом встретилось в Ростове на Дону, где был закуплен антрацит в крупных кусках (смесь АК и АМ), что создало тяжелые условия для работы газогенераторов.

Аварии во время пробега. При испытательном пробеге в машине № 1 имели место следующие аварии: 1) сломана одна передняя рессора 2) разбито 2 стекла фар, помяты крыло и облицовка радиатора при наезде в пути на участке Миргород-Харьков на грузовую машину, 3) расплавлены верхние концы средних ножей механизма разрыхления шлака и удаления золы вследствие ошибочной установки валика ножей при старте в Ленинграде и 4) срезаны две шпильки и скручен валик ножей того же механизма.



9. ГАЗ-АА с газогенераторной установкой УА-9

В машине № 2 с установкой УА-9 имели место следующие аварии: 1) сломано 3 передних и 2 задних рессоры, 2) произведена подтяжка подшипников двигателя (в Киеве), 3) выплавлен 3-й шатунный подшипник (за Харьковом), 4) выплавлен 4-й шатунный подшипник (за Москвой), 5) дважды расплавлены верхние концы средних ножей механизма для разрыхления шлака и удаления золы и 6) смещена колосниковая решетка вследствие прогара средней части ее.

Прогорание колосниковой решетки в установке УА-9 объясняется тем, что эта установка во время всего пробега работала с уменьшенной подачей воды в газогенератор. Действительно, в то время как в установке УА-8 количество израсходованной воды за весь пробег было равно 34% от расхода антрацита, в установке УА-9 этот расход составил всего 24%, вследствие чего температурный режим в зоне горения газогенератора этой установки был повышенным.

Состояние пути. Состояние пути по маршруту пробега Ленинград-Киев-Харьков-Ростов н/Д-Курск-Москва-Ленинград было следующее: асфальтированное шоссе — 526 км, шоссе (щебень, клинкер) — 2280 км, из них хорошее — 1220 км, среднее — 184 км и выбитое — 874 км, грунтовая дорога — 1425 км, из них сухая — 1040 км и грязная — 385 км.

Выводы. 1. Испытательный пробег газогенераторных машин с установками УА-8 и УА-9, работающими на антраците, показал, что антрацит, как топливо, вполне пригоден для машин автотранспорта. Газогенераторные машины при надлежащем уходе работают на антраците вполне надежно.

2. Из двух антрацитовых газогенераторов тип УА-8 оказался более надежным и удобным в обслуживании.

3. Дисковый затвор в бункере для загрузки топлива при работе газогенераторной машины, примененный в генераторе УА-8, оправдал себя, и приме-

нение его в транспортных газогенераторах вполне целесообразно.

4. Примененный в газогенераторе УА-8 отсос газа через двухконусное дырчатое устройство оказался вполне надежным, отсос же газа, примененный в газогенераторе УА-9, оказался неудовлетворительным, так как не обеспечивал нормального процесса газообразования по всему сечению шахты генератора. Для надежной работы конусного устройства необходимо толщину стенок его довести до 3 мм вместо 1,0—1,5 мм.

5. Примененный в газогенераторах УА-8 и УА-9 механизм для разрыхления шлака и удаления золы оказался надежным и эффективным, но конструктивно необходимо его усовершенствовать.

6. Запуск газогенераторной машины, работающей на антраците, более труден и длителен, по сравнению с работой на древесном угле. Необходимо этот вопрос проработать более тщательно, чтобы ускорить запуск.

7. На антрацитовых газогенераторных машинах необходимо устанавливать электроventильатор, обеспечивающий более быстрый и надежный пуск газогенераторной установки. Кроме того, при наличии на машине электроventильатора, расход бензина может быть сведен до минимума. При отсутствии электроventильатора антрацитовая газогенераторная машина может также эксплуатироваться, но с повышенным расходом бензина.

8. Топливный бункер при наличии загрузочного диска может быть несколько уменьшен по высоте до уровня верхней кромки платформы (машина ГАЗ-АА), что позволит вес газогенератора довести до 90 кг.

9. Примененные в установках УА-8 и УА-9 охладители, очистители и смесительные клапаны можно считать вполне надежными в работе.

От редакции. Окончившиеся государственные испытания к моменту выпуска настоящего номера выявили ряд недостатков установки УА-8 (неприспособленность к работе при переменных режимах, низкие пусковые качества, недостаточность очистки газа и др.).

Новый газогенераторный двигатель ЗИС

М. А. Ошеров и В. Ф. Дунский
ЗИС

Перевод автомобилей и тракторов с жидкого на твердое местное топливо сулит громадные преимущества для всего народного хозяйства и является наиболее крупной технической задачей нашего времени в области автотранспорта. Задача эта разрешается путем применения газогенераторных автомобилей и тракторов, работающих на древесных чурках, древесном угле, антраците и других видах твердого топлива.

Однако, эту задачу можно было бы считать полностью разрешенной лишь в том случае, если газогенераторные автомобили по своим техническим показателям будут не хуже, чем бензиновые. Современные газогенераторные машины обладают по сравнению с бензиновыми рядом недостатков, из которых основными являются низкие динамические и тяговые свойства, т. е. газогенераторные машины

менее приемисты, хуже преодолевают подъемы, и средняя скорость их движения меньше.

Мощность двигателей на генераторном газе обычно на 25—40% ниже, чем на бензине (например, двигатель ЗИС-5 на бензине дает 70 л. с., а на генераторном газе 47 л. с.). Однако, и эту мощность следует считать лишь номинальной, так как она соответствует работе двигателя при постоянном режиме генератора. В условиях же эксплуатации, особенно при езде по городу и по неровной местности, режим работы двигателя часто меняется. Современные газогенераторы не обладают достаточной гибкостью, т. е. при резком изменении отбора газа качество его ухудшается, следовательно, в наиболее критические моменты работы двигателя, когда от него требуется полная мощность (разгон, подъемы и пр.), происходит дополнительное падение

мощности, вследствие временного ухудшения качества газа.

Поэтому для создания действительно полноценной газогенераторной машины необходимо прежде всего резко повысить мощность двигателя. Это может быть достигнуто двумя путями: 1) усовершенствование газогенератора в сторону повышения теплотворной способности газа и более гибкой работы при переменном режиме и 2) повышение мощности двигателя за счет изменения его конструкции.

Первый путь является, несомненно, наиболее важным, и только этим возможно радикально разрешить вопрос, но вместе с тем он является наиболее трудным. Значительное повышение теплотворной способности газа невозможно в рамках применяемого в транспортных газогенераторах воздушного процесса, так как горючие компоненты неизбежно разбавляются азотом воздуха; здесь может идти речь лишь о создании какого-то нового процесса газификации.

Значительно легче добиться некоторого повышения мощности за счет изменения конструкции двигателя, используя отдельные преимущества газового топлива. Хотя этим путем нельзя полностью устранить падение мощности на газе, но можно в значительной мере смягчить положение и заметно повысить качество газогенераторных машин.

Необходимо отметить, что для газогенераторных автомобилей обычно не строят специальных двигателей, а используют существующие (карбюраторные или дизели), приспособляя их путем незначительных переделок к работе на газе. Наличие одного и того же двигателя у бензиновых и газогенераторных машин является большим преимуществом с точки зрения производства и эксплуатации. Это преимущество не должно быть нарушено при форсировке газового двигателя, т. е. форсировка должна быть осуществлена без сложных конструктивных переделок двигателя и без нарушения взаимозаменяемости бензиновых и газовых двигателей.

На основании этих соображений в конструкторско-экспериментальном отделе ЗИС были проведены работы по форсировке двигателя газогенераторного автомобиля ЗИС-21, причем стремились достигнуть значительного повышения мощности двигателя без сложных конструктивных переделок. В результате был создан новый газовый двигатель

мощностью выше 60 л. с., т. е. на 30% больше, чем у существующего двигателя ЗИС-21 (47 л. с.). При этом, несмотря на незначительность конструктивных изменений, удалось использовать почти все резервы для повышения мощности.

Генераторный газ как моторное топливо, наряду с присущим ему недостатком — низкой теплотворной способностью, — обладает также следующими, по сравнению с бензином, преимуществами:

1) смесь генераторного газа и воздуха обладает высокими антидетонационными свойствами, позволяющими работать на высоких степенях сжатия;

2) в рабочей смеси газ-воздух отсутствует жидкая фаза, т. е. чрезвычайно упрощается смесеобразование и распределение смеси по цилиндрам двигателя.

Соответственно с этим для повышения мощности двигателя стремились улучшить использование тепла в двигателе и повысить наполнение.

Новый двигатель отличается от старого следующими конструктивными изменениями (рис. 1):

1) степень сжатия повышена до 8,5;

2) полностью устранен подогрев смеси во всасывающем коллекторе;

3) установлен новый инжекционный смеситель;

4) расширены проходные сечения на линии всасывания в коллекторе и в каналах блока, а также увеличен диаметр всасывающих клапанов;

5) увеличен подъем клапанов и изменены фазы распределения.

Каждое из указанных изменений проверялось в отдельности (см. «Автотракторное дело» № 2, 8—9, 10, 12, 1938 г.).

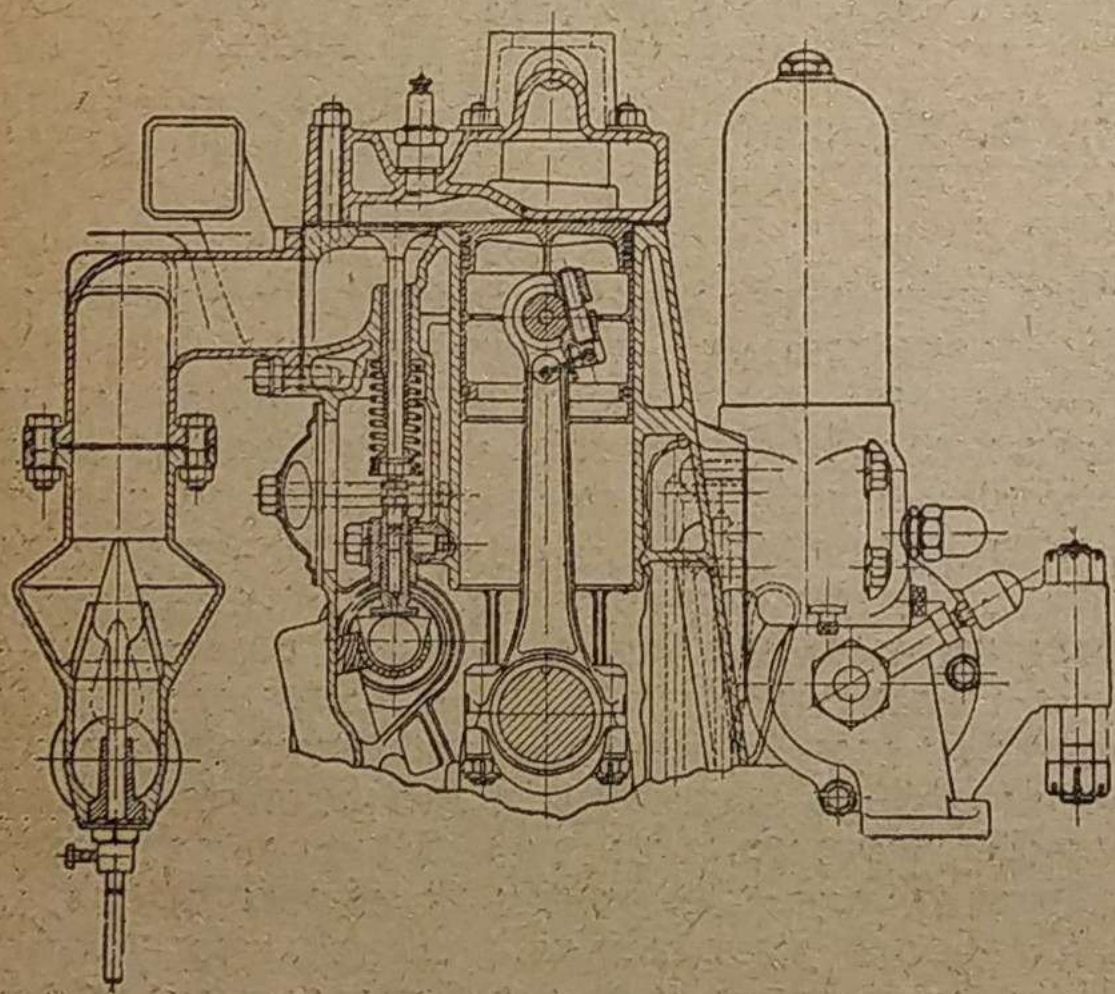
При увеличении степени сжатия в двигателе с боковыми клапанами, кроме увеличения нагрузки на кривошипно-шатунный механизм, приходится считаться с уменьшением переходного сечения из камеры в цилиндр, вследствие уменьшения объема камеры, т. е. с уменьшением коэффициента наполнения.

Путем индичирования двигателя на рабочем диапазоне оборотов и опережения зажигания, при степенях сжатия 6,7 и 7,85 было выяснено, что при степени сжатия 7,85 нагрузка на кривошипный механизм меньше, чем при работе на бензине со степенью сжатия 4,6. Затем определение коэффициента наполнения при степенях сжатия 6,7 и 7,85 показало, что повышение степени сжатия до 7,85 практически не влияет на наполнение двигателя.

Таким образом было установлено, что боковые клапаны не уменьшают эффекта от повышения степени сжатия до 8 и что кривошипный механизм карбюраторного двигателя, каким является ЗИС-5, вполне соответствует нагрузке при этой степени сжатия.

Чтобы обеспечить наиболее полное использование энергии смеси в двигателе, следовало, наряду с повышением степени сжатия, выяснить, какая форма камеры сгорания наиболее выгодна при работе на газе. В результате испытаний пяти различных форм камер сгорания с одинаковой степенью сжатия было установлено, что камера сгорания должна быть с минимальным отношением поверхности стенок к объему; переходное сечение из камеры в цилиндр должно иметь обтекаемую форму и максимальную величину; свеча должна быть смещена в сторону всасывающего клапана.

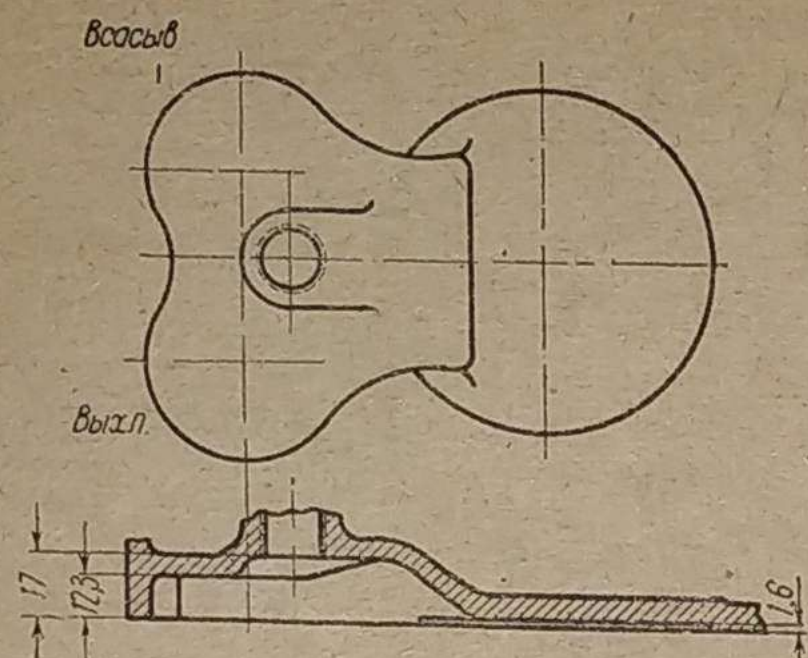
При дальнейших испытаниях на двигателе была установлена головка блока со степенью сжатия 8,5, причем форма камеры сгорания соответствовала



1. Поперечный разрез двигателя.

этим требованиям, за исключением положения свечи, помещенной в центре камеры (рис. 2).

В стандартном двигателе ЗИС-21, несмотря на отдельное выполнение всасывающего и выхлопного коллекторов, все же существует некоторый подогрев



2. Камера сгорания

грев смеси, так как сильно нагревающийся при работе выхлопной коллектор интенсивно излучает тепло, поглощаемое всасывающим коллектором; последний в двух местах почти соприкасается с выхлопным коллектором (рис. 3), и здесь подогрев наиболее силен.

Непосредственный замер температуры смеси во всасывающем коллекторе весьма затруднителен, так как в разных точках коллектора эта температура неодинакова. Наиболее интенсивный подогрев смеси происходит у обращенной к блоку стенки всасывающего коллектора, в тех местах, где он почти соприкасается с выхлопным. У наружной стенки коллектора, где замерялась температура смеси, подогрев слабее.

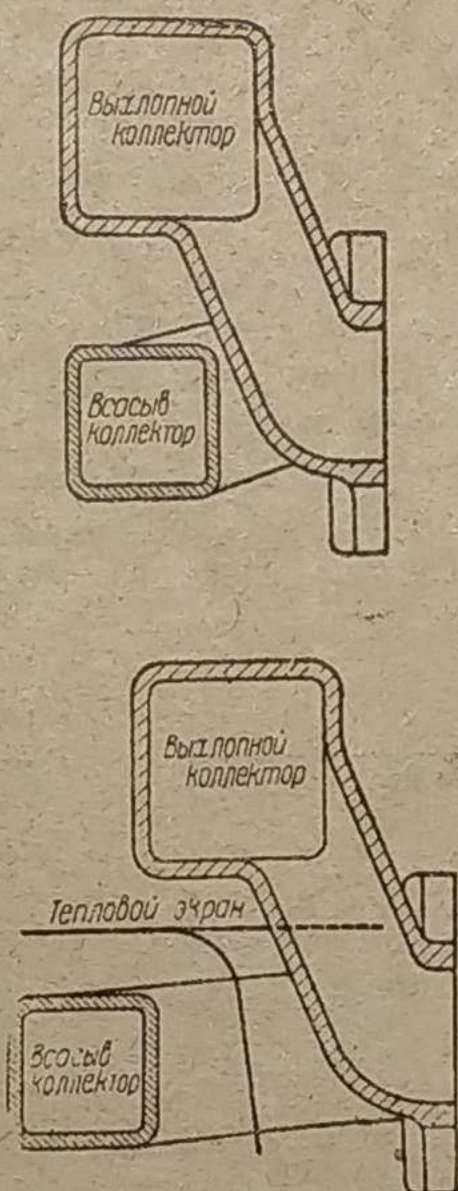
В среднем канале коллектора температура смеси ниже, чем в крайних, так как соответствующая поверхность теплопередачи меньше.

Разность между замеренной температурой смеси у наружной стенки коллектора и средней температурой газа и воздуха перед смесителем составляет у двигателя ЗИС-21 в среднем 20°C на всем диапазоне оборотов и нагрузок (при лабораторных испытаниях).

Для всей смеси эта разность, вероятно, несколько выше, вследствие указанного более интенсивного подогрева у смежной с блоком стенки.

Для устранения подогрева смеси всасывающий коллектор был отодвинут от выхлопного на 30 мм путем удлинения его патрубков. Кроме того, между всасывающим и выхлопным коллекторами был помещен экран из тонкой листовой стали.

Гладкая светлая поверхность этого экрана отражает большую часть излучаемого выхлопным коллектором тепла и практически совершенно устраняет подогрев смеси.

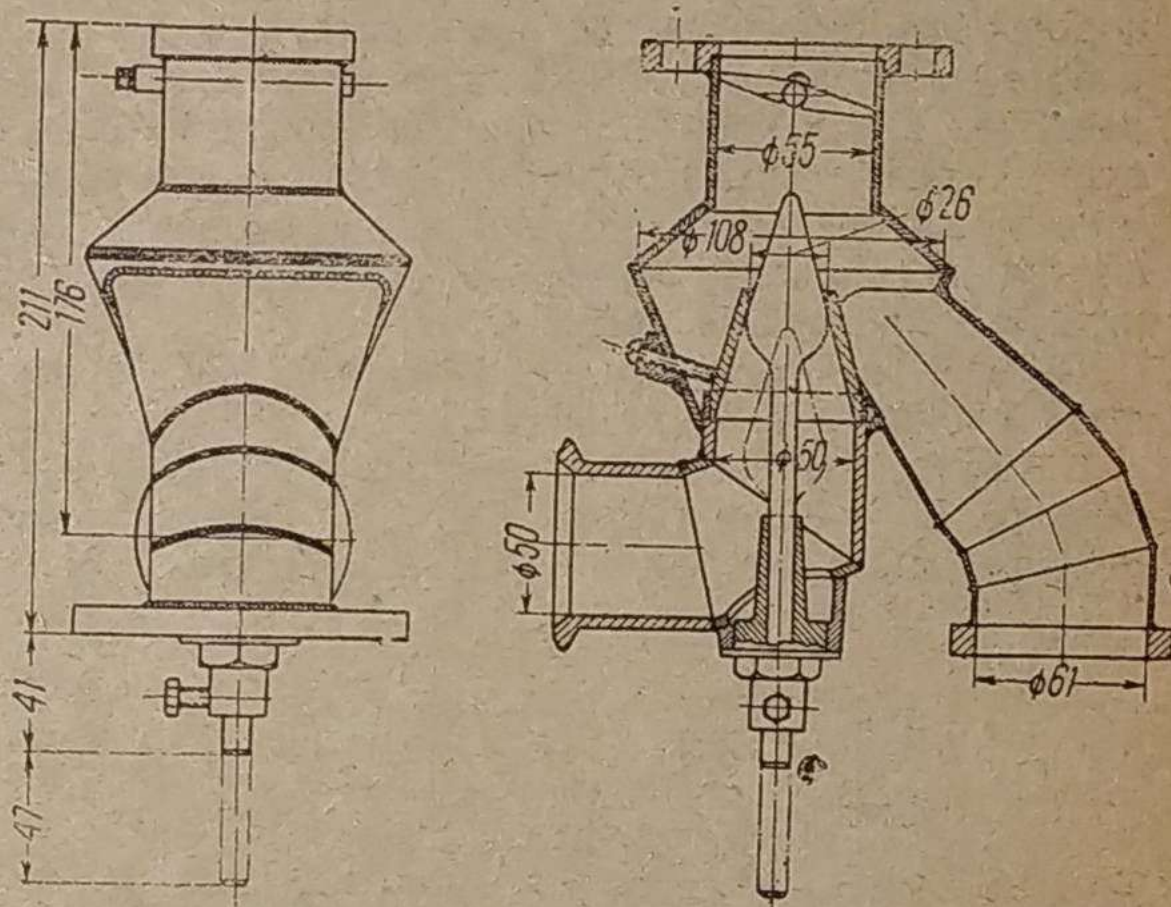


3. Расположение коллектора в двигателе ЗИС-21

Для выяснения роли теплового экрана были проведены испытания с отодвинутым коллектором, сначала с экраном, затем без экрана. Оказалось, что экран понижает температуру смеси на $8-10^{\circ}$ и дает увеличение мощности около 2% на всем диапазоне оборотов.

Повышение мощности, полученное при внесении указанных конструктивных изменений, видно из сравнения внешних характеристик на рис. 9.

При сравнительных испытаниях смесителей (см. «Автотракторное дело» № 2, 1938) было обнаружено, что двойной смеситель Панар-Левассор, установленный на двигателе ЗИС, обеспечивал заметный прирост мощности. В соответствии с этим был спроектирован и изготовлен опытный смеситель этого типа для двигателя ЗИС-5 (рис. 4), который обеспечил прирост мощности до 5% по сравнению со старым смесителем ЗИС. Кроме того оказалось, что при новом смесителе почти отсутствует перепад разрежений между всасывающим коллектором и линией газа перед смесителем, составлявший при старом смесителе около 15 мм рт. ст. при 2400 об/мин, что может быть объяснено инжекционным действием нового смесителя за счет пре-



4. Смеситель

вращения потенциальной энергии подводимого воздуха в кинетическую.

Газ поступает к смесителю под некоторым разрежением Δp , вследствие гидравлических потерь в газогенераторной установке. Чтобы обеспечить правильное смесеобразование, необходимо сообщить такое же разрежение и примешиваемому воздуху, т. е. отнять от него некоторое количество энергии. В обычных смесителях (даже в так называемых «инжекционных», но снабженных дроссельной заслонкой воздуха) эту избыточную энергию превращают в теплоту путем дросселирования воздуха. В новом же смесителе избыточная энергия воздуха превращается в основном в кинетическую энергию. Для этого вместо обычной дроссельной заслонки воздуха применена обтекаемая игла, обеспечивающая требуемое разрежение за счет увеличения скорости воздуха, при минимальных гидравлических потерях.

При повышении оборотности двигателя выигрыш мощности за счет инжекции растет. Однако высокая скорость поступающего в смеситель воздуха, помимо инжекционного эффекта, способствует быстрому перемешиванию смеси, благодаря значитель-

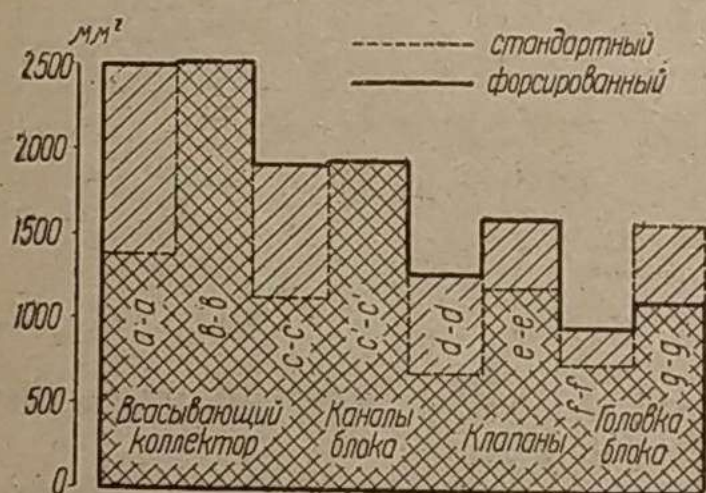
ной разности скоростей газа и воздуха, причем перемешивание здесь достигается без дополнительных гидравлических потерь, которые имеют, например, место в золотниковых смесителях. Достижимое повышение мощности следует поэтому объяснить не только инжекционным действием, но и хорошим перемешиванием смеси, приводящим к более равномерному распределению смеси по цилиндрам.

Гидравлические потери при всасывании смеси в двигатель зависят в основном от скорости смеси и от наличия резких изменений скорости и направления движения смеси на пути от смесителя к цилиндрам двигателя. Следовательно, чтобы увеличить наполнение двигателя, необходимо, во-первых, уменьшить скорость смеси, т. е. увеличить проходные сечения, и, во-вторых, устранить резкие расширения или сужения на линии всасывания и свести число поворотов к минимуму.

При работе на бензине для предотвращения конденсации и оседания жидкого бензина на пути в цилиндры, т. е. для обеспечения нормального распределения смеси, приемистости, экономии горючего и др., приходится применять ряд конструктивных мер, идущих иногда в ущерб наполнению, — в частности, применять высокие скорости смеси, подогревать смесь выхлопными газами и др. При работе на газе необходимость в этих мерах отпадает, так как в рабочей смеси (газ-воздух) отсутствует жидкая фаза. Поэтому допустимо любое практически целесообразное понижение скорости смеси, что позволяет максимально расширить и выровнять все проходные сечения.

Во всасывающей системе двигателя ЗИС-21 имеются следующие узкие места.

1. Резкое изменение проходных сечений в коллекторе и каналах блока. Входной патрубок коллектора имеет сечение 1380 мм² (а—а, рис. 5); за-



5. Диаграмма сечений коллектора и каналов блока

тем сечение коллектора расширяется до 2390 мм² (b—b) и снова сужается при входе в блок до 1140 мм² (c—c); дальше — опять резкое расширение (канал блока, c'—c') и затем снова резкое сужение (d—d) уже перед самым клапаном. Эти резкие изменения проходных сечений повышают гидравлические потери при всасывании.

2. Всасывающий клапан недостаточно велик для данного литража двигателя.

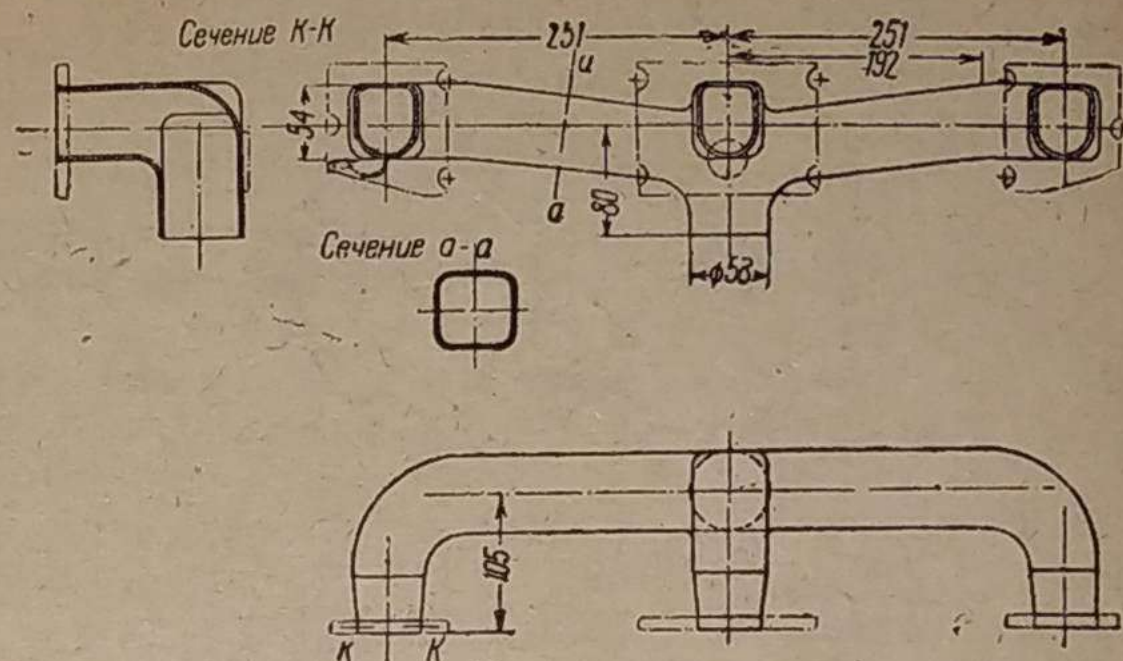
Чтобы устранить эти узкие места, были предложены следующие конструктивные изменения:

1. Увеличение проходных сечений всасывающего коллектора (рис. 6) с одновременным расширением входных отверстий всасывающих каналов блока, не изменяя отливки.

2. Применение модернизированного блока ЗИС-5 с расширенными всасывающими каналами (рис. 7).

3. Увеличение диаметра всасывающих клапанов без изменения литья блока (рис. 8).

Эти мероприятия значительно выравнивают и увеличивают проходные сечения линии всасывания (рис. 5).



6. Новый коллектор

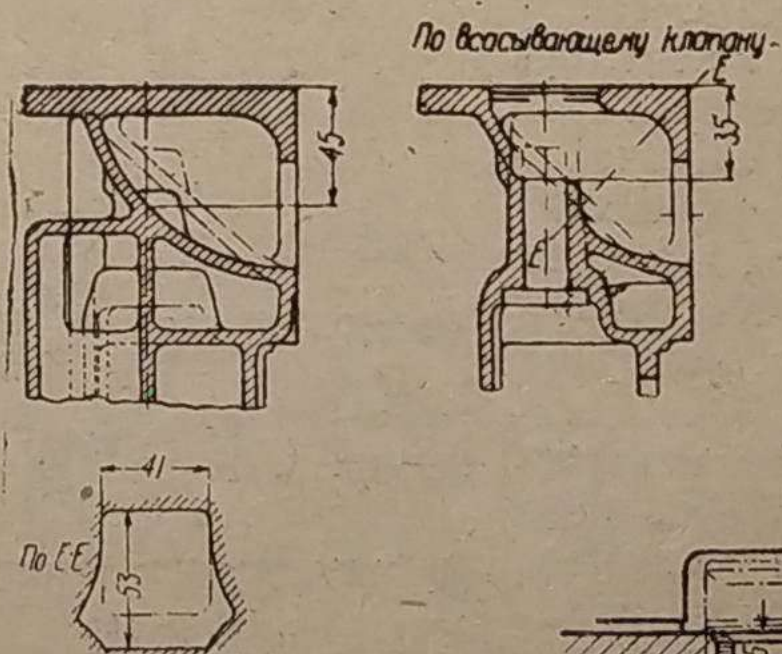
Предложенные изменения были последовательно внесены в конструкцию двигателя и были проведены соответствующие испытания. Для этих испытаний нужен был двигатель с модернизированным блоком цилиндров, поэтому пришлось проводить эту часть испытаний на новом двигателе (№ 2). Мощность его на бензине оказалась значительно ниже, чем у первого двигателя (№ 1), видимо, вследствие повышенных потерь на трение.

Увеличение наружного диаметра всасывающего клапана до 52 мм (вместо 47,5) при диаметре гнезда клапана 47,2 мм (вместо 40,5 мм) дало увеличение мощности с 55,6 до 57,2 л. с., т. е. около 3%.

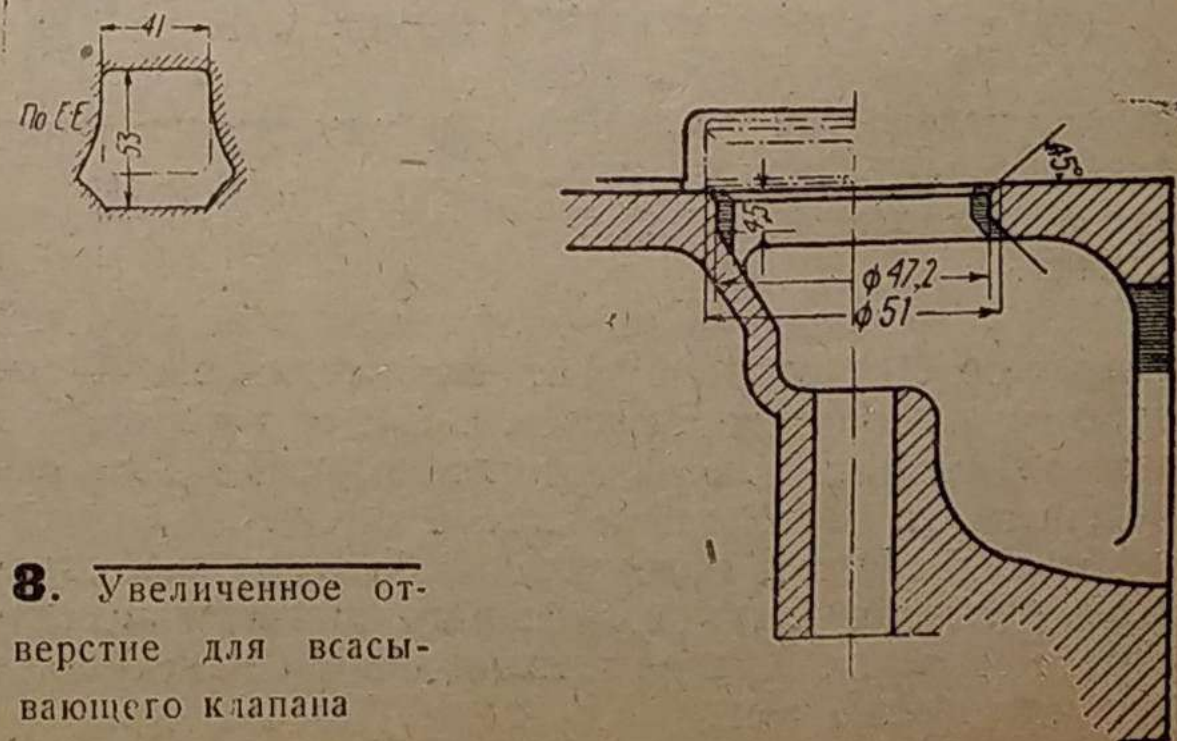
Расширение окон блока и новый всасывающий коллектор дали увеличение мощности с 57,2 до 58,2 л. с., т. е. около 2%.

Расширение всасывающих каналов блока было испытано в 1937 г. на бензиновом двигателе. При этом оказалось, что мощность увеличивается, примерно, на 3%.

Кулачковый вал ЗИС-16 был испытан на газовом двигателе (см. «Автотракторное дело» № 8—9, 1938 г.) и дал прирост мощности около 4%.

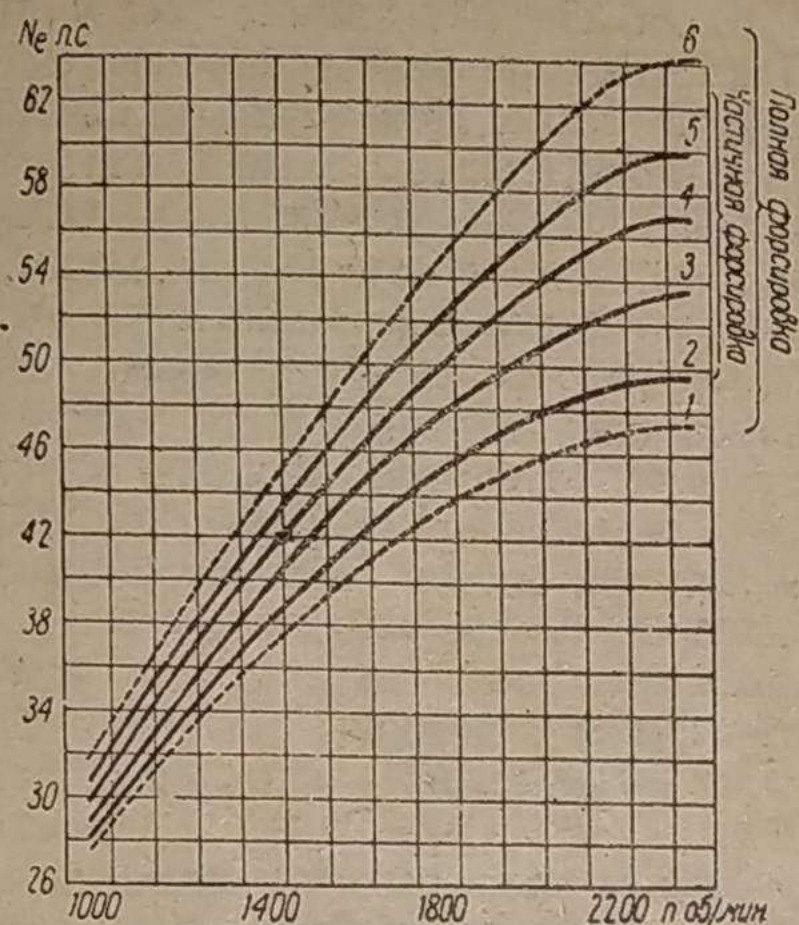


7. Расширенный всасывающий канал блока



8. Увеличенное отверстие для всасывающего клапана

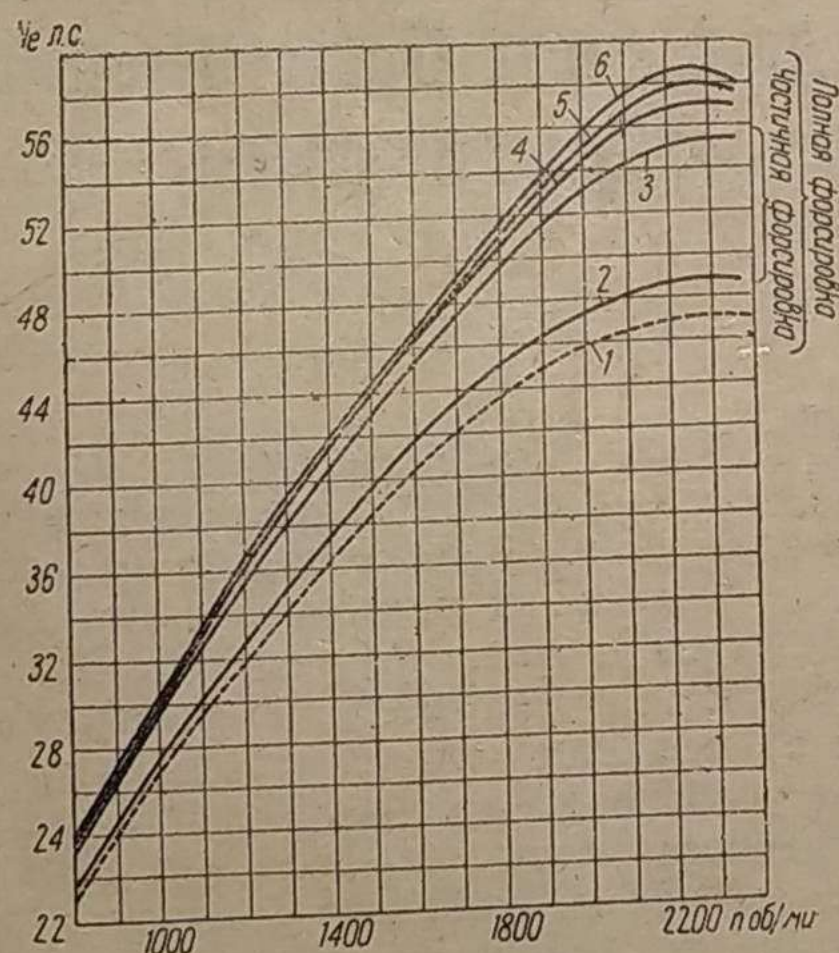
Приведенные на рис. 9 и 10 кривые показывают некоторое несоответствие в величине прироста мощности двух двигателей при одних и тех же конструктивных изменениях. Двигатель № 1 давал на бензине при стандартном оборудовании ЗИС-5



9. Сравнительные характеристики двигателя № 1

1 — стандартный ЗИС-21 (кривая построена на основании пересчета); 2 — с модернизированным кулачковым валиком; 3 — при повышении степени сжатия до 8,5; 4 — при устранении подогрева смеси; 5 — с новым инжекционным смесителем; 6 — при увеличении всасывающего клапана и расширении коллектора

72,5 л. с., на газе при оборудовании ЗИС-21 — 47,5 л. с. и на газе после частичной форсировки — 60 л. с., т. е. прирост мощности за счет частичной форсировки составлял 26,3%. Двигатель № 2 давал на бензине (с модернизированным блоком) 65 л. с., на газе с оборудованием ЗИС-21 — 48,8 л. с.



10. Сравнительные характеристики двигателя № 2:

1 — стандартный ЗИС-21; 2 — с модернизированным блоком; 3 — с новым смесителем и головкой блока, коллектор с тепловым экраном; 4 — с увеличенным всасывающим клапаном; 5 — с новым коллектором; 6 — с модернизированным кулачковым валиком

и на газе после такой же частичной форсировки — 55,6 л. с., т. е. увеличение мощности на 14%.

Эти данные заставляют считать, что существует определенная зависимость между мощностью двигателя на бензине (определяемой при прочих равных условиях состоянием кривошипно-шатунной и поршневой группами) и приростом мощности при форсировке двигателя.

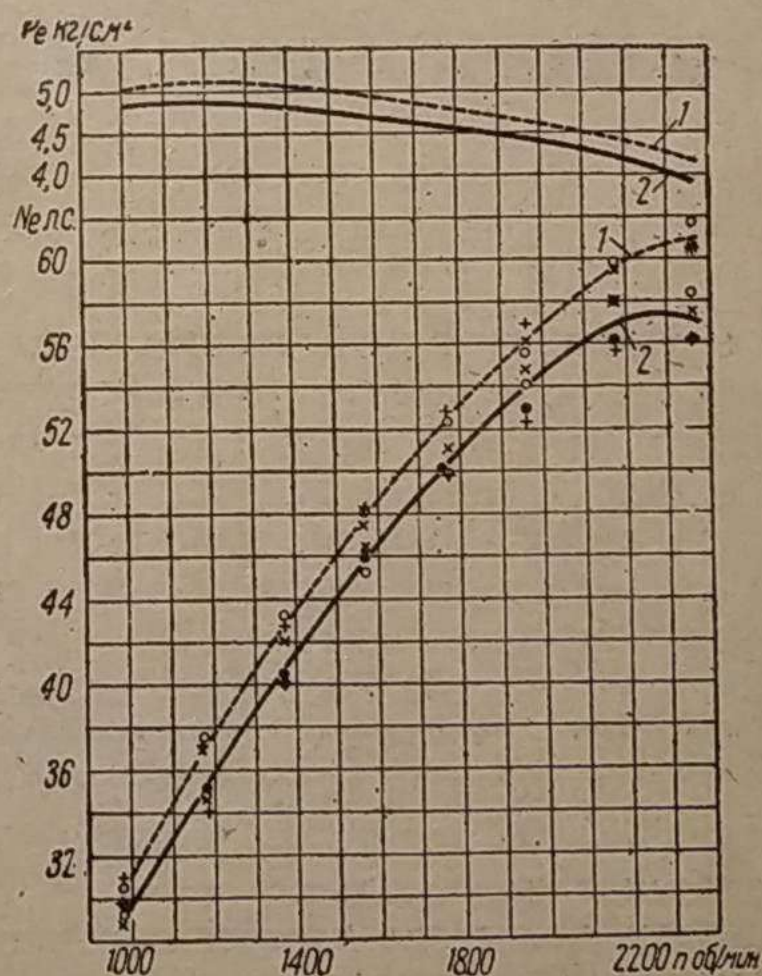
Это можно объяснить тем, что стандартный двигатель ЗИС-21 фактически недогружен, поэтому дефекты деталей кривошипно-шатунной и поршневой групп сказываются меньше. Однако после форсировки давление в цилиндрах и скорость нарастания его увеличиваются, вследствие чего дефекты кривошипной и поршневой групп сказываются сильнее, увеличивая потери трения и пропуск газов через кольца; поэтому у двигателя с дефектной кривошипной и поршневой группами относительный прирост мощности при форсировке меньше, чем у двигателя с нормальными кривошипной и поршневой группами.

Полную мощность форсированного двигателя при нормальном кривошипном механизме можно определить, если прирост мощности за счет нового коллектора, увеличенных клапанов и расширенных каналов блока (4,3 л. с.), полученный на двигателе № 2, перенести на двигатель № 1. Тогда получим общий прирост мощности при полной форсировке $12,5 + 4,3 = 16,8$ л. с., т. е. 35%. Таким образом, в зависимости от качества кривошипного механизма двигателя, прирост мощности при полной форсировке составляет 25—35%, т. е. 11,5—17 л. с., а мощность форсированного двигателя 57—64 л. с.

В дальнейшем были проведены испытания еще трех форсированных двигателей. Мощность каждого из них превышала 60 л. с., что подтверждает правильность приведенного пересчета.

После окончания основных работ по форсированному двигателю ЗИС были проведены сравнительные испытания этого двигателя и построенного в НАТИ на базе ЗИС-5 газового двигателя с верхними всасывающими клапанами.

Двигатель НАТИ можно считать наилучшим с точки зрения наполнения и условий сгорания смеси (вопрос о производственных и эксплуатационных недостатках двигателя НАТИ здесь не рассматривается).



11. Сравнительные характеристики двигателей: 1 — НАТИ; 2 — ЗИС

Верхние всасывающие клапаны большого диаметра и широкие всасывающие каналы, подведенные отдельно к каждому цилиндру, обеспечивают наибольшее наполнение независимо от степени сжатия, а смещенная камера чрезвычайно компактна и способствует интенсивному завихриванию смеси при сжатии. Недостатком камеры сгорания можно счи-

тять сравнительно большую поверхность теплоотдачи и неблагоприятные условия сгорания смеси в зазоре над поршнем и в углублениях тюльпанообразных клапанов, вследствие смещения камеры сгорания. Все же показатели этого двигателя можно принять за предельные, и по степени приближения к ним оценивать другие конструкции головки блока и всасывающей системы.

Сравнительные испытания, проведенные при одной и той же механической части двигателя, газогенераторной установке, на одном и том же стенде и с одинаковыми смесителями, показали, что мощность двигателя НАТИ, принятая нами за предельную, лишь на 4—6% превышает мощность двигателя ЗИС, т. е. двигатель ЗИС чрезвычайно близко подошел к предельным показателям (рис. 11). Следовательно всасывающая система двигателя ЗИС выполнена весьма удачно, и резервы для дальнейшего повышения мощности за счет всасывающей системы и головки блока в основном исчерпаны.

На двигателе были установлены авиационные свечи ЗМГ и магнето СС6. Для устранения перебоев вследствие взаимодействия проводов свечи были снабжены наружными искровыми промежутками.

Работа двигателя при испытаниях была достаточно устойчива.

Однако из этого еще не следует, что примененное электрооборудование можно рекомендовать для работы в условиях эксплуатации и для массового производства. В настоящее время проводится

специальная работа по подбору надежного электрооборудования для газового двигателя со степенью сжатия 8,5.

Результаты испытаний позволяют заключить, что мощность нового двигателя, в зависимости от качества его механической части, составляет 57—64 л. с., т. е. на 25—35% выше, чем у двигателя ЗИС-21. При этом требуемые конструктивные изменения незначительны. Новый двигатель, как обеспечивающий значительное повышение качества автомобиля ЗИС-21 без усложнения производства и эксплуатации, будет поставлен на массовое производство вместо двигателя ЗИС-21.

Проведенные работы по форсировке двигателя ЗИС позволяют сделать следующие общие выводы:

1. Полная форсировка работающего на газе двигателя, т. е. достижение результатов, близких к предельным при работе на генераторном газе, не требует создания специальных газовых двигателей, а возможна на базе дизелей или карбюраторных двигателей как с верхним, так и с боковыми каналами, без значительных конструктивных изменений.

2. При массовом производстве однотипных газогенераторных и бензиновых автомобилей с одинаковыми шасси и тоннажем, для достижения низкой стоимости машины, простоты производства и эксплуатации и достаточной приемистости на газе, следует снабжать эти машины одинаковым двигателем, несколько притупленным при работе на бензине и полностью форсированным на газе.

Расчет редуцирующих систем для газобаллонных автомобилей и стационарных установок

Инж. К. И. Генкин

НАТИ

В связи с расширяющимся применением сжатых и сжиженных газов в качестве топлива для различных транспортных, стационарных и бытовых установок необходимо выяснить основные вопросы, возникающие при выборе или проектировании главного агрегата установки для сжатого или сжиженного газа — редуцирующей системы.

Редуцирующая система должна автоматически снижать переменное давление газа, поступающего из баллонов, до некоторой постоянной (точнее, мало изменяющейся) величины, в условиях переменного расхода газа двигателем.

При остановке двигателя доступ газа к нему должен автоматически прекращаться. Переход от одного режима к другому должен происходить устойчиво. Рабочий процесс редуктора разделяется на три фазы, соответствующие трем положениям клапана редуктора.

I фаза. Клапан герметически закрыт. Редуктор должен обеспечивать полную герметичность.

II фаза. Клапан редуктора открыт на некоторую величину. При этом он должен поддерживать некоторое постоянное давление (или разрежение) на выходе.

III фаза. Клапан перемещается из одного положения в другое — в соответствии с изменением расхода или давления. Задача редуктора состоит в обеспечении быстрого и устойчивого перехода.

В соответствии с тремя фазами рабочего процесса составляются три уравнения: 1) уравнение герметичности; 2) основное уравнение статики; 3) уравнение или условие динамической устойчивости. По этим уравнениям рассчитываются или проверяются основные показатели рабочего процесса газового редуктора и его основные конструктивные параметры.

Основными характерными показателями редуцирующей системы являются:

1. Величина среднего разрежения, поддерживаемого редуцирующей системой на выходе.
 2. Неравномерность, т. е. отклонение разрежения на выходе от средней величины.
 3. Герметичность системы.
 4. Условия динамической устойчивости.
 5. Надежность и безопасность.
 6. Компактность.
 7. Простота устройства и обслуживания.
- Первые четыре показателя характеризуют рабо-

чий процесс и качество работы редуцирующей системы, а последние три показателя характеризуют систему с конструктивной стороны.

Изучение влияния редуцирующей системы на работу газового двигателя¹ показывает, что основной задачей является уменьшение разрежения на выходе и неравномерности.

Чем ниже разрежение на выходе из редуцирующей системы, тем больший диаметр диффузора смесителя может быть допущен. Это дает возможность получить лучшее наполнение и мощность, обеспечив при этом устойчивую работу двигателя на малых дросселях и хорошую «гибкость» мотора, т. е. хороший переход с малых оборотов к большим при любой нагрузке.

«Гибкость» мотора сильно зависит от величины разрежения на выходе из редуцирующей системы. Снижение разрежения даже на 10 мм вод. ст. заметно отражается на работе двигателя.

Уменьшение неравномерности редуцирующей системы дает возможность получить более устойчивую регулировку, так как уменьшает отклонение коэффициента избытка воздуха от заданной величины.

Одновременно со снижением разрежения на выходе и неравномерности необходимо обеспечить наилучшие условия герметичности. Эти два требования являются взаимнопротивоположными. Однако обеспечение полной и надежной герметичности аппаратуры при остановке двигателя при любом давлении газа в баллонах является необходимым правилом безопасности и должно быть безусловно удовлетворено.

При выборе схемы редуцирующей системы первым вопросом, который приходится разрешать, является применение одноступенчатой или двухступенчатой схемы. К преимуществам двухступенчатой системы редуцирования относятся:

1. Возможность получения более высоких показателей среднего разрежения, неравномерности и герметичности. Подробный теоретический анализ² показывает, что при двухступенчатой схеме первый редуктор (редуктор высокого давления) создает гидравлическое передаточное число, равное по приближенному выражению $\frac{a \cdot f_m}{f_k}$, где f_m — площадь мембраны, f_k — площадь клапана, a — коэффициент активности мембраны. Это отношение в численном выражении составляет 65—100.

Для возмещения этого передаточного числа при одноступенчатой схеме приходится увеличивать диаметр мембраны и применять более сложную рычажную передачу.

2. Компактность.

3. Большая безопасность.

Преимуществом одноступенчатой системы редуцирования является наличие одного прибора вместо двух.

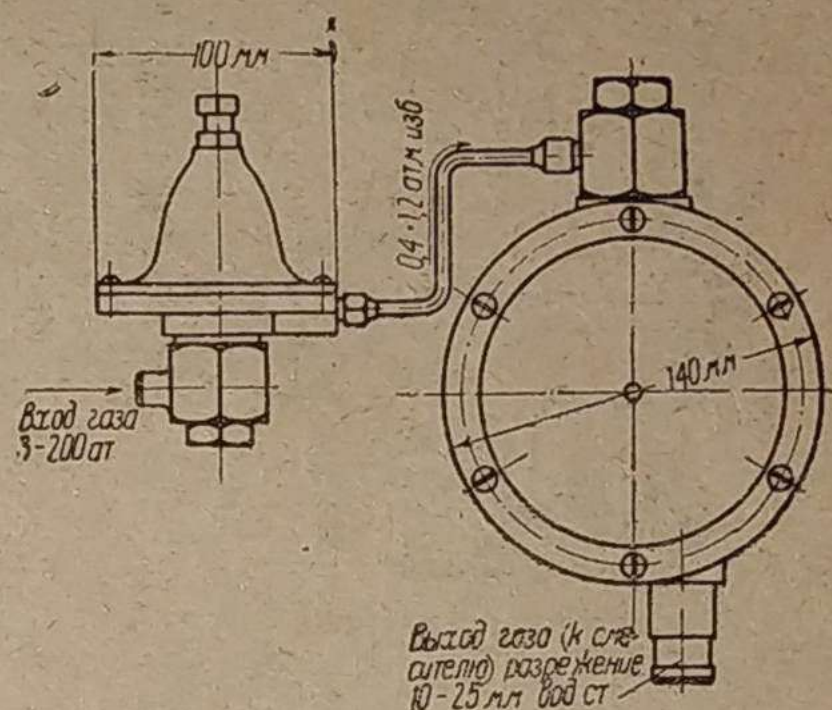
Это преимущество одноступенчатой схемы в начале развития газобаллонных автомобилей в ряде стран за границей и у нас обусловило ее применение, однако, в настоящее время следует переходить к более рациональной и более эффективной двухступенчатой системе редуцирования.

Редуцирующая система НАТИ-СГ21

Эта система двухступенчатая (рис. 1), причем учитывалась возможность унификации аппаратуры для

сжатых и сжиженных газов. Такую унификацию можно провести лишь на базе двухступенчатой системы, так как для сжиженных газов одноступенчатая система редуцирования не применяется.

Редуцирующая система НАТИ-СГ21 представляет оригинальную конструкцию, разработанную на основании данных испытаний и наблюдений над работой заграничной и отечественной аппаратуры, а также теоретических исследований.



1. Схема редуцирующей системы НАТИ-СГ21

Эта аппаратура успешно прошла лабораторные испытания и на автомашинах на различных газах.

Основные принятые предпосылки вытекают из теории и расчета редуцирующей системы, изложенных в работах „Расчет газовых редукторов“ („Автотракторное дело“ № 4, 1938), „Сборник научных работ НАТИ“ (Машгиз, 1938), а также из исследований влияния редуцирующей системы на работу газового двигателя („Автотракторное дело“ № 1, 1939).

Редуктор высокого давления (рис. 2). Газ из баллонов давлением 5—200 ат подходит к клапану 4 и прижимает его к седлу. Одновременно прижимает клапан к седлу нижняя пружина 6. Открывает клапан верхняя пружина 12 посредством толкателя 8. По мере открытия клапана 4 газ проходит в камеру, снижая свое давление. Когда давление в камере превзойдет расчетное, сила от этого давления на мембрану 9 отождет пружину 12 и клапан начинает прикрываться под действием пружины 6 и давления газа на входе.

Клапан — плоский, наполнитель клапана — эбонит. Материал седла — латунь.

Как видно из схемы, нами выбран тип редуктора с обратным ходом клапана. Для этого типа характерно, что клапан открывается в сторону, противоположную направлению входа газа. Другой разновидностью является редуктор с прямым ходом клапана. Здесь направления входа газа и открытия клапана совпадают.

Недостатком редуктора с обратным ходом является необходимость пропустить через проходное сечение клапана шток толкателя, что увеличивает площадь клапана за счет бесполезной „мертвой“ площади штока.

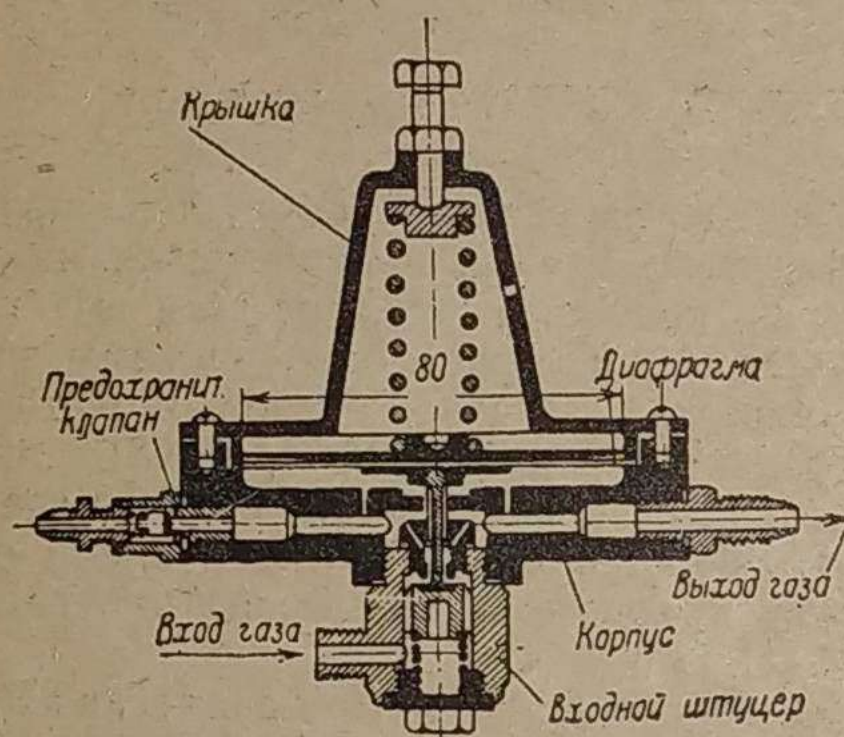
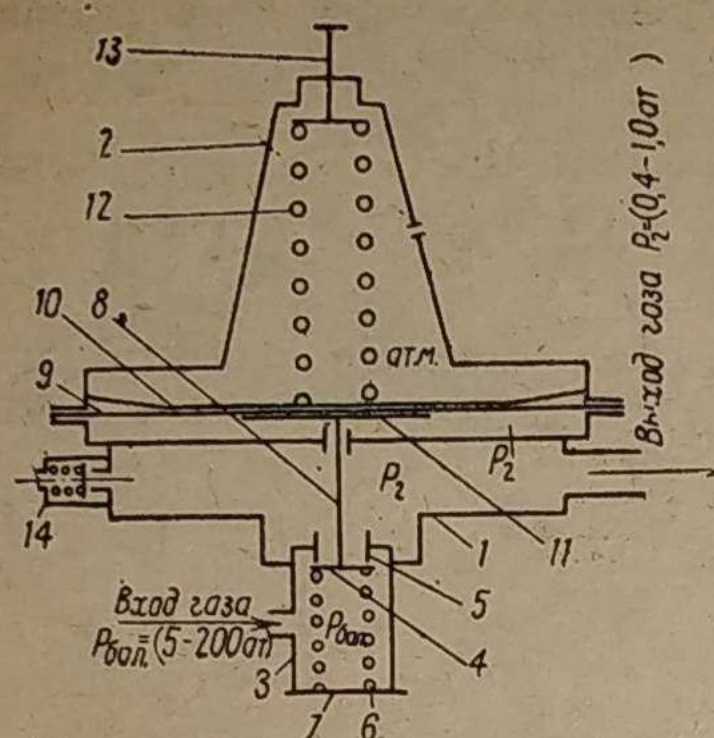
Однако ряд конструктивных и эксплуатационных соображений — большая безопасность (клапан прижат давлением газа, поломка пружины не опасна), простота и надежность конструкции — заставляют отдавать предпочтение обратному ходу клапана.

Для определения основных конструктивных параметров и показателей редуктора составляются два уравнения: основное уравнение ста-

¹ См. ст. Генкина К. И., Мощность и экономика газовых двигателей, „Автотракторное дело“ № 1, 1939.

² См. „Автотракторное дело“ № 4, 1938. Ст. Генкина К. И.

тики и уравнение герметичности. Третье уравнение рабочего процесса редуктора — условие динамической устойчивости — является проверочным, а не расчетным. Однако при выборе конструктивных данных и форм следует учитывать требования динамической устойчивости. Помимо



2. Принципиальная и конструктивная схемы редуктора высокого давления НТИ-СГ21

указанных двух расчетных уравнений составляется уравнение пропускной способности редуктора.

Основным уравнением статики редуктора называется уравнение вида:

$$P_{вых} = f(P_{вх}, G), \quad (1)$$

связывающее переменные параметры режима: давление на входе — $P_{вх}$, расход газа — G (независимые переменные), давление на выходе $P_{вых}$ (характерный для редуктора параметр) и конструктивные параметры редуктора, которые входят в это уравнение в виде коэффициентов.

Для описываемого редуктора основное уравнение статики имеет вид:

$$P_2 = \frac{\Delta Q_0 + a \cdot f_m}{a \cdot f_m - f_k} - \frac{f_k}{a \cdot f_m - f_k} \cdot P_{бал} - \frac{m \cdot A}{a \cdot f_m - f_k} \frac{G}{P_{бал}}, \quad (2)$$

где P_2 — давление газа на выходе из редуктора высокого давления в ат абс;

ΔQ_0 — начальное нажимное усилие (при закрытом клапане) пружинной системы;

$\Delta Q_{10} = Q_{20}$,

где Q_{10} и Q_{20} — начальные усилия верхней и нижней пружины;

f_k — площадь клапана;

f_m — площадь мембраны;

a — коэффициент активности площади мембраны;

$P_{бал}$ — давление газа в баллонах;

G — расход газа через редуктор;

A — постоянная величина, исчисленная по выражению:

$$A = \frac{1}{\phi \pi d_k \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \left(\frac{2}{k-1} \right)^{\frac{2}{k+1}} \cdot \frac{1}{RT}}};$$

m — коэффициент жесткости пружинной системы;

$$m = m_1 + m_2,$$

где m_1 и m_2 — коэффициенты верхней и нижней пружин.

Уравнением герметичности называется уравнение вида:

$$Q_{герм} = f(P_{бал}), \quad (3)$$

где $Q_{герм}$ — некоторое дополнительное усилие герметичности, которое необходимо приложить к закрытому клапану для достижения герметичности.

Физическая сущность этого усилия ясна из того, что для достижения герметичности недостаточно приложить клапан к седлу, но необходимо его еще прижать с некоторой силой.

Для рассматриваемого редуктора уравнение герметичности примет вид:

$$Q_{герм. макс} = (P_{бал} - P_{2 закр}) \cdot f_k + Q_{20}, \quad (4)$$

где: $Q_{герм. макс}$ — максимальное усилие герметичности при некотором $P_{бал}$, которое достигается, когда верхняя пружина (над мембраной) целиком отжата силой давления газа на мембрану и уже не действует через толкатель на клапан;

$P_{2 закр}$ — давление на выходе из редуктора при герметически закрытом клапане;

Q_{20} — начальное (при закрытом клапане) усилие нижней (клапанной) пружины.

Уравнение пропускной способности редуктора, согласно законам термодинамики, имеет вид:

а) при надкритическом перепаде давлений на входе и выходе:

$$G_{макс} = \phi \cdot f'_k \cdot P_{вх. мин} \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \left(\frac{2}{k-1} \right)^{\frac{2}{k+1}} \cdot \frac{1}{RT}}, \quad (5)$$

где ϕ — коэффициент расхода через клапан;

б) при докритическом перепаде давления:

$$G_{макс} = \phi \cdot f'_k \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \cdot RT \left[1 - \left(\frac{P_{вх. мин}}{P_{вых}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (6)$$

или по упрощенной формуле

$$G_{макс} = \phi \cdot f'_k \sqrt{2g (P_{вх. мин} - P_{вых}) \cdot \gamma_2}, \quad (7)$$

где γ_2 — удельный вес газа.

При определении основных конструктивных данных редуктора исходим из следующих предпосылок:

1. Диапазона внешних условий, т. е. диапазона изменения давления в баллонах и диапазона изменения расхода.

2. Заданных величин, к которым относятся: величина среднего давления или разрежения на выходе, неравномерность или величина максимального отклонения от среднего давления на выходе и условия герметичности.

3. Конструктивных соображений.

Для рассматриваемого редуктора НАТИ-СГ21 принимаем диапазон изменения давления в баллонах от 5 до 200 ат.

Это — диапазон изменения давления для сжатого газа. Для сжиженного газа обычного состава диапазон изменения давления составляет от 3 до 14 ат. Таким образом принятый диапазон для сжатого газа включает в себя диапазон изменения давления и для сжиженного газа с некоторым отклонением низшего предела (с 5 до 3 ат), которое в случае сжиженного газа практически не имеет значения и его влияние может быть легко компенсировано посредством имеющихся в редукторе регулировочных приспособлений.

Диапазон изменения расхода определяется максимальным расходом газа двигателем, на который редуктор рассчитывается.

Редуктор НАТИ-СГ21 рассчитан для работы на различных сжатых и сжиженных газах с двигателями ГАЗ и ЗИС.

Следует заметить, что расход газа двигателем СТЗ (керосиновым) равен расходу двигателя ГАЗ, а расход двигателем ЧТЗ (лигроиновым) равен расходу ЗИС-5.

Максимальный расход двигателя ЗИС-5 при 2400 об/мин приведен в табл. 1.

Расход газа вычисляется по формуле:

$$G_{\max} = \frac{V_{\text{об}} \cdot n \cdot 60 \cdot \gamma_2}{2(1 + \alpha L_0)} \eta_v \quad (8)$$

при $\alpha=1$, $\eta_v=0,65$.

Таблица 1

Расход газа двигателем ЗИС-5 при 2400 об/мин

Г а з	L_0 м³/м³	γ_2 кг/м³	G кг/час
Коксовый	4,5	0,55	27,0
Светильный	4,8	0,85	38,0
Естественный	9,25	0,68	17,25
Сжиженный (52% пропана, 48% бутана)	27,2	2,08	19,9

В дальнейшем ориентируемся на $G_{\max}=45$ кг/час светильного газа, обеспечивая значительный запас пропускной способности.

Величина среднего давления на выходе. Задаемся $P_{2\text{ср}}=0,75-0,8$ ат изб. Эта величина несколько отличается от принятых в заграничных конструкциях.

В табл. 2 приведены приближенные величины средних давлений на выходе для трех конструкций редукторов высокого давления.

Основные соображения, на основании которых уменьшено среднее разрежение на выходе по сравнению с принятым для редукторов высокого давления (для сжатого газа), заключаются в следующем:

1. Чем меньше давление на выходе из редук-

тора высокого давления, тем лучше условия работы редуктора низкого давления.

2. Снижение среднего давления до 0,75—0,8 ат изб. позволит использовать редуктор и на сжатом и на сжиженном газе.

Таблица 2

Среднее давление на выходе из редукторов высокого давления

Ф и р м а	Вид газа	Среднее давление на выходе P_2 ат изб.
Паллас	Сжатый	2,5—(3,5)
Хессенверке	"	2,5
Энсайн	Сжиженный	0,4

3. Намечаемая неравномерность редуктора НАТИ-СГ21 настолько невелика, что допускает уменьшение среднего давления на выходе.

Последнее соображение является особенно важным, так как неравномерность ограничивает снижение среднего давления на выходе. Например, среднее давление на выходе редуктора «Паллас» не может быть ниже 2,5 ат изб., так как неравномерность этого редуктора достигает 2 ат и, таким образом, в одном из крайних положений — при максимальном давлении на входе и расходе — давление на выходе составляет всего 0,5 ат изб. Дальнейшее снижение давления на выходе уже не обеспечит достаточного расхода.

Неравномерность. Задаемся неравномерностью в 0,35—0,4 ат; большей неравномерности нельзя допустить при заданном выше среднем давлении на выходе (0,75—0,8 ат изб.).

Условия герметичности. Для определения усилий пружин необходимо задаться усилием герметичности ($Q_{\text{герм}}$) при определенном давлении [см. уравнение (4)], имея в виду наихудший случай.

Усилие герметичности определяется по известному из расчета уплотнений выражению:

$$Q_{\text{герм}} = \sigma_2 \cdot f_c \quad (9)$$

где f_c — площадь соприкосновения клапана с седлом;

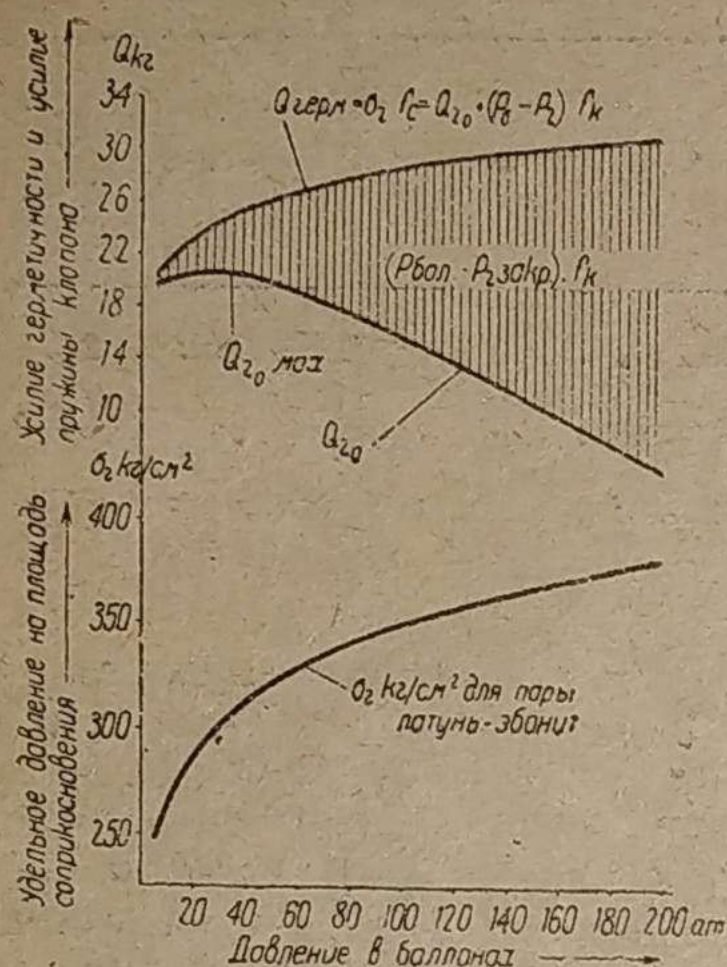
σ_2 — удельное давление на эту площадь.

На рис. 3 показано удельное давление, обеспечивающее герметичность пары, состоящей из тарельчатого эбонитового клапана и латунного седла по данным ВАТ, подтвердившимся отдельными опытами и наблюдениями в НАТИ. Показанные значения предусматривают двойной запас удельного давления, т. е. коэффициент запаса герметичности принят равным двум.

Задавшись необходимыми величинами, можно перейти к определению основных конструктивных размеров редуктора.

Диаметр клапана редуктора определяется на основании уравнения пропускной способности при надкритическом перепаде давления [уравнение (5)]. Приводим расчет для светильного газа: $G_{\max}=45$ кг/час; $P_{\text{вх. мин}}=9$ ат изб. Не следует рассчитывать на меньшее $P_{\text{вх. мин}}$, так как увели-

чение площади клапана крайне невыгодно в отношении неравномерности [см. уравнение (2)] и нет смысла допускать ее для обеспечения $G_{\text{макс}}$ на столь малом участке диапазона давления в 5—9 ат. В крайнем случае может произойти, что при давлении в баллонах ниже 9 ат двигатель не сможет развить под полной нагрузкой



3. Удельное давление герметичности для пары латунь — эбонит и определение усилия пружины клапана

2400 об/мин и водитель будет вынужден проехать 2—3 км с меньшей скоростью. Это имеет также свою хорошую сторону, так как послужит сигналом необходимости заправлять машину газом.

Приняв коэффициент истечения $\phi = 0,75$, получим по выражению (5) $f'_k = 9,2 \text{ мм}^2$.

На основании полученной площади необходимого проходного сечения определяем диаметр клапанного отверстия:

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot f'_k}{\pi} - d_{шт}^2},$$

где d — диаметр штока толкателя, проходящего через клапан.

Приняв $d = 2,5 \text{ мм}$, получим $d_k = 4,15 \text{ мм}$.

Принимаем $d_k = 4 \text{ мм}$.

Диаметр мембраны и коэффициент активности площади мембраны определяются по заданной неравномерности (диаметр мембраны) и опытным данным (коэффициент активности).

Величина неравномерности, согласно основному уравнению статики (2), определяется выражением:

$$\Delta P_{2 \text{ макс}} = \frac{f_k}{a \cdot f_m - f_k} (P_{\text{бал. макс}} - P_{\text{бал. ср}}) + \frac{m \cdot A}{a \cdot f_m - f_k} \cdot \frac{G_{\text{макс}} - G_{\text{ср}}}{(P_{\text{бал. макс}} - P_{\text{бал. ср}})}, \quad (10)$$

где $\Delta P_{2 \text{ макс}}$ — неравномерность — максимальное отклонение давления на выходе P_2 от средней величины, соответствующее изменению давления в баллонах от $P_{\text{бал. ср}}$ до $P_{\text{бал. макс}}$ и расхода от $G_{\text{ср}}$ до $G_{\text{макс}}$.

Для предварительного расчета можно пренебречь вторым членом в выражении неравномер-

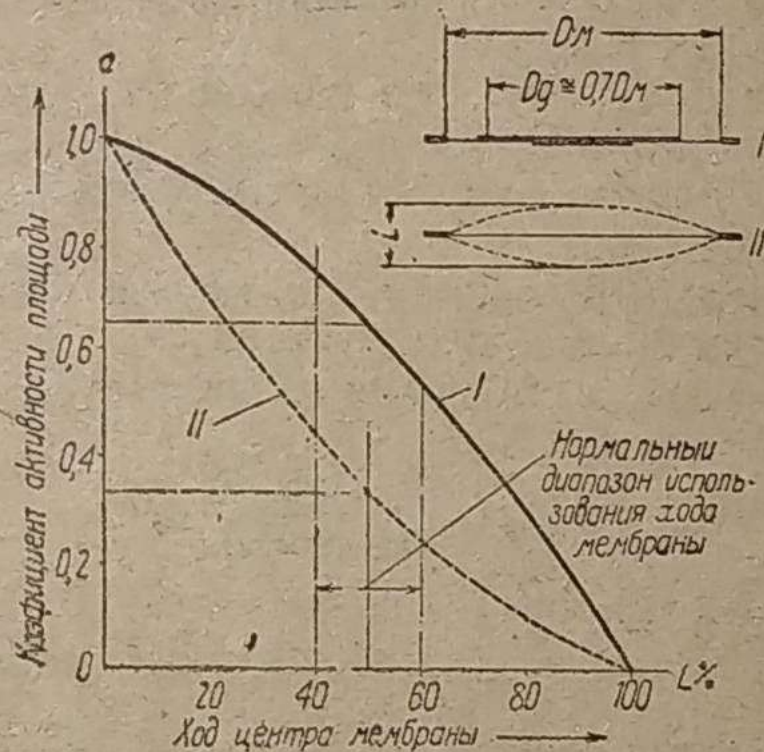
ности (10), так как он относительно невелик по сравнению с первым членом.

Тогда получим:

$$\Delta P_{2 \text{ макс}} = \frac{f_k}{a \cdot f_m - f_k} (P_{\text{бал. макс}} - P_{\text{бал. ср}}).$$

Подставляя значения: заданное $\Delta P_{2 \text{ макс}} = 0,4 \text{ ат}$, $P_{\text{бал. макс}} = 200 \text{ ат}$ и $P_{\text{бал. ср}} = 100 \text{ ат}$, а также полученное $f_k = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} = 12,6 \text{ мм}^2$, получим $a \cdot f_m = 3410 \text{ мм}^2$.

Коэффициент активности площади мембраны, показывающий, какая часть силы давления на мембрану передается на ее центр (остальная часть передается на зажатые края), зависит от конструкции мембраны и ее положения. На рис. 4 показан коэффициент активности площади мембраны в зависимости от ее хода для мембраны с дисками (кольцевой), которая применена для рассчитываемого редуктора. Пунктиром показано протекание a для мембраны без дисков (круглой), которое показывает смысл применения дисков, — они увеличивают коэффициент активности мембраны для среднего положения в два раза ($d_{\text{диска}} = 0,7 \cdot d_{\text{мембр}}$).



4. Коэффициент активности площади мембраны

Принимаем $a = 66 = \text{const}$ (среднее положение).

Неточность, которую мы допускаем, принимая $a = \text{const}$, незначительная, так как ход клапана, а следовательно, и мембраны невелик:

$$h_{\text{макс}} \approx \frac{d_k'}{4} \approx 0,9 \text{ мм}.$$

Очевидно, что для уменьшения диапазона изменения a следует увеличивать возможный ход центра мембраны L , т. е. мембрану делать возможно более эластичной.

Из выражения для $a \cdot f_m$ находим:

$$f_m = \frac{3410}{0,66} = 4800 \text{ мм}^2;$$

отсюда $d_m = 78,5 \text{ мм}$.

Принимаем $d_m = 80 \text{ мм}$.

Начальное нажимное усилие пружинной системы, равное разности усилий верхней и нижней пружин в начальном положении [см. уравнение (2)], может быть определено из начальных условий и уже найденных величин.

Из основного уравнения (2) ясно, что максимального своего значения давление на выходе до-

стигает при $P_{бал. мин}$ и $G=0$; при этом:

$$P_{2 макс} = \frac{\Delta Q_0 + a f_m}{a \cdot f_m - f_k} - \frac{f_k \cdot P_{бал. мин}}{a \cdot f_m - f_k} \quad (11)$$

$P_{2 макс}$ в выражении (11) определяется по заданному среднему давлению на выходе и неравномерности.

$$P_{2 макс} = P_{2 ср} + P_{2 макс} = 0,8 + 0,4 = 1,2 \text{ ат изб.}$$

Подставляя в выражение (11) все имеющиеся значения, получим:

$$\Delta Q_0 = 40,75 \text{ кг.}$$

Далее необходимо определить в отдельности значения начальных усилий верхней и нижней пружин.

Начальное нажимное усилие нижней (клапанной) пружины Q_{20} , прижимающей клапан к седлу, определяется из уравнения герметичности:

$$Q_{20} = Q_{герм} - (P_{бал} - P_2) \cdot f_k$$

или, заменяя $Q_{герм}$ его значением из выражения (6), получим

$$Q_{20} = \sigma_2 \cdot f_c - (P_{бал} - P_{2 закр}) \cdot f_k \quad (12)$$

Принимаем для предварительного расчета

$$P_{2 закр} = 1,5 \cdot P_{2 ср} = 1,2 \text{ ат изб.}$$

f_c — площадь соприкосновения клапана с седлом определим, приняв ширину пояса, по которому происходит соприкосновение, равной 0,6 мм (из опыта):

$$f_c = 3,14 \left(4 + \frac{0,6}{2} \right) \cdot 0,6 = 8,1 \text{ мм}^2.$$

Воспользовавшись опытными данными $\sigma_2 = f(P_{бал})$, приведенными на рис. 3, построим $Q_{20} = f(P_{бал})$, вычисленное по выражению (12).

Наибольшего значения, потребного для герметичности, Q_{20} достигает при $P_{бал} = 27$ ат; тогда $Q_{20} = 20,5$ кг.

В целях обеспечения дополнительного запаса герметичности принимаем $Q_{20} = 22,5$ кг.

Начальное нажимное усилие верхней пружины (пружина мембраны) будет:

$$Q_{10} = \Delta Q_0 + Q_{20} = 40,75 + 22,5 = 63,25 \text{ кг.}$$

Зная потребные начальные усилия, можно произвести подбор и расчет пружин, на основании известных формул расчета цилиндрических пружин. Ряд основных размеров пружин определяется конструктивными соображениями (длина, диаметр). Задаваясь этими величинами, следует учитывать необходимость по возможности уменьшить коэффициент жесткости пружин, влияющий на неравномерность редуктора по расходу [см. уравнение (2)].

Коэффициент жесткости пружинной системы, равный сумме коэффициентов верхней и нижней пружин, равняется $m = m_1 + m_2 = 10 + 7 = 17$ кг/мм.

Таким образом определены все необходимые конструктивные параметры редуктора. Подставляя их значение в основное уравнение статики (2), получим:

$$P_2 = 1,23 - 0,00379 \cdot P_{бал} - 0,075 \cdot \frac{G}{P_{бал}} \quad (13)$$

На рис. 5 изображена характеристика рассчитываемого редуктора, являющаяся графическим отображением уравнения 13. Там же изображена одна из опытных кривых, полученных во время предварительных испытаний редуктора на стенде.

Данные испытаний достаточно сходятся с результатами расчета.

На графике основной характеристики редуктора (рис. 5) отображено также явление, связанное с герметичностью, — явление гистерезиса.

Гистерезисом называется повышение давления на выходе из редуктора после прекращения отбора газа при герметическом закрытии клапана. Положение герметически закрытого клапана ($G = 0$; $P_{2 закр}$) отличается от положения клапана в начале открытия ($G = 0$; $P_{2 откр}$) наличием дополнительного усилия на клапан — усилия герметичности. Необходимость создания дополнительного усилия при герметическом закрытии вызывает гистерезис.

Величина гистерезиса редуктора НАТИ-СГ21 определяется выражением:

$$\Delta P_{гист} = \frac{Q_{герм}}{a \cdot f_m} \quad (14)$$

На рис. 5 изображен «нормальный гистерезис» в том случае, когда герметичность достигается при усилии герметичности, равном половине максимального, приведенного на рис. 3. $P_{2 закр}$ на рис. 5 показывает значения, которых достигает давление на выходе при герметически закрытом клапане. Гистерезис необходимо учитывать при расчете мембраны и других деталей редуктора на прочность, а также при расчете предохранительного клапана.

По полученному основному уравнению в его окончательном виде определяем основные показатели редуктора:

Максимальное рабочее давление на выходе ($P_{бал} = 10$ ат; $G = 0$); $P_{2 макс} = 1,192$ ат изб.

Минимальное рабочее давление на выходе ($P_{бал} = 200$ ат; $G = 45$ кг); $P_{2 мин} = 0,453$ ат изб.

Среднее давление на выходе:

$$P_{2 ср} = \frac{P_{2 макс} + P_{2 мин}}{2} = \frac{1,192 + 0,453}{2} = 0,822 \text{ ат изб.}$$

Неравномерность:

$$\Delta P_{2 макс} = \frac{P_{2 макс} - P_{2 мин}}{2} = 0,37 \text{ ат.}$$

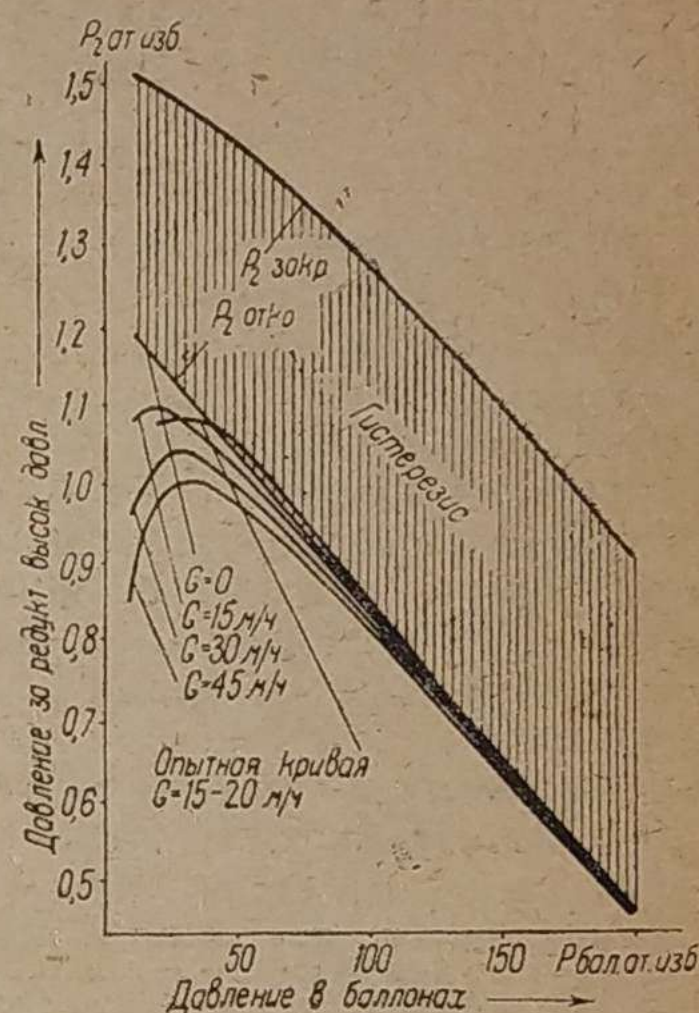
Степень неравномерности:

$$\delta = \frac{\Delta P_{2 макс} \cdot 100}{P_{2 ср} \text{ (ат изб.)}} = 20,3\%.$$

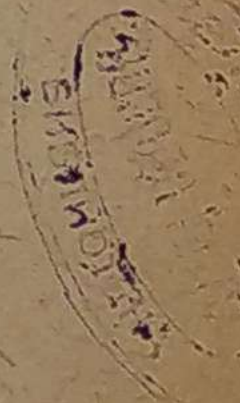
Нормальный гистерезис: 0,3—0,45 ат.

Максимальное давление на выходе при закрытом клапане ($P_{бал} = 10$ ат; $G = 0$) будет $P_{2 закр. макс.} = 1,5$ ат изб.

В табл. 3 приведены основные показатели и некоторые конструктивные размеры редукторов высокого давления НАТИ-СГ21 и Паллас.



5. Основная характеристика редуктора высокого давления НАТИ-СГ21



Сравнительные данные редукторов высокого давления
Паллас и НАТИ-СГ21

Редуктор	Т и п	Диаметр клапана мм	Диаметр мембраны мм	Максималь- ный расход кг/час	Среднее давление ат изб.	Неравно- мерность ат
Паллас	С обратным ходом	5,5	50	75	3,5	2,0
НАТИ	С обратным ходом	4,0	80	45	0,822	0,37

Лучшие показатели редуктора НАТИ в части равномерности объясняются, во-первых, увеличением диаметра мембраны, во-вторых, уменьшением диаметра клапана до размера, обеспечивающего заданный расход, в-третьих, соответствующим подбором пружин.

Для обеспечения динамической устойчивости редуктора высокого давления НАТИ-СГ21 применен способ, носящий в теории регулирования название „дресселирования в импульсном трубопроводе“.

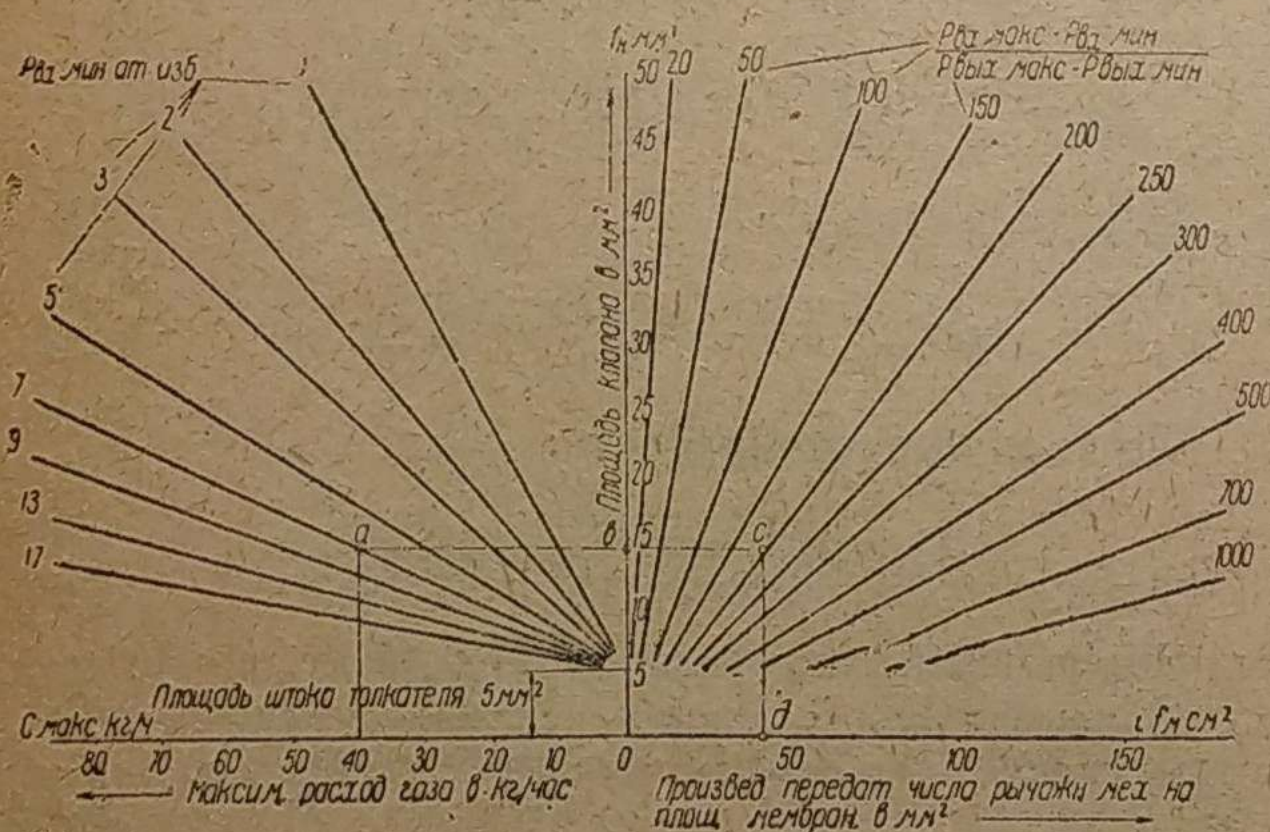
Из схемы редуктора (рис. 2) видно, что полость под мембраной отделена от выходной полости редуктора перегородкой. Газ проходит к мембране через небольшой зазор вокруг толкателя и три отверстия небольшого диаметра. В случае появления колебаний давления в процессе регулирования, газ, проходя к мембране, дросселируется в узких отверстиях, и колебания гасятся.

Примененный способ относится к методу создания искусственных гидравлических сопротивлений в процессе регулирования.

Как показали теоретические исследования, увеличение фактора сопротивлений является наиболее эффективным методом улучшения динамической устойчивости.

На практике редуктор НАТИ-СГ21 показал полную динамическую устойчивость.

Можно еще отметить некоторые конструктивные особенности редуктора. Область высокого давления (входного) сосредоточена во входном штуцере, который может быть вывернут из корпуса и отдельно проверен на давление в 200 ат. Корпус совершенно освобожден от высокого



6. Номограмма для приближенного расчета редуктора положительного перепада рычажно-мембранного типа с обратным ходом клапана

давления; это упрощает его конструкцию и изготовление. Седло клапана сменное; это позволяет для каждого отдельного случая—для каждого типа двигателя, а также для каждой разновидности сжатого или сжиженного газа подобрать соответствующий диаметр клапана, обеспечивающий потребный расход и наилучшие показатели.

Расчет произведен для наихудшего случая. Для сжиженного газа или высококалорийного сжатого газа диаметр клапана может быть уменьшен [уравнение (7)] и показатели редуктора улучшены [уравнение (2)].

На рис. 6 приведена упрощенная номограмма для приближенного расчета основных параметров редуктора высокого давления НАТИ-СГ21 в зависимости от заданных внешних условий и основных показателей. Эта номограмма, а равно предыдущий расчет, применимы для любого редуктора положительного перепада с обратным ходом рычажно-мембранного типа; поэтому в номограмму введено выражение if_m вместо f_m , где i —передаточное число рычажного механизма, который отсутствует в СГ-21, но может быть применен в другом случае.

Номограмма построена применительно к московскому светильному газу. Для всякого другого газа возможны отклонения вследствие разницы физико-химических констант, однако, для приближенного расчета или проверки можно пользоваться настоящей номограммой для других газов, кроме светильного.

Следует обратить внимание на использование в качестве одной из основных координат номограммы величины $\frac{P_{вх. макс.} - P_{вх. мин.}}{P_{вых. макс.} - P_{вых. мин.}}$, которая пред-

ставляет собой отношение диапазона давления на входе к диапазону давления на выходе и может быть названа степенью редуцирования.

Именно эта относительная величина, а не абсолютные величины давления на входе и на выходе, оказывает влияние на выбор основных параметров редуктора.

Приведем пример использования номограммы для получения исходных данных при расчете или конструировании редуктора.

Заданы внешние условия: $P_{вх. макс.} = 200$ ат; $P_{вх. мин.} = 7$ ат; $G_{макс.} = 40$ кг/час.

Заданы основные показатели редуктора: $P_{вых. макс.} = 2$ ат; $P_{вых. мин.} = 1$ ат (задание максимального и минимального давлений, очевидно, равносильно заданию среднего давления и неравномерности).

Проводим построение: от точки на оси $G_{макс.}$, соответствующей 40 кг/час, восстанавливаем перпендикулярно до линии $P_{вх. мин.} = 7$ ат (точка a). Из точки a проводим горизонталь до оси координат f_k (точка b). Получаем потребный диаметр клапана редуктора 14,2 мм.

Продолжаем горизонталь до линии $\frac{P_{вх. макс.} - P_{вх. мин.}}{P_{вых. макс.} - P_{вых. мин.}} = \frac{200 - 7}{2 - 1} = 193$ (точка c) и опускаем из точки c перпендикуляр на координатную ось if_m (точка d).

Получаем потребное $if_m = 41,5$ см². Если редуктор безрычажный ($i=1$), то диаметр мембраны будет

$$d_m = \sqrt{\frac{4 \cdot 41,5}{3,14}} \approx 7,3 \text{ см}$$

На основании результатов испытаний можно сделать следующее заключение. Испытания дизельмоторов СТЗ-ИМР в условиях нормальной сельскохозяйственной эксплуатации в течение 1400—2000 час. и на стенде в течение 800 час. показали, что:

1. По основным параметрам и общей компоновке дизельмотор вполне соответствует эксплуатационным требованиям, предъявляемым при его применении на гусеничном тракторе СХТЗ-НАТИ.

2. Дизельмотор расходует топливо достаточно экономично.

3. Износоустойчивость основных деталей дизельмотора удовлетворительная и значительно выше, чем у керосинового двигателя ИМА.

4. Пусковые качества дизельмотора и пускового двигателя вполне удовлетворительны и надежно обеспечивают пуск их в летних и зимних условиях, причем без затраты значительного физического усилия.

Дизельмотор ХТЗ по основным его параметрам и общей компоновке тоже пригоден для трактора СХТЗ-НАТИ. Однако дизельмотор ХТЗ имеет по сравнению с дизельмотором СТЗ следующие недостатки: 1) в дизельмоторе ХТЗ в большом объеме и более интенсивно происходят процессы коксования; 2) система пуска от пуско-

вого мотора недостаточно совершенна; 3) пусковые качества дизеля несколько хуже, чем у дизельмотора СТЗ. Кроме того, один из двух дизельмоторов ХТЗ, которые испытывали, расходовал топливо менее экономично, чем дизельмоторы СТЗ.

Комиссия по государственным испытаниям рекомендовала принять для массового производства дизельмотор конструкции СТЗ-ИМР с пусковым двигателем.

Наряду с этим комиссия признала безусловно необходимым повышение прочности подшипников коленчатого вала, ускорение работ, направленных к полному устранению коксования колец, а также отметила необходимость устранить все другие более мелкие дефекты, которые были выявлены при испытаниях.

Заключение комиссии рассмотрено техническим советом и утверждено народным комиссаром НКСМ СССР.

Заводам СТЗ и ХТЗ предложено немедленно развернуть подготовку к массовому производству дизельмоторов СТЗ-ИМР. Несколько десятков дизельмоторов будет выпущено уже в текущем году. В последующие годы эти заводы должны полностью переключить свое производство на выпуск дизельмоторов СТЗ-ИМР и ликвидировать производство керосиновых двигателей.

Проверка основных принципов скоростной газификации

Канд. техн. наук Н. П. Вознесенский

Архангельский лесотехнический институт

Во время испытаний газогенератора, производившихся в 1936 г., мы убедились в том, что при известных условиях горения древесного угля, т. е. невысокой скорости дутья и малом слое топлива, становится отчетливо заметным около частиц угля синее пламя, характерное по нашему мнению для сгорания вынесенной с поверхности угля окиси углерода (СО), являющейся первичным продуктом окисления углерода. Просмотр литературы убедил нас, что указанное явление подмечено давно и нашло аналогичное объяснение у ряда авторов [3, 4].

Данное явление наводит на мысль о возможности образования СО на поверхности горящего угля, причем выделяющаяся СО за время диффузии через застойный слой (газовую пленку) сгорает и дает коронку синего пламени. Если это происходит действительно так, то можно создать такие условия для горения угля, чтобы СО, вынесенная быстрым потоком газа, сгорала в дополнительно подведенном воздухе. Такой опыт нами и проделан.

Возможность получения СО без процесса восстановления впервые была доказана благодаря лабораторным опытам М. К. Гродзовского и З. Ф. Чуханова в Институте азота. Эти опыты подтверждают выдвинутое нами выше положение (авторы высказали предположение об одновременном образовании СО и СО₂ на поверхности углерода).

Сопоставление данных последних научных изысканий и испытаний различных типов транспортных газогенераторов с результатами наших опытов привело автора статьи к разработке физико-химической теории газификации твердого топлива [2]. Эта теория позволила объяснить процессы газификации с учетом не только химической, но и физической стороны явления. Удалось разработать метод расчета высоты активной зоны и ее диаметра для газогенераторов. Благодаря этому получены конкретные величины активных зон газогенераторов.

Для проверки возможности применения скоростной газификации в газогенераторах транспортного типа, а также выявления зависимости необходимой высоты активной зоны газогенератора от размеров кусков топлива в Архангельском лесотехническом институте (АЛТИ) были проведены специальные опыты, которые дали весьма показательные результаты.

Решение поставленной задачи дает практический материал для проектирования скоростных газогенераторов и представляет возможность дополнительно проверить основные выводы из физико-химической теории газификации твердого топлива, разработанной нами ранее [2].

Следует отметить, что для осуществления этой работы в АЛТИ был сконструирован и изготовлен газогенератор особого типа, а также создана газогенераторная лаборатория.

Мы повторно, в частности, проверили возможность скоростной газификации, потому что в литературе высказано сомнение в этом. Например, по поводу опытов Гродзовского и Чуханова проф. Гинзбург пишет [5]: «Соображения авторов исследования о возможности благодаря повышению скорости газов увеличения содержания окиси углерода в газе противоречат установившимся взглядам на процесс газификации и требуют дополнительного подтверждения».

Главные выводы физико-химической теории газификации следующие [2]. Основные реакции газификации твердого топлива — гетерогенного типа, а следовательно, в определенных условиях эти реакции протекают при наличии двух фаз: твердой и газообразной. На границе фаз образуется газовая пленка, которая складывается из толщины неподвижной пленки, весьма тонкой, облегающей куски топлива, и толщины ламинарного течения в непосредственной близости к поверхности топлива. Через эту газовую пленку молекулы реагирующих веществ могут пройти только благодаря диффузии. Скорость реакции горения (полного и неполного)

углерода больше скорости диффузии через газовую пленку не менее чем в 4500 раз. Следовательно, процесс лимитируется не скоростью химических реакций, а скоростью диффузии через газовую пленку.

Анализируя процесс газификации твердого топлива, мы по существу рассматриваем процессы диффузии через газовую пленку вместе с параллельно протекающими химическими реакциями.

Толщина газовой пленки не зависит от размеров кусков топлива. Среднюю толщину пленки можно подсчитать по уравнению:

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

где δ — средняя толщина газовой пленки в см;

D — коэффициент диффузии кислорода через газовую пленку, соответствующий средней температуре зоны, в см²/сек;

$(C_0 - C_1)$ — разность концентраций кислорода на поверхности топлива и в дутье в кг. моли/см³;

n — количество кислорода, которое прошло при диффузии через газовую пленку по всей активной поверхности топлива, находящегося в камере газификации; в молях за время t сек.;

q — активная поверхность топлива в см².

Толщина газовой пленки зависит от скорости движения воздуха между зазорами кусков топлива, т. е. от скорости дутья. Для условий газификации твердого топлива в транспортных газогенераторах существует гиперболическая зависимость $\delta \cdot v = 0,22$, где δ — средняя толщина газовой пленки в см, а v — скорость движения воздуха между зазорами кусков топлива (дутье) в м/сек.

Максимальная толщина газовой пленки (средняя при газификации), которая допускает еще значительный вынос CO, равна примерно 0,7 мм. Это критическая толщина пленки. Критическая скорость дутья, соответствующая этой толщине пленки, составляет около 3 м/сек с учетом поправки на среднюю температуру зоны (около 1100°). При уменьшении скорости дутья толщина пленки увеличивается, и CO, образовавшаяся на поверхности раскаленного топлива, за время диффузии через утолщенную пленку сгорает до CO₂. Это происходит в зоне горения обычных газогенераторов, у которых скорость дутья мала. При увеличении скорости дутья пленка делается тоньше, и создаются условия для непосредственного выноса CO (скоростная газификация).

Концентрация кислорода по высоте активной зоны падает по мере отдаления от плоскости подвода воздуха. Падение концентрации кислорода происходит по логарифмической кривой:

$$C = -10,91 \cdot \lg x + 23,21,$$

где C — концентрация кислорода в дутье для данного слоя топлива в процентах по объему;

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

Средняя концентрация кислорода в цилиндрической камере газификации:

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

где C_{cp} взято в процентах по объему; x_0 и x_1 взяты в процентах от полной высоты зоны распространения кислорода, принятой за 100, и x — символ подинтегрального выражения.

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

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

где L — количество первичного воздуха в м³, необходимого для образования 1 м³ сухого газа;

$Q'_{газ}$ — часовой отбор сухого газа в м³, считая по наименьшим, практически необходимым оборотам мотора, отнесенный к 0° и 760 мм рт. ст.;

t — средняя температура активной зоны в °C (например для дров, по обратному процессу, $t = 1100^\circ$);

α_1 — коэффициент заполнения сечения (около 0,532 для обычных размеров топлива);

$v_{кр}$ — критическая скорость в м/сек.

Необходимую и достаточную высоту активной зоны ско-

ростного генератора можно определить из выражения:

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

где δ — критическая толщина газовой пленки;

b — активная поверхность насыпного топлива в 1 м³ в м²/м³.

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

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

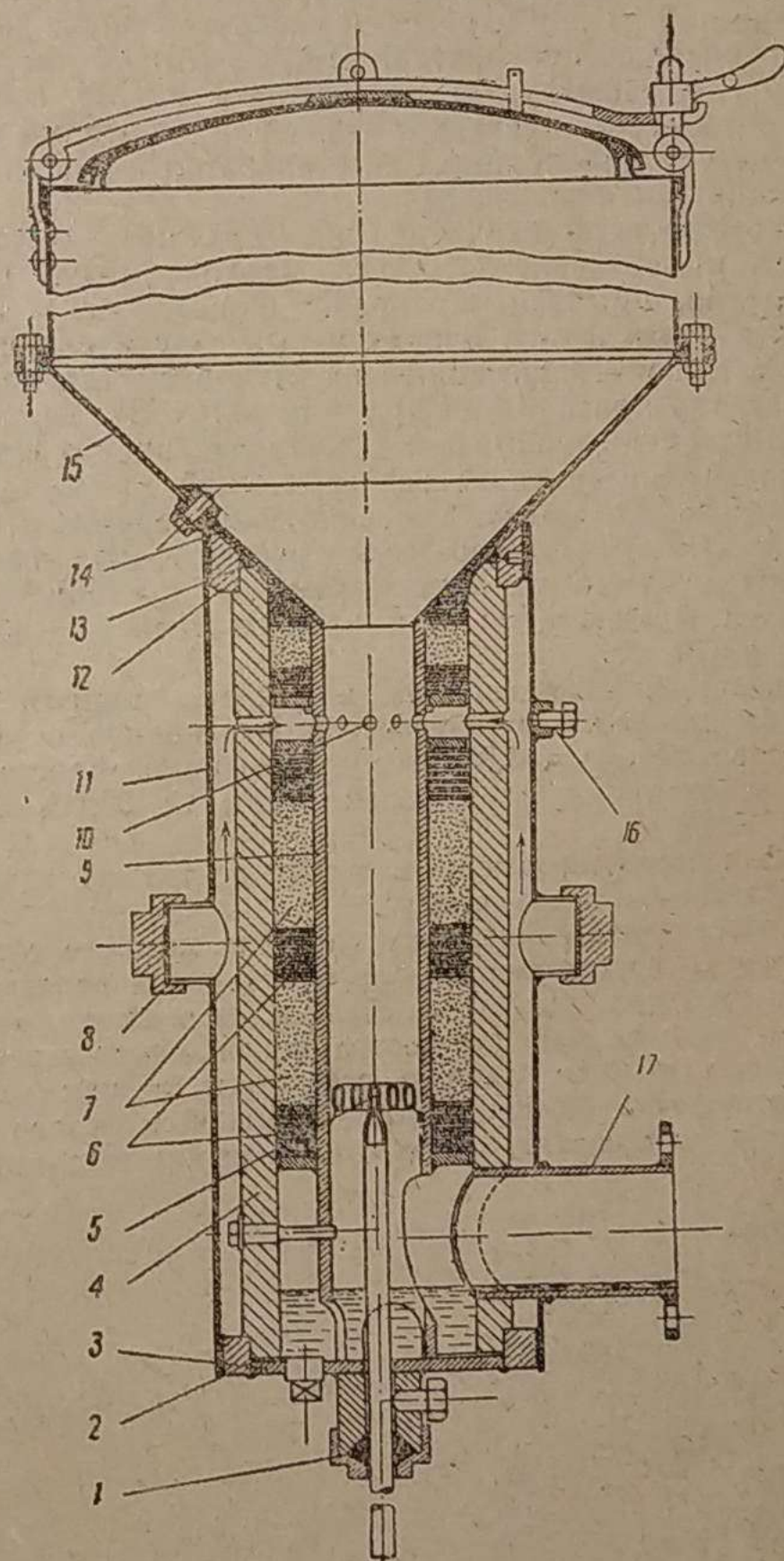
где H — высота зоны в м;

b — активная поверхность топлива в м², приходящаяся на 1 м³ насыпного топлива (зависит от размеров кусков топлива).

Таблица 1

Объем среднего куска топлива см ³	0,011	40	80	100	200	300	400
Высота активной зоны скоростного генератора, мм	5,7	90	104	110	136	160	184

Вычисленные величины высоты активной зоны скоростного генератора приведены в табл. 1. Объем в 0,011 см³ соответствует кускам угля размером от 2 до 5 мм. Правильность вычислений подтверждается: 1) опытами Гродзовского и



1. Скоростной газогенератор конструкции Вознесенского.

1 — уплотняющая набивка; 2 — уплотняющая прокладка; 3 — днище зольника; 4 — основная камера газификации; 5 — колосниковая решетка, охлаждаемая водой; 6 — асбестовые уплотняющие кольца; 7 — зола; 8 — воздушная футорка; 9 — сменная камера газификации; 10 — фурмы; 11 — кожух основной камеры газификации; 12 — соединительное кольцо конуса; 13 — уплотняющая набивка; 14 — конус внутренней камеры; 15 — конус бункера; 16 — пробка смотрового отверстия; 17 — патрубок для отсасывания газа

Чуханова: при кусках угля размером от 2,5 до 5 мм высота активной зоны составляла от 4 до 8,5 мм; 2) опытами НАТИ со скоростным газогенератором Мезина при кусках угля размером от 80 до 250 см³ высота активной зоны равнялась 111 мм; 3) опытами конструкторского бюро ГАЗ с газогенератором ГАЗ-40 высота активной зоны составляла 100 мм.

Конструкция установки и испытание скоростного газогенератора

Так как затронутые вопросы о скоростной газификации нельзя было разрешить при испытании газогенераторов обычного типа, то нами и была сконструирована специальная газогенераторная установка. Она состоит из скоростного газогенератора, пылеотделителя и холодильника для газа. Газогенератор (рис. 1), работающий по принципу опрокинутого процесса, сконструирован так, что сечение камеры газификации можно изменять, помещая в основную камеру дополнительное количество труб различных размеров.

Верхняя часть газогенератора представляет собой бункер для топлива. Колосниковая решетка сделана из медной трубки и охлаждается водой. Сначала колосниковая решетка была выполнена из малоуглеродистой стали, но она начала плавиться через 5 мин. после пуска генератора. Охлаждающая вода, пройдя последовательно все витки колосников, разбрызгивается через три отверстия, симметрично расположенные на конечном витке колосников. Вода попадает на стенки камеры газификации и охлаждает их. Сильная струя воды, выходя через мелкие отверстия, частично разбрызгивается мелкими каплями. Это способствует быстрому охлаждению газа, выходящего из колосников, и предотвращает возможность обратных реакций. Охлаждение водой колосников и нижней части стенок камеры газификации во время опытов предотвращало порчу камеры и колосников от действия высоких температур. Вся зола и уголь уносятся через гидравлический затвор наружу, и генератор почти не нуждается в специальной чистке. Перемещая по вертикали колосниковую решетку, можно изменять высоту зон генераторного процесса. Благодаря этому или некоторым другим изменениям условий процесса газогенератор имеет переменную величину активной зоны.

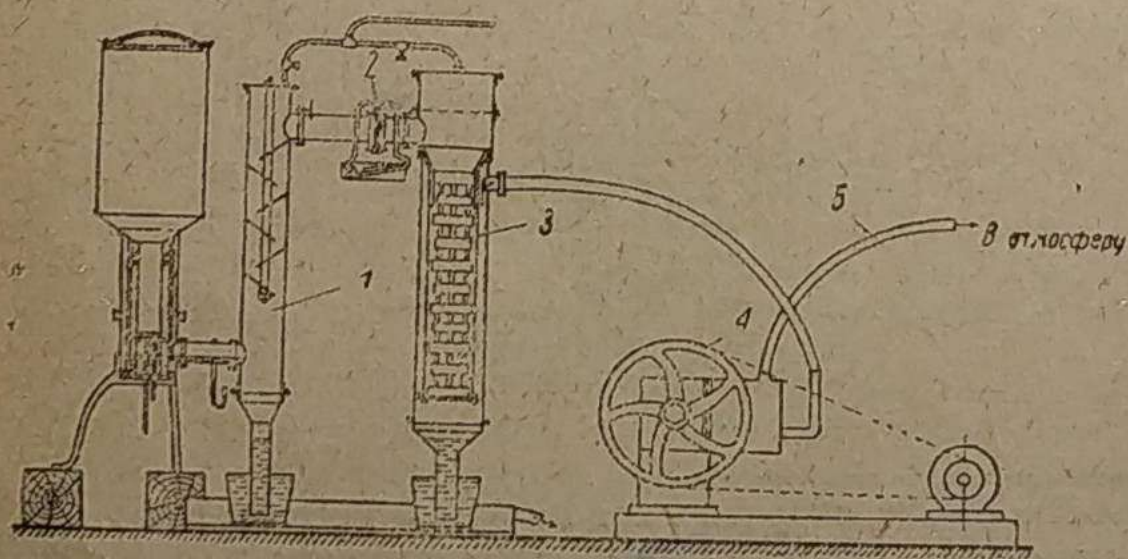
По выходе из газогенератора (рис. 2) газ поступает в нижнюю часть пылеотделителя 1, где, проходя между наклонными дисками, омываемыми водой, очищается от грубых примесей и охлаждается. Вверху у пылеотделителя имеется крышка, а внизу — гидравлический затвор. Выйдя из пылеотделителя, газ проходит по прямому патрубку через диафрагму 2 в тонкий очиститель — холодильник для газа 3.

Холодильник имеет внизу гидравлический затвор, а вверху — резиновую диафрагму для смягчения толчков от пульсирующего действия компрессора, отрицательно влияющих на точность отсчетов по пьезометрам. Из холодильника газ отсасывается компрессором 4, и из него удаляется в атмосферу по трубе 5.

При испытании газогенератора в качестве топлива применяли древесный уголь с абсолютной влажностью от 4,1 до 3,5% (в среднем около 3,8% абс.). Элементарный состав угля согласно анализу был следующий: 63,0% С; 32,1% О + N; 4,5% Н₂; 0,4% А.

Уголь был рассортирован по размерам на три сорта (табл. 2) путем просеивания через решета.

После просеивания размеры кусков угля каждого сорта по поперечнику точно соответствовали необходимой величине, но длина кусков угля сильно колебалась. Вследствие этого в газогенераторе в случае недосмотра могли образоваться сводки топлива, которые дают о себе знать резким ухудшением качества газа. Поэтому перед засышкой в бункер уголь тщательно просматривали, а при отборе пробы газа для ана-



2.

Общая схема установки для испытания скоростного газогенератора

Таблица 2

Сорт угля	Размеры ячеек решетки в мм		Размеры кусков угля в мм		Вес насыпного угля в кг/м ³	Влажность угля в % абс.
	первое решето	второе решето	в поперечнике	длина до		
1-й	7	5	5—7	12	—	3,8
2-й	10	7	7—10	18	183,7	3,8
3-й	17	10	10—17	25	185,0	3,8

лизом следили за слоем топлива. При этом верхний слой топлива выравнивали при помощи специальной мешалки — мерной линейки. Благодаря всему этому активная зона представляла собой по форме правильный цилиндр, диаметр которого был равен диаметру камеры газификации. Если анализ газа показывал, что слой топлива имел сводики или провалы, то соответствующие данные анализа браковали.

В целях предварительного выявления влияния скорости газового потока на качество газа, а также получения подтверждения того, что скоростная газификация в принципе осуществима, был проведен ряд опытов по определению качества генераторного газа на глазомер. Подобно тому, как это принято в практике эксплуатации газогенераторных машин, мы испытывали газ на горючесть. По интенсивности пламени горючего газа можно было судить о качестве последнего. Газ отсасывали при помощи компрессора из нижней части активной зоны у колосников через газозаборную трубку, охлаждаемую водой. Полученный газ после выхода его из компрессора выпускали над пламенем спиртовой горелки. Длину пламени и интенсивность горения газа оценивали на-глаз следующими баллами: 2 — газ не горит; 3 — газ дает чуть видимое пламя; 4 — газ горит хорошо, длина пламени 8 см; 5 — самое сильное пламя — длина его достигает 12 см.

Оценки 4 и 5 характеризуют газ, на котором двигатель вполне может работать согласно практике работы газогенераторных автомобилей. Газ с оценками 2 и 3 использовать в двигателях нельзя.

Таблица 3

v в м/сек	0,13	0,25	1,12	2,25				
q в кг/м ² час	110	200	1200	2280				
Высота актив- ной зоны в см	Сопrotивление в газогенерато- ре в мм вод. ст.	Качество газа	Сопrotивление в газогенерато- ре в мм вод. ст.	Качество газа	Сопrotивление в газогенерато- ре в мм вод. ст.	Качество газа	Сопrotивление в газогенерато- ре в мм вод. ст.	Качество газа
15	9	3	14	3	28	4	380	4
13	9	3	13	3	26	4	350	4
11	9	2	12	2	24	4	350	4
9	9	2	12	2	20	4	360	4
7	9	2	10	2	20	4	360	4
5	8	2	10	2	—	3	300	3
3	8	2	9	2	—	2	280	2

В табл. 3 приведены данные таких испытаний, выполненных на топливе третьего сорта (куски угля имели в поперечнике 10—17 мм). В табл. 3 и в дальнейшем изложении приняты следующие обозначения: v — скорость дутья (подачи воздуха) в м/сек при полном сечении камеры, 0° С и 760 мм рт. ст.; q — интенсивность горения угля в кг/м² в час (при пересчете на древесину интенсивность горения будет примерно вдвое больше).

Из табл. 3 видно, что горючесть газа возрастает с увеличением скорости дутья и интенсивности горения. Минимальная величина активной зоны для угля третьего сорта равна 7 см (в табл. 3 учтено время запаздывания поступления газа, когда он проходит через отсасывающую систему). Аналогичная картина в отношении горючести газа наблюдалась

при применении топлива второго сорта (табл. 4), т. е. кусков угля размером 7—10 мм.

Таблица 4

v в м/сек	0,03		0,13		0,37		2,12	
q в кг/м ² час	22		110		400		2200	
Высота активной зоны в см	Сопротивление в газогенераторе в мм вод. ст.	Качество газа	Сопротивление в газогенераторе в мм вод. ст.	Качество газа	Сопротивление в газогенераторе в мм вод. ст.	Качество газа	Сопротивление в газогенераторе в мм вод. ст.	Качество газа
14,5	2	2	13	4	55	4	420	5
12,5	1	2	13	4	55	4	360	5
10,5	1	2	17	4	55	4	400	5
8,5	2	2	13	4	55	4	320	5
6,5	2	2	13	4	50	4	330 *	5
4,5	2	2	19	3	50	3	290	4
2,5	1	2	20	3	50	3	280	3
1,5	—	—	22	2	—	—	—	—

* Засорились колосники.

Сопротивление в газогенераторе изменяется по его высоте незначительно, так как с уменьшением активной зоны возрастает отбор газа (скорость дутья и интенсивность горения приведены средние за время опыта). Во избежание недоразумения в табл. 5 приведены данные об изменении сопротивления в газогенераторе и отборе газа в течение одного из опытов, результаты которых даны в табл. 4. На некоторых скоростях (малых) увеличение скорости дутья с уменьшением высоты активной зоны компенсирует падение сопротивления в газогенераторе.

Сравнение данных табл. 3 и 4 показывает, что для получения газа хорошего качества при крупном топливе требуются большие скорости дутья, чем при мелком топливе. Это подтвердили испытания, выполненные на топливе первого сорта.

Минимальная высота активной зоны для топлива второго сорта находится в пределах 3,5—4,5 мм.

Для топлива первого сорта минимальная высота активной зоны находится в пределах 1,5—2,5 см. При высоте активной зоны как в 1,5, так и в 2,5 см горючесть газа была оценена пятью баллами. Интенсивность горения составляла около 900 кг/м² в час, а скорость дутья — 0,85 м/сек. Вынос хорошего газа мы замечали при более низких скоростях дутья, чем в процессе горения топлива второго и третьего сорта. При одинаковых скоростях дутья и напряженности горения газ горит тем интенсивнее, чем мельче куски топлива. Это явление очень ясно обнаруживается простым сравнением на глаз. В дальнейшем все эти явления были подтверждены анализом газа и нашли объяснение в основных выводах физико-химической теории газификации твердого топлива.

Итак, высоты активных зон, допускающих значительный вынос СО при больших скоростях дутья, зависят от размеров кусков топлива. Чем больше куски топлива, тем больше должна быть высота активной зоны. Полученные высоты активных зон близки к вычисленным нами ранее [2, фиг. 37].

Судить о величине активной зоны можно также при применении другого способа оценки на-глаз явлений, указанных выше. Через слой топлива большой толщины мы пропускали на 5—10 сек. стальной прутки диаметром 3 мм и затем быстро его вынимали. Величина зоны активных процессов (кислородной зоны) ясно обнаруживалась по свечению раскаленных мест прутка. Величина раскаленной части прутка близка к минимальным зонам, допускающим согласно предыдущим опытам вынос горючего газа. Было совершенно ясно

Таблица 5

Высота активной зоны в см	Отбор газа в м ³ /час	v в м/сек	Сопротивление в газогенераторе в мм вод. ст.
14,5	13,0	1,6	420
12,5	15,0	1,9	360
10,5	16,0	2,0	400
8,5	17,5	2,2	320
6,5	19,0	2,3	330
4,5	21,0	2,6	300
3,5	22,0	2,75	290
2,5	23,0	2,83	280

видно, что высота активной зоны сокращается с уменьшением кусков топлива.

Даже из этих данных, полученных на глазомер, можно сделать три основных вывода, которые являются по существу целью настоящей работы:

1. Возможность применения скоростной газификации в транспортных газогенераторах доказана, так как получен газ, обладающий достаточно высокой горючестью, причем при сопротивлении в газогенераторе до 300 мм вод. ст. (увеличение сопротивления в газогенераторе свыше 300 мм вод. ст. заметно отразится на мощности двигателя) и применении в качестве топлива кусков угля размером до 17 мм в поперечнике и длиной до 25 мм.

2. С увеличением скорости движения газа между зазорами топлива возрастает качество газа. Это положение идет в разрез с существующей теорией газификации, ориентирующейся на процессы восстановления. Согласно этой теории с уменьшением скорости увеличивается время контакта СО₂ с раскаленным углеродом топлива, а следовательно, большее количество СО₂ восстанавливается до СО. Процессы восстановления в газогенераторах вообще происходят, но для этого необходима значительная продолжительность контакта, т. е. газ должен перемещаться по большой активной зоне с малой скоростью. В действительности время контакта очень мало и составляет примерно от 0,02 до 0,05 сек. Этого, очевидно, недостаточно для осуществления процесса восстановления. Окись же углерода, синее пламя которой хорошо видно при ее горении, повидимому, образуется как первичный продукт сгорания топлива.

3. Высота активной зоны, необходимая и достаточная для выноса первичной СО при полном использовании в этой зоне О₂, зависит от размеров кусков топлива. С уменьшением последних уменьшается и необходимая высота зоны, чем лишний раз подтверждается физико-химическая теория газификации твердого топлива.

Не удовлетворяясь указанными опытами, мы сделали ряд анализов газа, которые тоже подтверждают положения физико-химической теории. Газ отбирали из газозаборной трубки, охлаждаемой водой, в водяной газометр. Воду в газометре предварительно насыщали во избежание растворения пробы. Анализ выполняли посредством газоанализатора Норзе с дожиганием.

В своих первых опытах мы задались целью проследить изменения минимальной высоты активной зоны скоростной газификации (кислородной зоны) в зависимости от размеров кусков топлива. Для этой цели наиболее пригодно исследование при переменной величине зоны. Мы опускали колосниковую решетку возможно ниже и насыпанный уголь разжигали сверху. По мере газификации слой топлива уменьшался, и представлялась возможность взять пробу газа для анализа на любой высоте слоя топлива. Анализы взятых проб приведены в табл. 6 и 7.

Таблица 6

№ анализа	Размеры кусков угля в мм	Высота зоны в см	Скорость дутья при 0° С и 760 мм вод. ст. в м/сек	Интенсивность горения в кг/м ² час *	Показания дифференциального манометра в мм вод. ст.	Состав газа в % по объему					
						СО	Н ₂	СН ₄	О ₂	СО ₂	Н ₂
1	10—17	10,0	1,95	2000	5,5	20,0	—	3,0	—	10,6	66,4
2	10—17	10,0	1,95	2000	5,5	19,1	4,2	0,3	—	9,5	66,9
3	10—17	7,0	2,62	2700	10,0	19,4	2,0	—	—	12,0	69,5
4	10—17	6,0	2,75	2850	11,0	13,4	0,5	0,8	—	15,8	69,5
5	10—17	6,0	1,55	1600	3,5	9,8	—	0,3	—	12,0	77,9
6	10—17	6,0	0,80	850	1,0	5,0	0,5	1,0	—	17,0	76,5
7	10—17	3,0	3,25	3400	16,0	8,0	—	0,8	4,8	12,8	73,6
8	7—10	10,0	2,10	2200	6,5	20,6	4,1	—	—	7,5	67,8
9	7—10	4,5	1,50	1540	3,2	20,4	4,2	—	—	12,5	62,9
10	7—10	4,0	1,45	1480	3,0	19,4	2,4	2,4	—	7,6	68,2
11	7—10	1,5	1,45	1480	3,0	6,0	—	1,0	4,4	9,0	79,6
12	5—7	10,0	1,0	1050	1,5	25,8	4,0	1,5	—	5,0	63,7
13	5—7	2,2	1,0	1050	1,5	20,0	2,1	0,4	—	7,4	70,1
14	5—7	2,2	1,3	1200	2,0	20,8	—	0,2	—	11,2	67,8
15	5—7	0,8	1,0	1050	1,5	6,0	—	2,0	13,2	4,8	74,0

* Считая на уголь.

Рассматривая табл. 6, следует учитывать, что при выполнении анализов газа, отобранного из толщи слоя топлива, равной или превышающей величину зоны распространения

Таблица 7

№ анализа	Размеры кусков угля в мм	Высота зоны в см	Скорость дутья при 0° С и 760 мм вод. ст. в м/сек	Интенсивность горения в кг/м² час	Состав газа в % по объему					
					CO	H ₂	CH ₄	O ₂	CO ₂	N ₂
9	7—10	4,5	1,50	1540	20,4	4,2	—	—	12,5	62,9
16	7—10	4,5	1,00	1050	18,9	—	3,0	—	11,0	67,1
17	7—10	4,5	0,42	400	11,3	—	2,5	—	13,5	72,7
3	10—17	7,0	2,62	2700	19,4	2,0	—	—	12,0	66,6
18	10—17	7,0	0,85	900	12,0	—	—	—	15,0	63,0
19	7—10	4,0	1,00	1050	14,4	1,0	1,6	—	12,0	71,0

кислорода, был обнаружен проскок кислорода в количестве 0,2—1,0%. Состав газа для таких случаев указан с соответствующей поправкой. Проскок кислорода приблизительно одинаков для минимальной и максимальной толщин слоя топлива.

Скорость дутья применяли возможно большую при данной конструкции системы для очистки газа.

Нужно отметить, что гидравлический затвор системы для очистки газа позволял поднимать сопротивление газогенератора не более чем до 500 мм вод. ст. При дальнейшем повышении разрежения вода попадала из затвора в компрессор. Это обстоятельство не позволило достигнуть наибольших скоростей дутья.

Чем выше слой топлива, тем больше его сопротивление. Поэтому при больших активных зонах скорости дутья ниже, а при малых активных зонах — выше. Чем мельче топливо, тем больше сопротивление газогенератора и тем меньшую скорость дутья можно допустить.

Однако указанный предел сопротивления вполне достаточен для транспортных газогенераторов. Как известно, сопротивление газогенератора при нормальной работе мотора находится в пределах 80—200 мм вод. ст. и очень редко достигает 300 мм вод. ст.

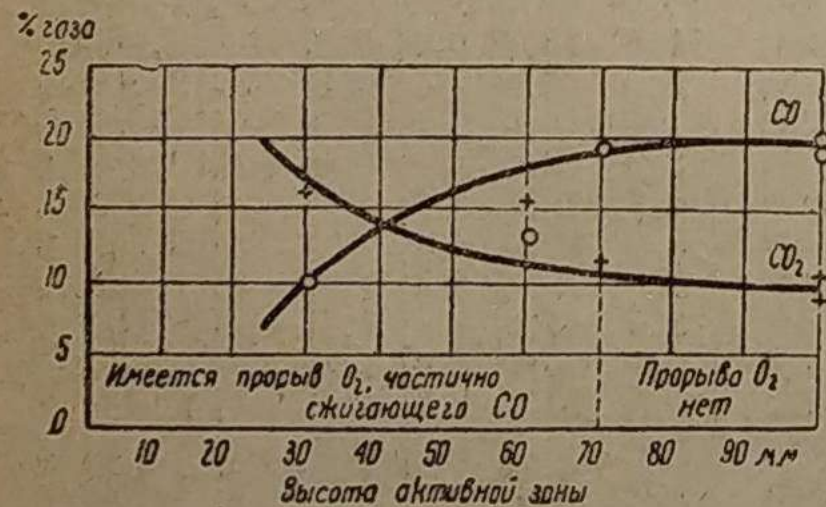
Вследствие большой скорости движения газа в слое топлива время контакта газа с поверхностью топлива было крайне незначительным. Например, для топлива третьего сорта (куски угля размером 10—17 мм) минимальная зона для получения газа хорошего качества (кислородная зона) составляет 7 см, причем газ содержит 19,4% CO. Скорость дутья, необходимая для получения такого газа (см. табл. 6, анализ № 3), составляет 2,62 м/сек при 0° и 760 мм вод. ст., исходя из полного сечения камеры (интенсивность горения q равна 2700 кг/м² в час на уголь и около 5000 кг/м² в час на древесные чурки).

Продолжительность контакта газов с топливом третьего сорта

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

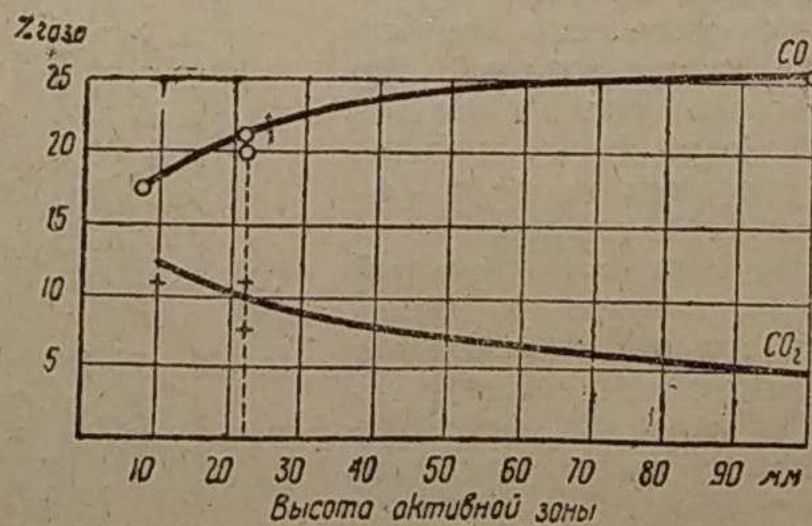
При применении топлива второго сорта продолжительность контакта для минимальной высоты активной зоны, допускающая почти максимальную газификацию при данных условиях (см. табл. 6, анализ № 10), равна:

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



3.

Вынос CO и CO₂ из активных зон при $v = 2—3,3$ м/сек, $q = 2100—3100$ кг/м² в час и сжигании кусков угля размером 10—17 мм

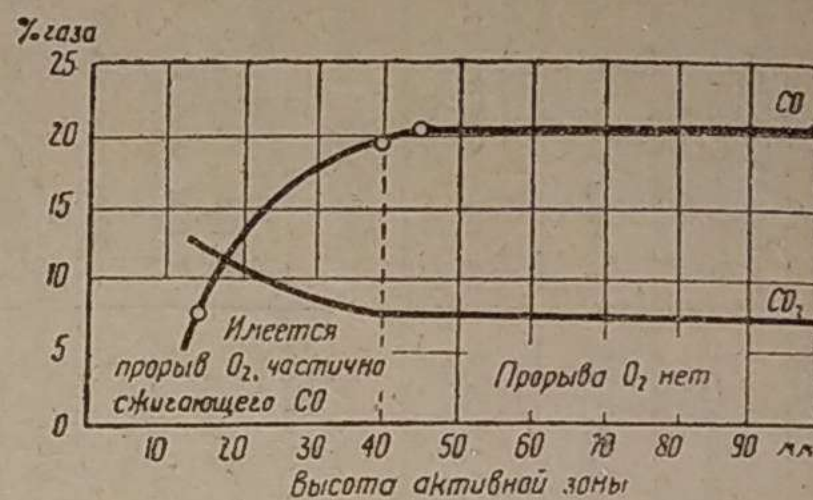


5.

Вынос CO и CO₂ из активных зон при $v = 1—1,3$ м/сек, $q = 1000—1300$ кг/м² в час и сжигании кусков угля размером 5—7 мм

Вынос окиси углерода при этом составлял 19,4%. Для топлива первого сорта (см. табл. 6, анализ № 14) $t = \frac{0,022}{1,3} = 0,017$ сек. Вынос окиси углерода составлял 21%.

Столь малая продолжительность контакта, естественно, не содействует осуществлению процесса восстановления. Подавляющее количество окиси углерода получено путем прямого выноса ее из газовой пленки малой толщины.



4.

Вынос CO и CO₂ из активных зон при $v = 1,5—2,1$ м/сек, $q = 1550—2200$ кг/м² в час и сжигании кусков угля размером 7—10 мм

В институте азота З. Ф. Чухановым и К. А. Сазоновой [6] был проделан следующий опыт. Чистый углекислый газ был пропущен со скоростью 1 м/сек через раскаленный до 1100° слой древесного угля толщиной 2 см. Следовательно, про-

должительность контакта составила $t = \frac{0,02}{1} = 0,02$ сек.

При этих условиях получено от 1,5 до 7% CO. Когда же скорость, с которой пропускали углекислый газ, была понижена до 0,1 м/сек, т. е. продолжительность контакта вырази-

лась $t = \frac{0,02}{0,1} = 0,2$ сек., окиси углерода получено было от 26,5 до 28%.

Эти данные подтверждают высказанное выше положение.

Как уже отмечалось, нами сделан ряд анализов газов, характеризующих влияние высоты активной зоны на качество газа. На рис. 3, 4 и 5 изображены графики выноса CO и CO₂ из зон различной толщины. Вначале кривая CO растет резко. По достижении некоторого значения, приближающегося к максимальному, рост кривой CO становится минимальным. Это довольно ясно видно на рис. 3 и 4 и менее ясно — на рис. 5. Возможно, что в последнем случае сказалась неточность анализа или частичный прорыв через зону малой толщины (22 мм) дутья (O₂), сжигающего частично CO.

Из рис. 3—5 видно, что максимальные размеры активных (кислородных) зон близки к активным зонам, полученным при испытаниях газа на горючесть.

Пределы кислородных зон, в которых практически заканчиваются процессы газификации, указаны в таб. 8.

Нужно отметить, что для получения из небольших активных зон газа хорошего качества требуется тщательное выравнивание слоя топлива. Незначительные провалы, прогары и прочие явления, нарушающие равномерность слоя топлива, резко ухудшают состав газа. При малом сечении нашей камеры газификации мы получали газ худшего качества, если не выравнивали поверхность слоя топлива. Качество газа ухудшалось также при работе с бункером, когда топливо

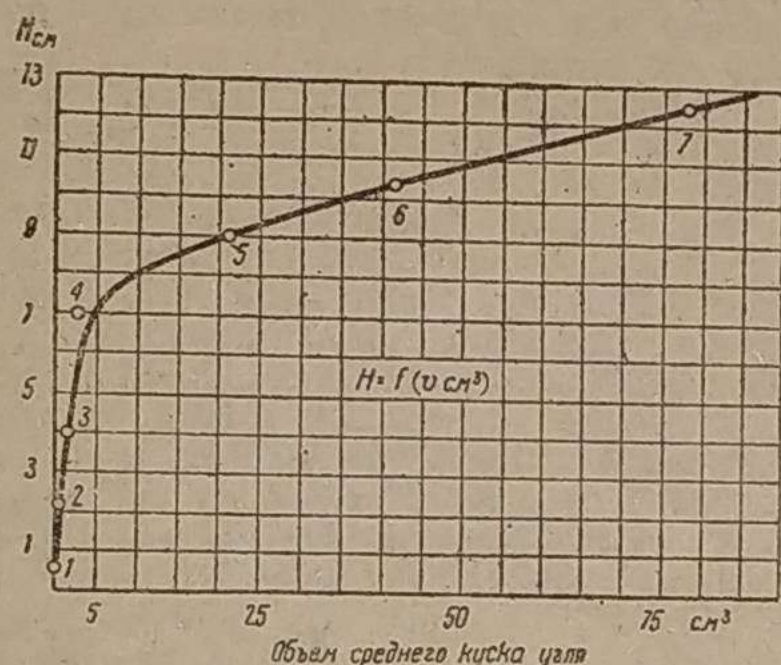
Таблица 8

Сорт топлива	Размеры кусков угля в мм		Высота кислородной зоны в см
	в поперечнике	длина до	
		Средний объем куска угля в см³	
1-й	5—7	120,4	2,2
2-й	7—10	181,3	4,0—4,5
3-й	10—17	252,5	7,0

вследствие большого его расхода не успевало равномерно заполнять камеру. Так, при высоте активной зоны в 4 см, сжигая топливо второго сорта (куски угля размером 7—10 мм), мы получили газ с содержанием всего лишь 14,4% CO (см. табл. 7, анализ № 19).

Качество газа, вероятно, не будет ухудшаться в газогенераторах большой производительности. У этих газогенераторов сечение камеры газификации значительно больше, и это дает возможность получить более равномерный слой топлива благодаря давлению верхнего слоя топлива на нижнюю его часть.

На рис. 6 изображена зависимость высоты активной зоны от размеров кусков топлива. Точки 1, 5, 6 и 7 были нанесены на этот график еще в 1937 г. Точки 2, 3 и 4 нанесены на основании результатов испытаний, изложенных в настоящей статье, и восполняют недостававшую ранее часть кривой — для кусков угля размером до 2,5 см и меньше. Высоты активных зон, отмеченные точками 1, 5, 6 и 7, были определены путем вычислений согласно физико-химической теории газификации. Данные, которым соответствует точка 1, подтверждены также лабораторными опытами Института азота.



6.

Кривая зависимости высоты активной зоны от размеров кусков топлива

Точка 4 несколько отклоняется от кривой. Возможно, что действительная высота активной зоны несколько меньше 7 см, так как газ, полученный при сжигании кусков угля размером 10—17 мм, удовлетворительно горел и при высоте активной зоны в 6,5 см.

Все изложенное, в частности, цифровые данные, полученные в результате проведенных опытов, дает конструкторам материалы, необходимые для проектирования новых газогенераторов.

Опыты показали, что при продолжительности контакта газа с топливом в пределах от 0,017 до 0,027 сек. газ содержит значительное количество окиси углерода. Будет ли изменяться качество генераторного газа при прочих равных условиях, но при уменьшении скорости дутья, т. е. уменьшении продолжительности контакта? Согласно принятому взгляду на процесс газификации мы в этом случае должны получить газ с большим содержанием CO, так как с увеличением времени контакта возрастет и процент восстановления CO.

В табл. 9 приведены пять анализов газа, соответствующие различной продолжительности контактов. Как видно из табл. 9, в действительности с понижением скорости дутья количество CO уменьшается и притом у обоих сортов топлива. Подобный же вывод был ранее получен в Институте азота Гродзовским и Чухановым [7]. Таким образом это заключение безусловно правильно в принципе.

Сторонники принятой теории газификации, ориентирующиеся на процессы восстановления, не могут объяснить этого факта, физико-химическая же теория дает ясное его толкование. Вынос CO с поверхности угля, несомненно, имеет место (это показывает синяя коронка пламени), диффузия через пленку — тоже, и совершенно очевидно, что уменьшение слоя пленки, через который протекает диффузия, облегчает

Таблица 9

№ анализа	Размеры кусков угля в мм	Высота активной зоны в см	Скорость дутья в м/сек	Интенсивность горения в кг/м² час	Содержание в газе CO в %
9	7—10	4,5	1,50	1540	20,4
16	7—10	4,5	1,00	1050	18,9
17	7—10	4,5	0,42	400	11,3
3	10—17	7,0	2,62	2700	19,4
18	10—17	7,0	0,85	900	12,0

вынос CO. Зависимость толщины пленки (застойной части) от скорости дутья мы установили. Уравнение этой зависимости имеет вид

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

где δ — толщина пленки в см;

v — скорость дутья между зазорами кусков топлива в м/сек.

Таким образом с увеличением скорости дутья уменьшается толщина газовой пленки, диффузия CO через нее облегчается и протекает за короткий промежуток времени, что и способствует выносу CO быстрым потоком газа. Для осуществления процессов восстановления не хватает времени даже при несколько пониженной скорости дутья, но активной зоне малой толщины. Очевидно для осуществления процесса восстановления необходимо слой топлива в несколько раз увеличить, а скорость газа уменьшить. Это мы и имеем в генераторах обычного типа.

В заключение следует отметить, что газификация топлива в нашей установке осуществлялась неполностью. Окиси углерода получено было при больших скоростях дутья около 20%, а при особо мелком топливе — 26%. Нельзя считать это очень хорошим результатом. Вероятно, для получения газа более высокого качества нужно еще больше повысить скорости дутья.

Указатель использованной литературы

1. И. М. Ленин, Лабораторный практикум по испытанию двигателей. ГТИ, 1936.
2. Н. П. Вознесенский, Легкие газогенераторы. ОНТИ, 1938.
3. Б. Р. Вильямс, Топливо, смазочные материалы и вода. ОГИЗ, 1938.
4. Б. Уокер, В. Льюис, В. Мак-Адамс, Типовая химическая аппаратура, ОНТИ.
5. Д. Б. Гинзбург, Газогенераторные установки, 1936.
6. З. Ф. Чуханов и Х. А. Сазонова, Исследование применения больших скоростей воздушно-кислородного дутья при газификации слоя топлива. Институт азота, 1934.

Перспективы развития автотракторного газогенераторостроения в СССР

Инж. С. Г. Коссов

НАТИ

Газогенераторные автомобили впервые появились во Франции накануне первой империалистической войны.

Наиболее быстрыми темпами производство этих машин развивалось во Франции, Германии и Италии. Однако и в этих странах газогенератор на транспорте не получил сколько-нибудь широкого применения вплоть до конца двадцатых годов. В последнее десятилетие, в особенности за годы войны, европейские страны, в том числе и Англия, стали более интенсивно развивать производство транспортных газогенераторов.

В СССР газогенераторные установки на транспорте появились в двадцатых годах, но в течение первых 10—12 лет практически они мало применялись. Дело не шло дальше выпуска опытных установок и малых серий, а также организации отдельных пробегов.

С 1936 г. после того, как было опубликовано известное постановление СНК СССР о производстве газогенераторных автомобилей и тракторов, положение меняется.

Первоначально производство газогенераторных установок было организовано на заводе «Свет шахтера» в Харькове, а сборка и выпуск машин на заводах ЗИС, ГАЗ и ЧТЗ. В 1937 г. производство автомобильных установок передается заводу «Комега» в Москве, а тракторных — ЧТЗ и ХТЗ. В конце 1938 г. производство газогенераторов переходит непосредственно к автотракторным заводам.

За истекшие 3 года развитие производства газогенераторов в СССР шло весьма быстро. К началу второй империалистической войны количество газогенераторных машин в СССР было больше, чем во всех капиталистических странах, вместе взятых, не говоря уже о газогенераторных тракторах, производство которых за границей крайне ничтожно.

Газогенераторные автомобили и тракторы, изготовляемые на заводах Союза, предназначены для работы лишь на древесном топливе. Это исключало возможность использовать их в нелесных районах. Антрацит, торф и некоторые другие виды топлива используются лишь на машинах мелкосерийного выпуска и экспериментальных.

Типаж выпускаемых газогенераторных машин ограничивается автомобилями ЗИС и ГАЗ и тракторами ЧТЗ и ХТЗ. Древесноугольные варианты вы-

пущены в виде малых серий для ЗИС и ГАЗ и опытных образцов для ЧТЗ и ХТЗ.

Изготавливаемые в массовом производстве газогенераторы, работающие на чурках, однотипны и по своим качествам обеспечивают в основном удовлетворительную работу машин. Однако установки обладают рядом существенных недостатков: при их производстве затрачивают много металла, стойкость некоторых важнейших деталей и в первую очередь камеры газификации — недостаточная, калорийность газа — невысокая.

Выпущенные НАТИ для автомобилей ЗИС и ГАЗ древесноугольные установки, приспособленные для работы на антраците (без присадки воды), по своим динамическим качествам вполне удовлетворительны. Во всех установках этого типа как для автомобилей, так и для тракторов в качестве элемента тонкой очистки применяется ткань, обеспечивающая хорошую очистку. Вместе с тем эта ткань быстро изнашивается, оказывает большое сопротивление прохождению газа и требует частой очистки.

Все установки, изготавливаемые даже в пределах одного завода, недостаточно унифицированы в узлах и деталях.

Автотракторные двигатели, предназначенные для работы на газе, строятся на базе существующих двигателей, работающих на жидком топливе, при этом производится замена головок, установка смесителей и ряд других, менее существенных изменений. Исключение составляет двигатель ЧТЗ-МГ17, в котором по сравнению с дизелем М-17 изменен диаметр цилиндра (155 вместо 145 мм) путем расточки того же блока и вставки новых гильз.

В таблице показана величина потерь мощности в двигателях, работающих на генераторном газе (древесные чурки).

Тип двигателя	ЗИС-5	ГАЗ-А	ЧТЗ-М17	СТЗ
	ЗИС-21	ГАЗ-42	ЧТЗ-МГ17	ХТЗ-Д27
Мощность на жидком топливе, л. с. . .	72	40	75	52
Мощность на генераторном газе л. с.	48	32	65	47
Потери, %	33	20	13	9,6

Большие потери мощности на двигателе ЗИС-21 по сравнению с ЗИС-5 резко ухудшают динамические качества автомобилей. По двигателю ЧТЗ потери по абсолютной величине не столь значительны (13%), но в эксплуатации весьма ощутимы. Это объясняется тем, что мощность 65 л. с. не является устойчивой и в среднем по выжигу составляет не более 60 л. с., но даже при устойчивой мощности в 65 л. с. газогенераторный трактор не может в полной мере обслужить все прицепные орудия, на которые рассчитан дизельный трактор. Силовые установки выпускаемых машин не обеспечивают достаточно устойчивой работы при переменных режимах, особенно при малых отборах газа. А между тем на некоторых заграничных образцах имеются приспособления, обеспечивающие хорошую приспособляемость к переменным режимам.

Приведенная оценка состояния газогенераторостроения позволяет наметить пути дальнейшего развития газогенераторного дела в СССР.

Типаж машин

Типаж машин, оборудованных газогенераторными установками, должен быть расширен. Для этого необходимо:

1) создать и внедрить в производство газогенераторную установку для автомобилей ЯГАЗ, приурочив ее выпуск к моменту создания для этого автомобиля специального двигателя повышенной мощности;

2) предусмотреть для тяжелых грузовиков и тракторов будущего выпуска газогенераторные варианты, разрабатывая их одновременно с проектированием основных типов;

3) создать газогенераторную установку для полугрузового автомобиля пикап Горьковского автозавода;

4) разработать и пустить в серийное производство газогенераторную установку для автобуса ЗИС-16;

5) разработать газогенераторную установку для легкового автомобиля ГАЗ, в первую очередь для работы на древесноугольных брикетах, что обеспечит необходимую компактность газогенератора, а также большую дальность хода и хорошие эксплуатационные показатели.

Учет местных ресурсов топлива

В нашей стране имеются разнообразнейшие топливные ресурсы.

Необходимо создать новые массовые типы газогенераторов, рассчитанных на использование ими в качестве топлива древесного угля, торфа, антрацита, бурых углей, кокса и соломы.

Применительно к месторождениям перечисленных топлив можно наметить примерный план районирования газогенераторных машин (см. таблицу).

Учитывая разнообразие сортов антрацита и торфа (по их зольности), следует ориентироваться преимущественно на малозольные виды, что значительно упростит конструкцию газогенератора, а следовательно, и уход за ним. С этой точки зрения, например, по УССР, имеющей в основном только запасы низинного многозольного торфа, не рекомендуется применять торфяные газогенераторы.

Род топлива	Районы использования газогенератора, работающего на этом виде топлива
Дрова	Европейская часть РСФСР — преимущественно Архангельская, Вологодская обл., АССР Коми, Горьковская обл., Чувашская АССР, Кировская обл., Татарская АССР; Урал, Западная и Восточная Сибирь, ДВК.
Древесный уголь	В тех же районах, в местах скопления отходов, пригодных для углежжения с улавливанием продуктов сухой перегонки.
Торф	Европейская часть РСФСР, Западная и Восточная Сибирь, ДВК. Предпочтительно БССР, Северный край, Ленинградская, Западная, Калининская, Московская, Ивановская, Горьковская, Куйбышевская, Курская, Свердловская области.
Антрацит	Донбасс, Северный Кавказ, Кузбасс, Урал.
Каменноугольный кокс	В местах расположения коксохимических заводов.
Бурые угли	Дальстрой — Аркагалинское месторождение; некоторые районы крайнего севера (бухта Кожевникова) и среднеазиатских республик.
Солома	Повсеместно, за исключением дальнего севера. Преимущественно: УССР, Поволжье и центральная черноземная полоса.

Типы газогенераторных установок

Рассмотренные виды топлива, пригодные для использования в газогенераторах, делятся на 2 класса: 1) битуминозные (дрова, торф, бурые угли и солома) и 2) небитуминозные (древесный уголь, антрацит и кокс).

Первый класс топлив требует применения газогенераторов опрокинутого процесса, второй может газифицироваться в газогенераторах любого процесса (предпочтительно прямой и горизонтальный).

Существующие типы газогенераторов работают по опрокинутому и горизонтальному процессам. Имеются опытные образцы, работающие и по прямому процессу.

Что касается технологии газообразования, то в транспортных газогенераторах преобладает способ получения «бедного» газа (при воздушном дутье). Он вполне оправдывает себя для топлив с высоким содержанием водорода и кислорода (дрова, торф, солома) и допустим также для топлив с низким содержанием этих элементов (антрацит, кокс) при газификации в автомобильных газогенераторах с горизонтальным процессом.

При газификации антрацита на тракторах по горизонтальному процессу без присадки воды были получены неудовлетворительные результаты из-за перегрева, усиленного шлакообразования и недостаточной калорийности газа, влиявших на постоянство режима, требуемого условиями работы на тракторе. Устранить эти недостатки можно при условии получения смешанного газа, вырабатываемого при паровоздушном дутье.

Таким образом для газификации различных видов топлива возможно применить газогенераторы трех типов: 1) с опрокинутым процессом и с получением воздушного газа (без присадки воды) для битуминозного топлива, 2) с прямым процессом и с получением смешанного газа (с присадкой воды) для небитуминозного топлива, 3) с горизонтальным процессом (преимущественно для автомобилей) с получением воздушного или смешанного газа, что будет

зависеть от окончательных результатов экспериментальной работы.

Эти три вида газогенераторов и должны стать основными для всех без исключения типов машин. Для того, чтобы лучше приспособиться к разнообразным специфическим условиям эксплуатации, необходимо создать разновидности (семейства) для каждого типа, внося в их конструкцию несложные дополнения или изменения, например, поставить в газогенератор колосниковую решетку, осуществить разной степени подогрев бункера для конструкций, допускающих полный подогрев, и т. п. Кроме того, необходимо предусмотреть специальные приспособления, позволяющие производить работы при низких температурах, а также в обстановке, опасной в пожарном отношении.

Двигатели для работы на газе

Все выпускаемые газовые двигатели, предназначенные для работы на одном типе машин, должны быть максимально унифицированы независимо от природы газа, на котором они будут работать (генераторный, сжатый, сжиженный).

При создании газовых двигателей можно допускать замену отдельных деталей — головок, гильз, поршней, клапанов и т. п., оставляя, однако, неизменной общую производственную базу для соответствующего двигателя, работающего на жидком топливе.

Повышение мощности двигателей может быть достигнуто как за счет повышения калорийности газа, так и путем улучшения конструкции двигателя: подбор наилучшей формы камеры сгорания и наивыгоднейших фаз распределения, повышение степени сжатия, создание инжекционных смесителей соответствующего типа и т. д.

При разработке новых типов машин, например, тяжелых грузовиков, нового трактора ЧТЗ и т. п., одновременно с проектированием основного двигателя (дизеля или бензинового) должен разрабатываться и газогенераторный вариант двигателя.

Для газовых двигателей в связи с намечаемым дальнейшим повышением степени сжатия необходимо разработать специальное электрооборудование — усиленные стартеры и усиленную систему зажигания, а также подобрать специальные свечи.

Для двигателей, предназначенных для работы на генераторном газе, необходимо предусмотреть приспособление для поддержания режима в газогенераторе при малых отборах газа с целью улучшения работы при переменных нагрузках и переменных условиях движения.

Модернизация газогенераторных установок

Задача сегодняшнего дня заключается в скорейшем окончании начатой на заводах модернизации выпускаемых установок, цель которой — уменьшить расход металла, унифицировать узлы и детали и тем самым упростить их производство, увеличить про-

должительность работы установки и устранить все дефекты, свойственные газогенераторным машинам существующих типов.

Наряду с этим необходимо создать более совершенные установки, которые приблизили бы работу газогенераторных автомобилей и тракторов к их работе на жидком топливе. Это может быть в значительной мере достигнуто улучшением процесса газификации путем:

1) повышения калорийности газа за счет горячего дутья, что позволит использовать физическое тепло воздуха и обеспечит более полное разложение воды по реакции $H_2O + C = CO + H_2$ с выходом газа, обогащенного водородом и окисью углерода;

2) повышения калорийности газа за счет крекинга продуктов сухой перегонки в результате их эвакуации из бункера в зону восстановления;

3) глубокого охлаждения газа в установке, что повышает теплотворную способность рабочей смеси при прочих равных условиях;

4) снижения сопротивлений во всей системе газогенераторной установки, т. е. непосредственного снижения потери мощности двигателя;

5) создания простых и надежных конструктивных форм наиболее ответственных деталей, как, например, камеры газификации с заменой ее в случае благоприятных результатов испытаний другими деталями того же назначения;

6) подбора заменителей матерчатых фильтров;

7) выбора наиболее эффективного и компактного типа механического очистителя;

8) разработки и применения автоматического обслуживания и регулировки отдельных агрегатов газогенераторной установки;

9) исследования процесса шлаконакопления и внедрения способов автоматического удаления шлака с целью поддержания постоянства процесса газификации;

10) изыскания методов электроочистки газа.

Унификация узлов и деталей

В целях лучшего обеспечения газогенераторных машин запасными частями, а также для упрощения производства необходимо максимально унифицировать однотипные детали для разных установок, выпускаемых одним и тем же заводом.

Кроме того, необходимо выработать стандарты деталей, которые могут стать общими для всех установок, и в первую очередь для деталей, входящих в базисный комплект запасных частей (крышки люков, пружины, рукоятки, хомуты, шланги и т. д.).

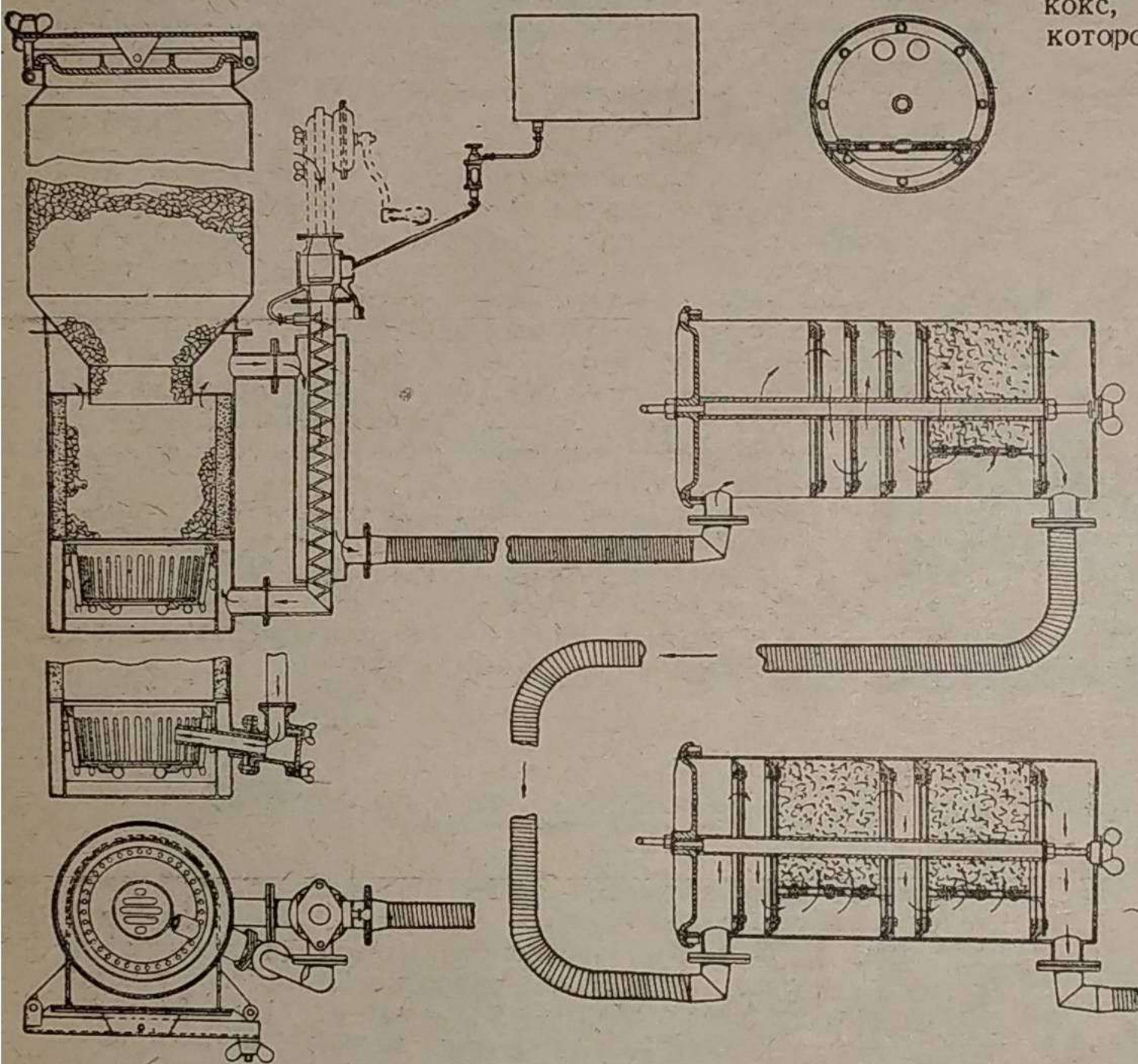
Реализация намеченных мероприятий в значительной мере повысит качество газогенераторных автомобилей и тракторов, облегчит их производство и эксплуатацию, а также расширит районы их возможного применения и использования на местном топливе.

Транспортные газогенераторы

В 1938—1939 гг. по количеству выпускаемых транспортных газогенераторных установок Германия занимала первое место, затем шли Франция и Италия, на последнем месте была Англия.

Наиболее распространенной системой являются газогенераторные установки Коэла. Патент на эту установку приобрела фирма Брош-Электрик Компани, которая организовала конвейерное производство этих газогенераторов. Газогенератор работает в основном по прямому процессу. Для пуска может быть применен горизонтальный процесс, обеспечивающий быстрый розжиг газогенератора.

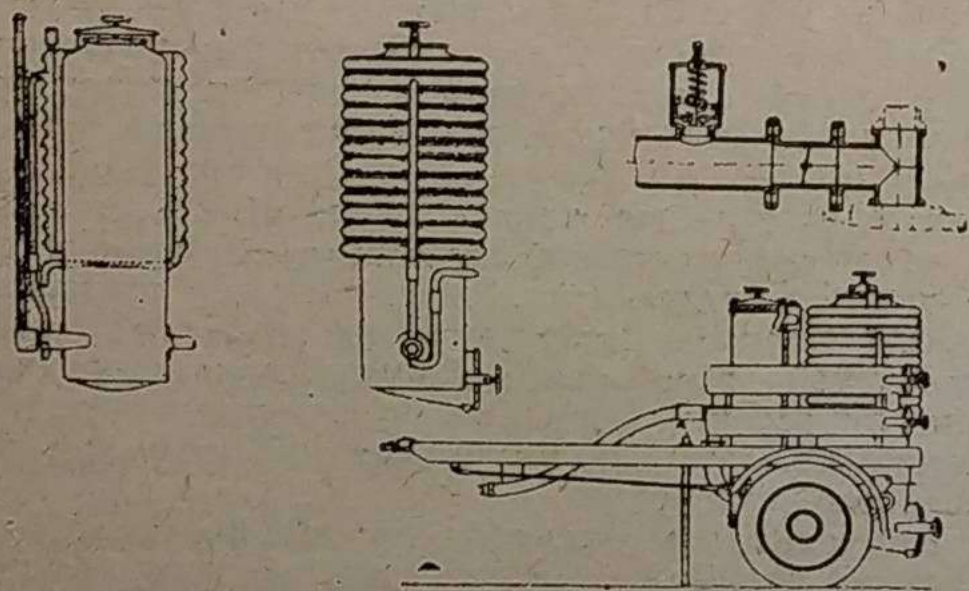
На рис. 1 представлена схема газогенератора и установки в целом. Камера газификации обмурована огнеупорным ма-



1.

териалом. Керамические цилиндры ставятся на место в процессе сборки, так как они получают фирмой со стороны.

Процесс газификации ведется с добавлением воды, поступающей из специального бака по трубопроводу и стекающей под решетку по проволоочной спирали.



2.

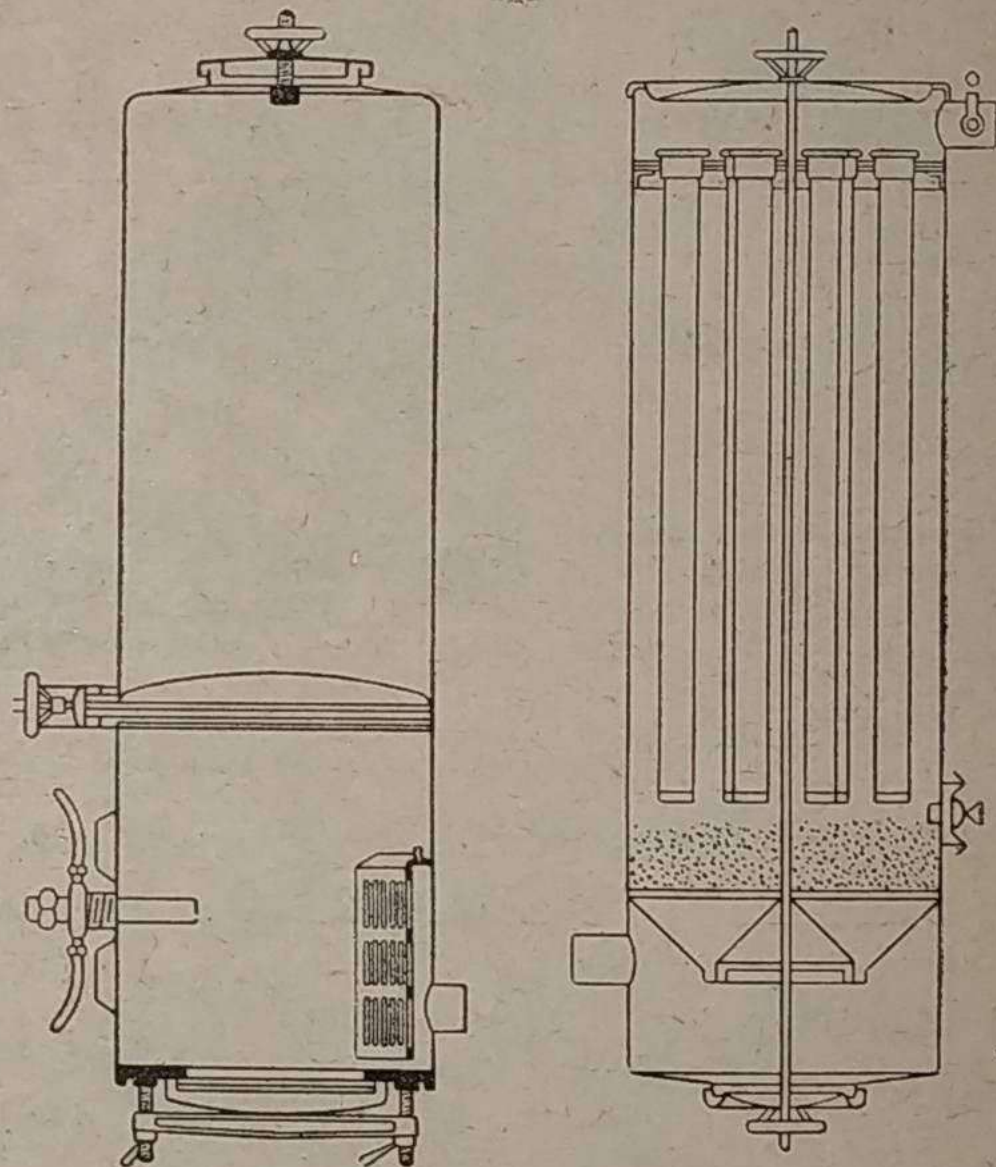
Так как труба, по которой выходит из газогенератора газ, соприкасается с трубой, подводящей воздух, а с ним и воду, то последняя на пути к решетке испаряется еще до поступления в камеру газификации.

Система очистки газа генератора Коэла состоит из двух цилиндрических резервуаров, из которых один служит для

более грубой очистки газа, а другой — для тонкой (металлическая и древесная стружки).

В результате изучения 22 различных типов английских и зарубежных газогенераторов в Англии был разработан «правительственный» тип газогенератора, предназначенный для установки на специальном прицепе (рис. 2).

Этот газогенератор работает по горизонтальному процессу. Верхняя часть цилиндрического газогенератора окружена резервуаром кольцевого сечения, где находится вода, охлаждающая стальную горизонтальную фурму. Грубая очистка и охлаждение газа производятся в четырех горизонтальных резервуарах. Тонкая очистка совершается в цилиндрическом резервуаре, внутри которого находится мелкий кокс, пропитанный маслом, и волокна алоэ (материал, из которого делается сноповязальный шпагат).



3.

Значительное распространение получила в Англии газогенераторная установка Гоген-Пулен, имеющая французский патент, использованный английской фирмой Бритиш-Газоджин Компани (рис. 3).

В этой установке значительным неудобством является замокание матерчатых фильтров в системе очистки, в результате чего получается корка от налипающей пыли, которая прекращает действие фильтров.

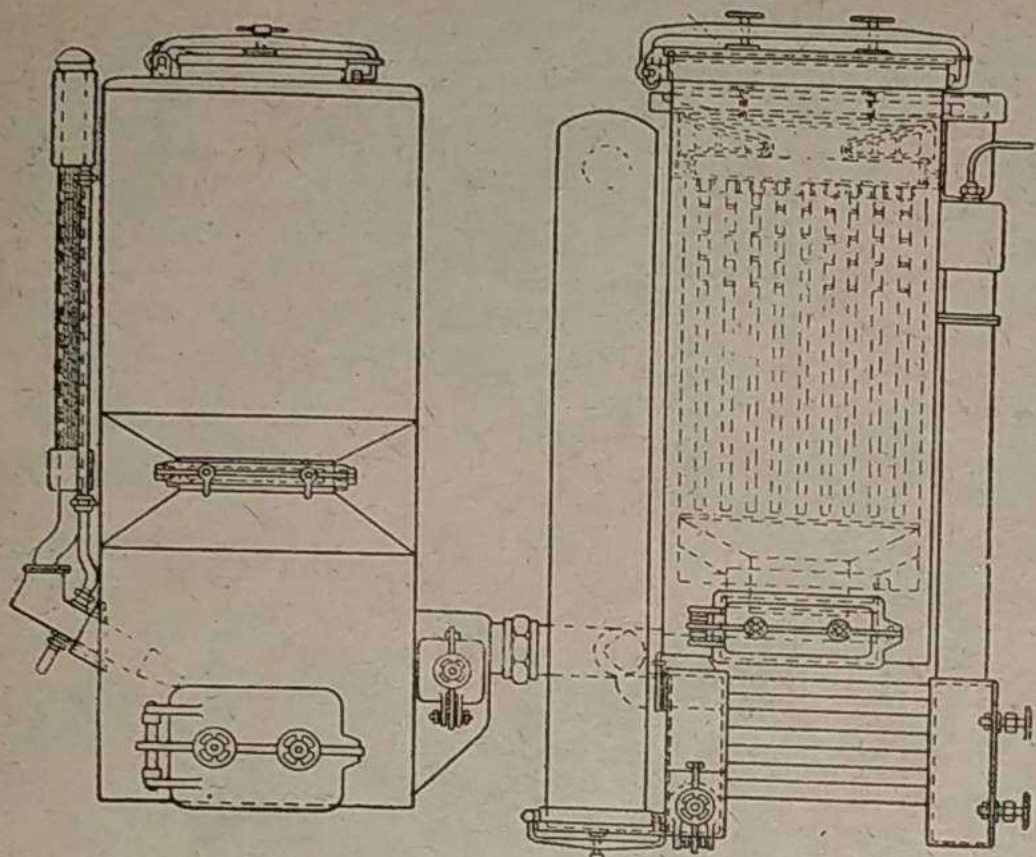
Для устранения этого недостатка фирма заменила слой кокса смесью из растительных мелких семян и муки. Мука, уносимая газом и несколько увлажненная парами воды, находящимися в газе, также образует вместе с пылью корку на матерчатых элементах. Но эта корка легко отваливается, содействуя, таким образом, самоочищению фильтрующих элементов.

Английская фирма Газ-Продьюсерс использовала бельгийский патент газогенератора Беллай (рис. 4), нашедший себе некоторое применение на английских грузовых машинах. Этот газогенератор работает по горизонтальному процессу и в принципе мало отличается от газогенератора Гоген-Пулен. Фурма поставлена наклонно и охлаждается водой, циркулирующей через специальный радиатор. Для очистки и охлаждения газ из газогенератора попадает в трубчатый охладитель, откуда идет в вертикальный цилиндр и, входя в резервуар тонкого очистителя, делает резкий поворот вниз, после чего, поднимаясь, проходит через матерчатые элементы.

Интересна система газогенератора Хай Спид Газ (рис. 5), работающего по горизонтальному процессу. Особенностью его является устройство камеры газификации с плитой, которая может при помощи механизма винта и рычагов подниматься вверх и вниз. По мере накопления шлака эта пли-

та опускается, и шлак может быть удален, чем предупреждается нарушение процесса газификации.

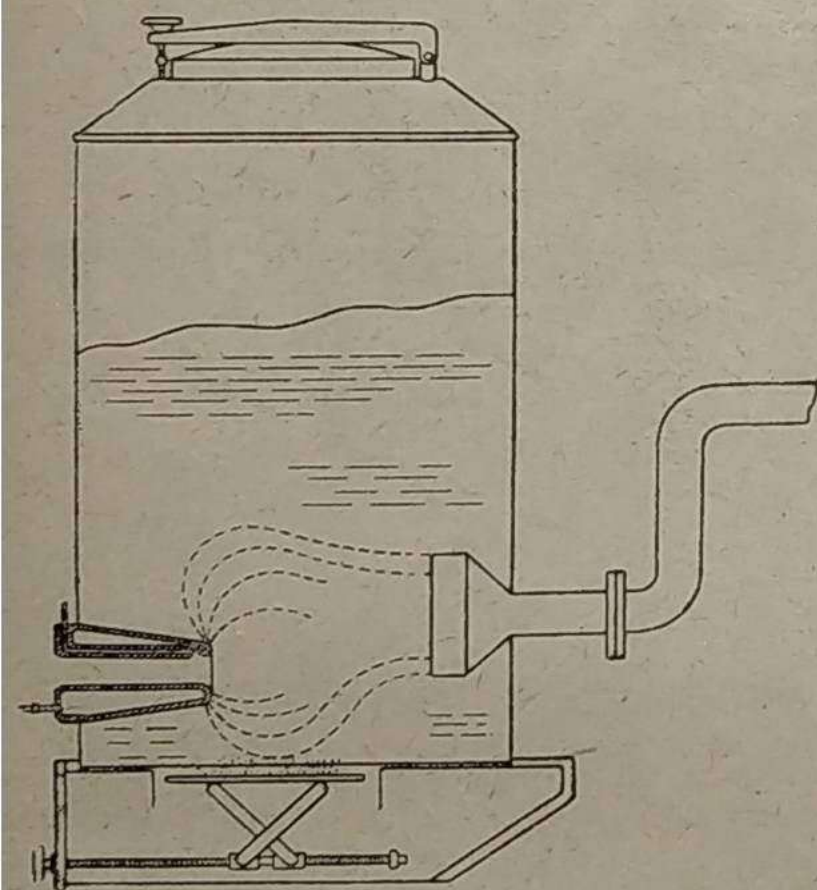
Конструкция Дельво (бельгийский газогенератор, строящийся по лицензии в Англии) (рис. 6), работает по опрокинутому процессу с центральным подводом воздуха, причем воздух подводится сверху, и количество его регулируется



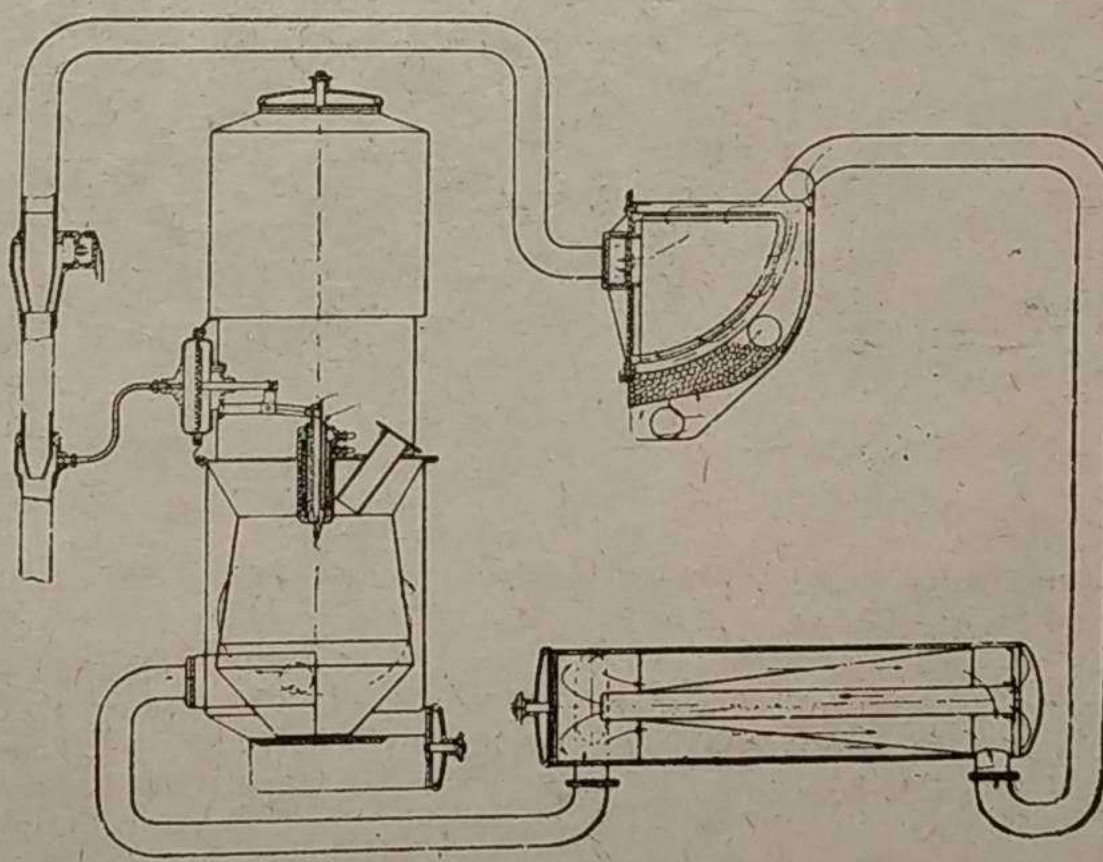
4.

автоматически в зависимости от числа оборотов двигателя. Камера газогенератора облицована огнеупором. Обмуровка вставляется в виде отдельных колец. Топливом для такого генератора может служить не только уголь, но и древесные чурки¹.

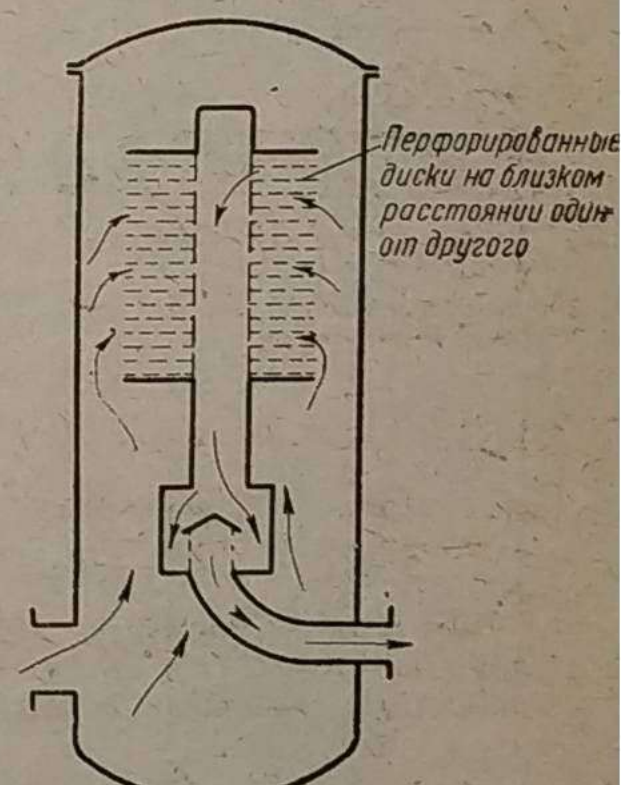
Система грубой очистки установки Дельво напоминает по своей конструкции глушитель современных автомобилей. Газ входит в резервуар и прежде чем выйти делает четыре



5.



6.



7.

поворота с резким изменением скорости. Тонкая очистка производится в особом резервуаре, где помещаются металлическая и древесная шерсть, а также фильтрующий матерчатый элемент.

Во Франции наибольшим распространением пользуется газогенератор Гоген-Пулен, работающий на древесном угле. Устанавливается он не только на автомобилях, но и на тракторах. Испытания французского трактора Латиль проводились с установкой Гоген-Пулен с дальнейшим использованием этого трактора для работы с комбайном.

Установка системы Мальбай работает на древесном угле; процесс — прямой. Камера газификации облицована керамическими огнеупорными кольцами. Под топливной камерой имеется вращающаяся решетка, сидящая на центральном шкворне. При помощи шкворня решетка может поворачиваться для очистки от шлака.

Газ проходит через трубчатый охладитель и вертикальный

¹ Все описанные выше системы газогенераторов предназначены для газификации ископаемых топлив или древесного угля.

цилиндр-фильтр (рис. 7). Для тонкой очистки в центре фильтра находится дырчатая труба с надетыми на нее пластинками. Войдя в нижнюю часть очистителя и оставшая в нем вследствие потери скорости значительную часть примесей, газ проходит дальше через незначительные промежутки между пластинками и оставляет здесь мелкие примеси.

Газогенератор Газото, работающий на древесном угле (рис. 8), предназначен для автомобилей и тракторов. Процесс — горизонтальный. Фурма не охлаждается водой. Изготовлена она, повидимому, из огнеупорного материала — возможно, карборунда. Верхняя часть газогенератора — бункер — представляет собой конус, большое основание которого значительно облегчает непрерывность движения топлива вниз. Камера газификации облицована керамическим материалом. Из газогенератора газ поступает в трубчатый охладитель, а затем в комбинированный фильтр, представляющий собой прямоугольный ящик, в котором в одном отделении находится кокс, в другом — элемент из мельчайших металлических стружек и в третьем — матерчатый фильтр.

Во Франции для газификации чурок применяется система Берлиэ-Имберт, хорошо известная в СССР.

В Германии и в присоединенных к ней в последнее время странах наибольшее применение нашли газогенераторы, работающие на древесных чурках — Имберт, Кромаг и др., уже известные в течение многих лет и не претерпевшие за последнее время значительных изменений.

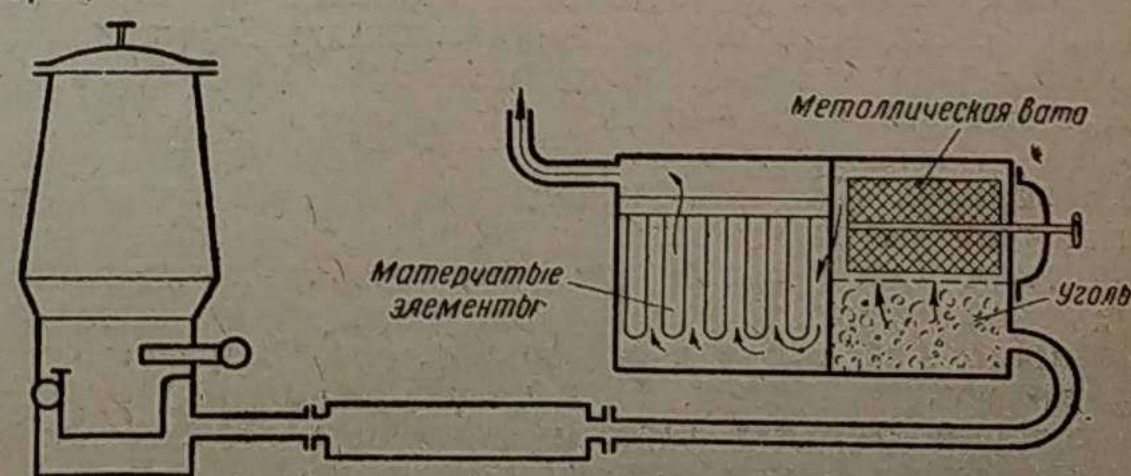
Применяющийся в Германии газогенератор Менк имеет, как и Кромаг, центральный подвод воздуха.

Интересно отметить, что в Б. Австрии и в Германии газогенераторы типа Имберт нашли применение в качестве небольших передвижных станций. Такие установки используются в сельском хозяйстве.

Из газогенераторов, работающих на древесном и каменном угле, известна система Виско-Автогаз. Газогенератор прямоугольного сечения с камерой газификации, облицованной огнеупором, и с колосниковой решеткой внизу. Воздух, прежде чем попасть в камеру, проходит через увлажнитель — особый ящик, заполненный водой.

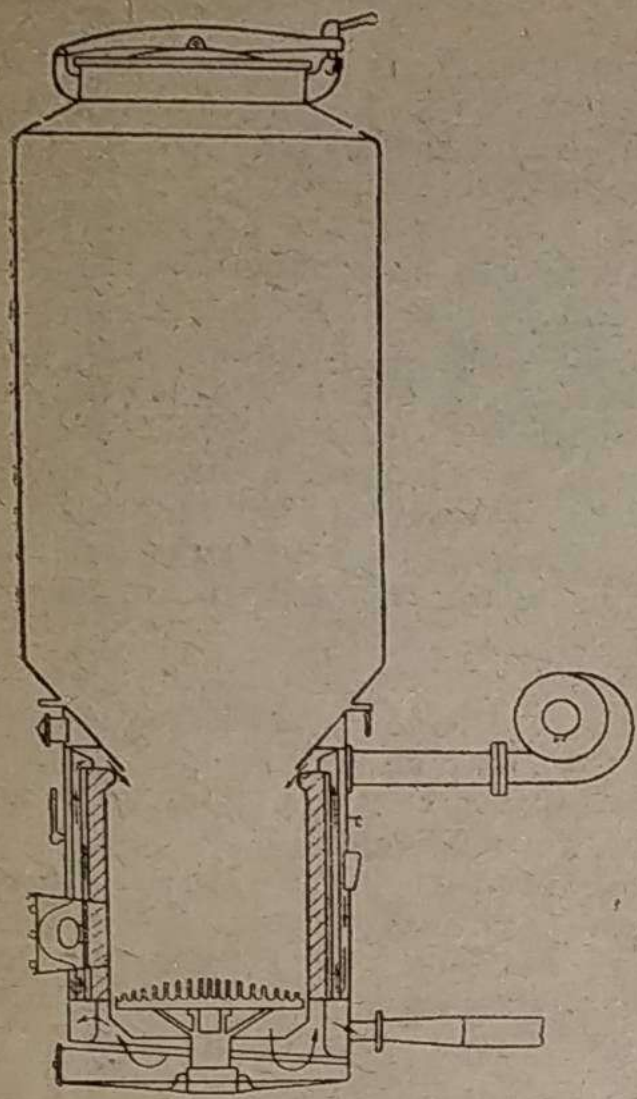
Из газогенератора газ направляется в комбинированный очиститель, где он проходит первоначально через воду, затем последовательно через пробковые спирали, масло и металлические стружки.

Кроме названных, работающих на каменном и на древесном угле, существует газогенератор Круппа, работающий на антраците.

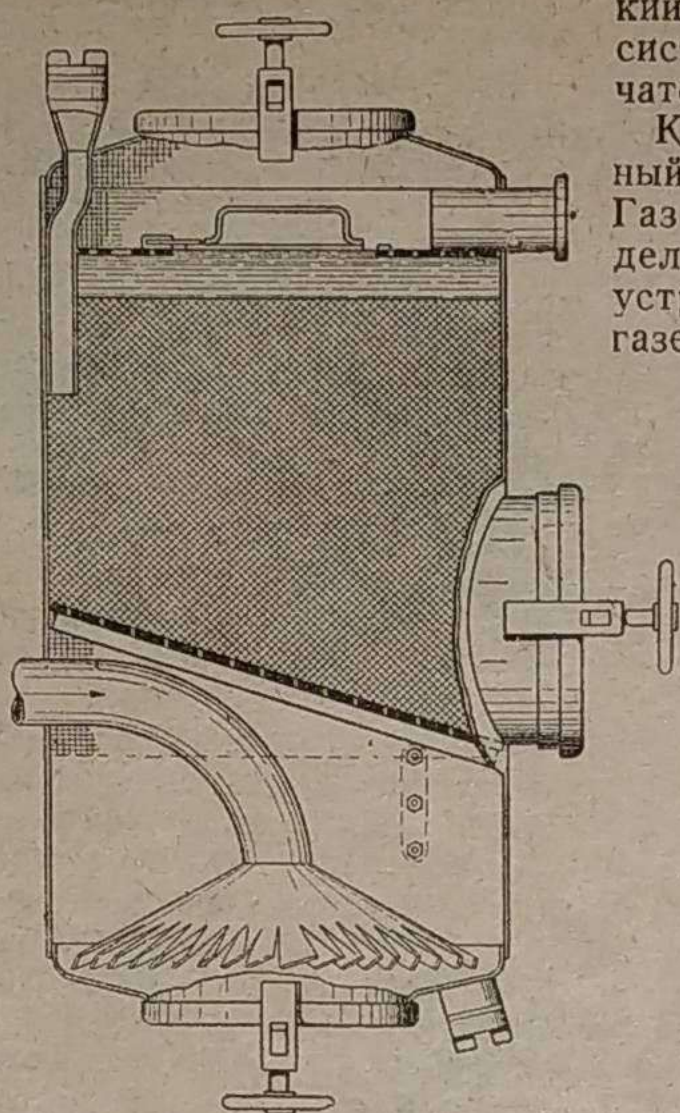


8.

В Италии преобладающим типом является газогенератор Фиат (рис. 9), работающий на древесном угле по прямому процессу. Этот газогенератор имеет камеру газификации, облицованную керамическим материалом, и устройство для подогрева воздуха.



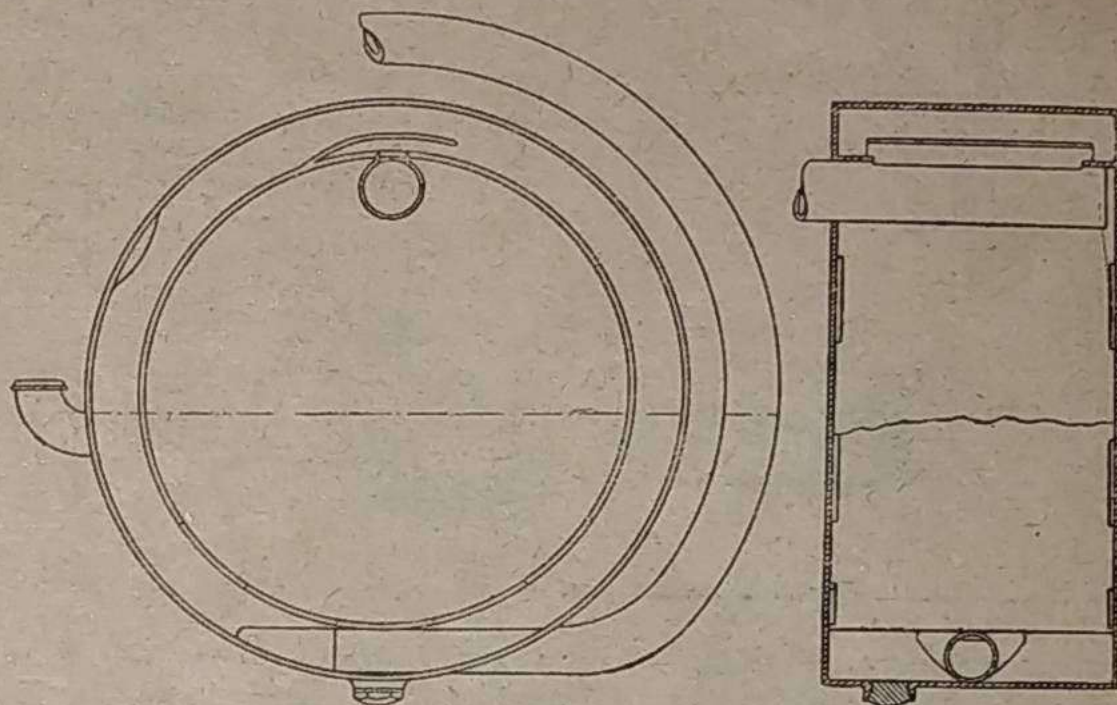
9.



10.

Другой тип весьма компактного фильтра Вокс (рис. 12), являющегося одновременно и охладителем, состоит из цилиндрического резервуара, окруженного со всех сторон трубками, в которых входящий газ охлаждается. Из трубок газ попадает в центральную трубу, после чего, делая резкий поворот, и отлагая взвешенные частицы, проходит через систему металлических щеток, предназначенных для окончательной очистки газа.

Компания Бристоль нашла возможным использовать обычный карбюратор типа Солекс в качестве смесителя (рис. 13). Газ поступает в двигатель через патрубок, к которому приделан другой патрубок для подвода воздуха. Описываемое устройство дает возможность одновременно работать на газе с присадкой бензина.



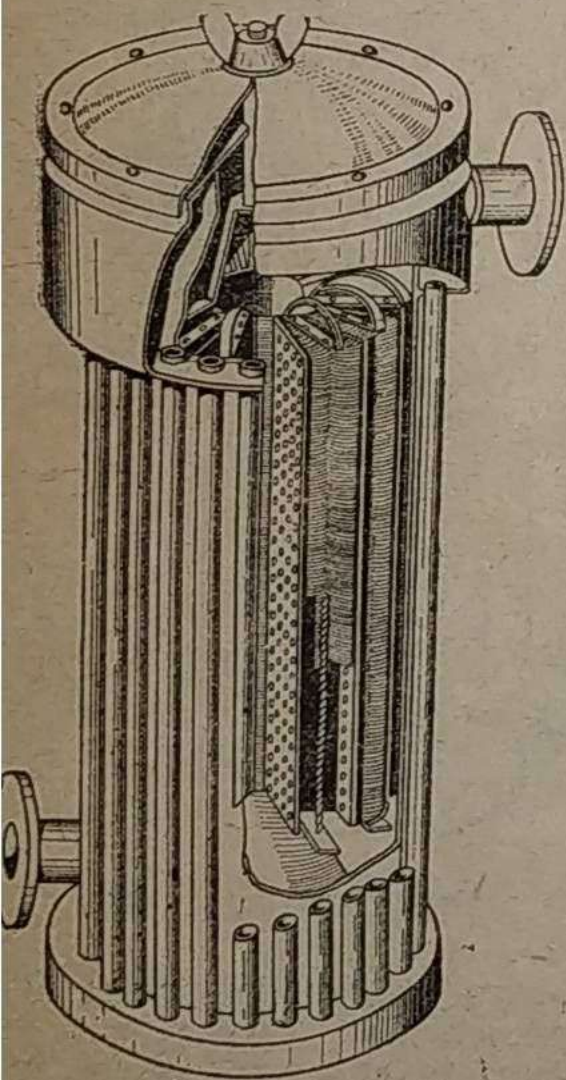
11.

Кроме фирм, изготавливающих газогенераторы в целом, имеются фирмы, занимающиеся изготовлением отдельных элементов газогенераторной установки. К ним относятся автобусная компания Бристоль и фирма Вокс.

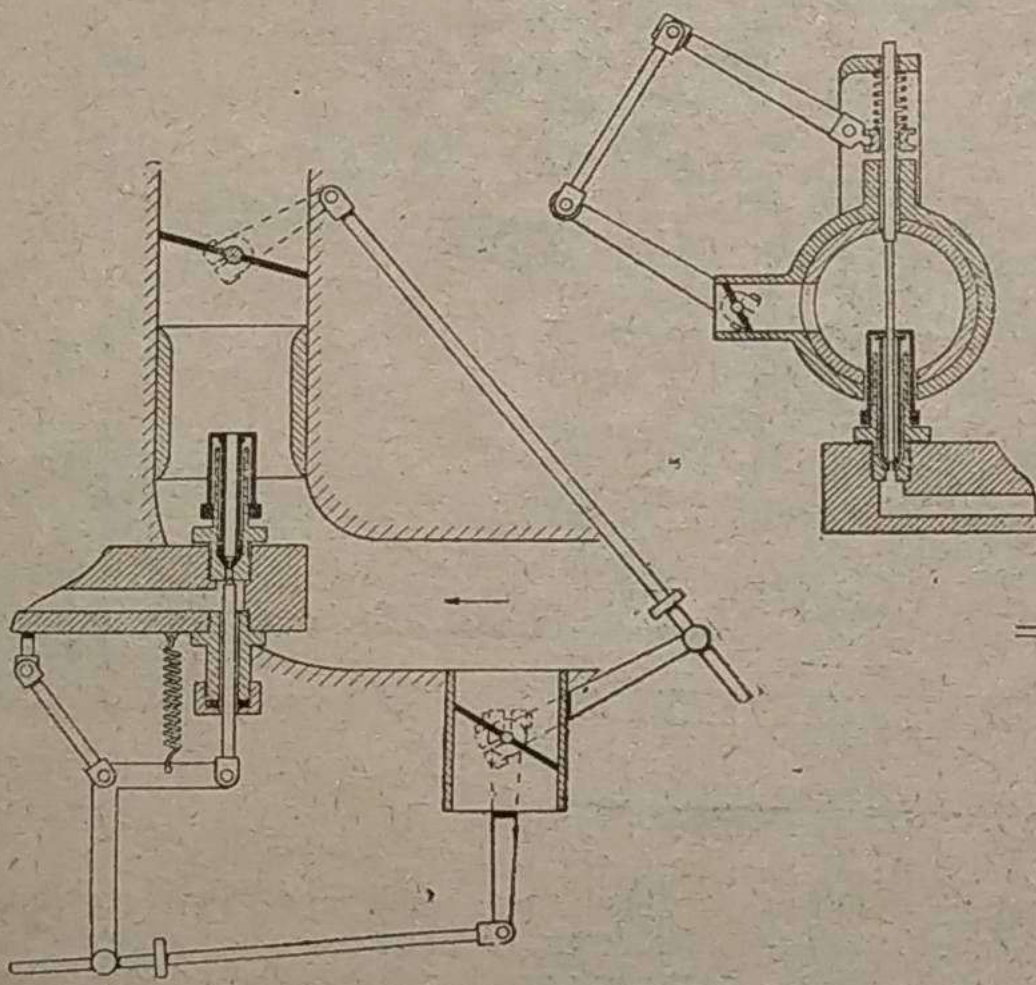
Первая предложила для автобусных газогенераторов ком-

При большем открытии дроссельной заслонки включается в работу жиклер, игла которого связана с дроссельной заслонкой. Таким образом в двигатель поступает бензино-газовоздушная смесь.

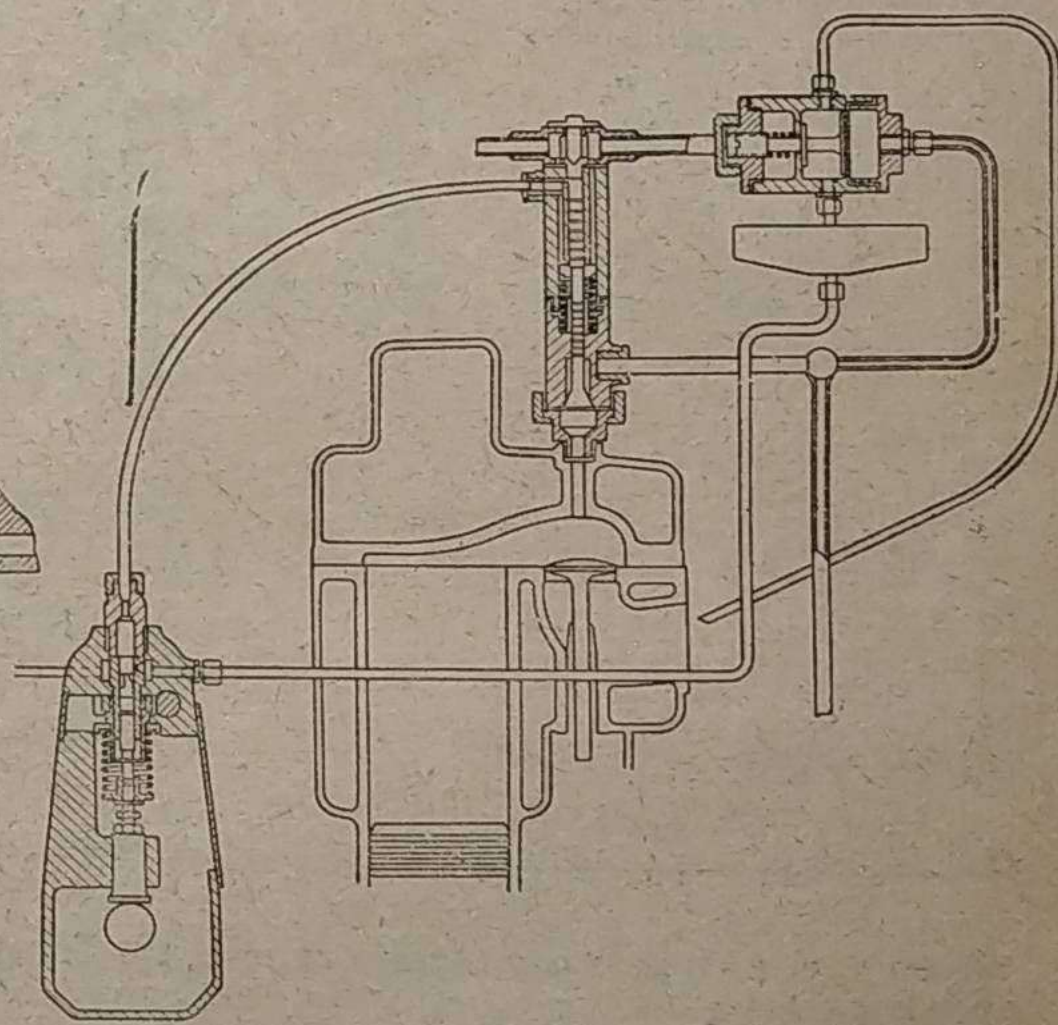
При таком устройстве отпадает необходимость в передел-



12.



13.



14.

бинированный фильтр (рис. 10), в котором для очистки газа в нижней части находится вода, затем идут битые гончарные черепки, расположенные на наклонной решетке, и, наконец, в верхней части — алоэ.

Та же организация проводит эксперименты с другими типами водяных фильтров, предназначенных не только для очистки газа от пылевидных примесей, но и для очистки его от серы. Такой фильтр (рис. 11) состоит из концентрических сообщающихся резервуаров, образующих кольцевое пространство. Газ, входя в это кольцевое пространство, приводит во вращение воду. При этом происходит промывка газа, который выходит через прорезы газосборной трубы, расположенной в верхней части.

ке головки двигателя для увеличения степени сжатия, так как на прямых участках он может работать только на газе, а на подъемах и в тяжелых условиях дороги к газу добавляется бензин, и мощность двигателя возрастает примерно до нормальной величины.

Весьма интересной является работа инж. Дельво (Бельгия) по впрыску газа (рис. 14). Газ предварительно сжимается нагнетателем в баке до давления, превышающего давление сжатия в цилиндре. Управление, открывающее и закрывающее клапан, производится гидравлически, при помощи насоса типа дизельного топливного.

Инж. А. Л. Дмитриев

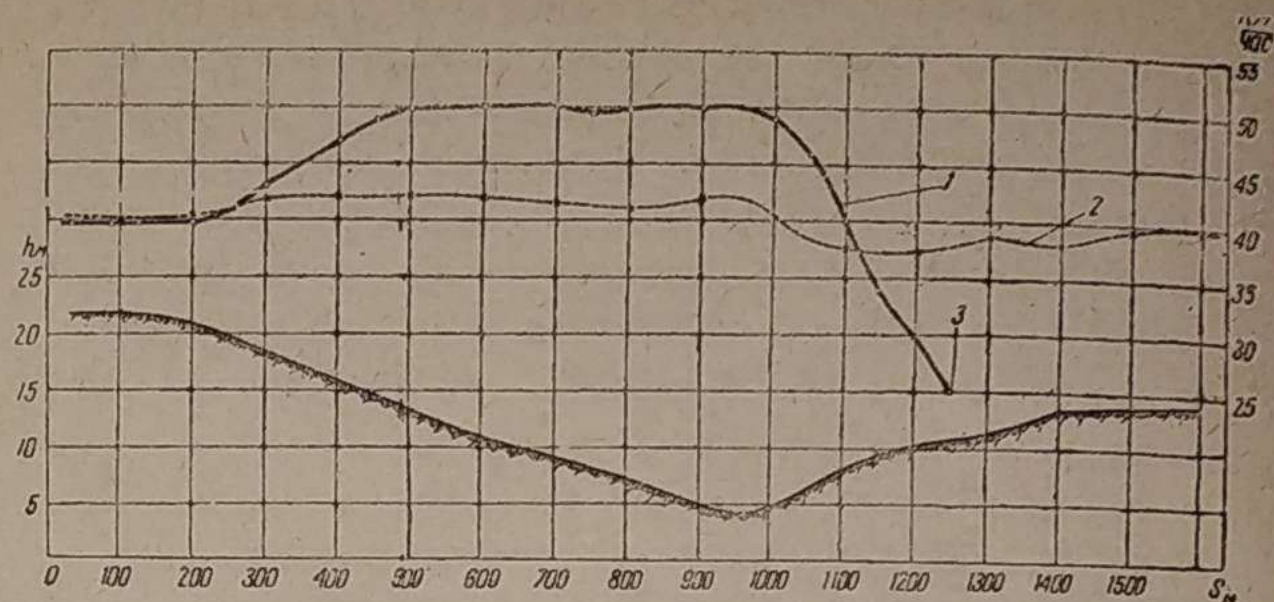
быстрых нагрузках и разгрузках регуляторы быстро и без колебаний приводили двигатель к равновесному состоянию. Повторные испытания — в НАТИ — подтвердили полученные результаты тахограммы, характеризующие работу сервовакуумного регулятора на двигателе МД-23, представлены на рис. 13.

Наши регуляторы работали со значительно меньшим разрежением, чем регулятор Бош (220—250 мм вод. ст. против приблизительно 400 мм вод. ст.). Благодаря этому дополнительные сопротивления на линии всасывания не влияли практически на мощность и экономичность двигателя.

Способность новых типов пневматических регуляторов работать при повышенных трениях в механизме была проверена особо. При этих экспериментах было введено искусственное трение, и отмечали величину дополнительного трения, при которой процесс терял свою устойчивость. Полученные тахограммы (рис. 14) показывают, что устойчивая работа двигателя обеспечивается при дополнительной силе трения, равной: для сервовакуумного регулятора 880 г (рис. 14, а), для регулятора тандем 400 г (рис. 14, б) и для регулятора с одной диафрагмой 160 г (рис. 14, в).

Преимущества всережимного регулирования по сравнению с двухрежимным выявлены при сравнительных дорожных испытаниях на участке

шоссе с переменным профилем грузового автомобиля ЗИС, снабженного дизельмотором Заурер с гидравлическим регулятором и двухрежимным регулятором Бош (рис. 15). Всережимный регу-



15.

Работа регуляторов при испытаниях в дорожных условиях

1 — регулятор Бош; 2 — регулятор Настенко; 3 — включение третьей передачи

лятор обеспечил устойчивую скорость машины без всякого воздействия со стороны водителя. При двухрежимном регуляторе в тех же условиях получились значительные колебания скорости, а на подъеме потребовалось включить низшую передачу, чтобы двигатель не заглох.

Электрическая очистка газа на газогенераторных автомобилях и тракторах

И. В. Титов

Генераторный газ до поступления его в двигатель должен быть подвергнут очистке, которая в настоящее время обычно производится механическим способом: циклонными очистителями, фильтрами с кольцами Рашига, фильтрами из ткани и т. п.

Основными дефектами фильтра с кольцами Рашига являются сравнительно большой его вес и плохая очистка газа в случае недостаточной влажности последнего. Фильтры из ткани имеют еще большие дефекты. Они заключаются в расходовании остродефицитной ткани, которая сравнительно быстро изнашивается, значительном увеличении гидравлического сопротивления в случае очистки влажного газа. Перечисленные недостатки применяемых очистителей снижают эксплуатационно-технические показатели газогенераторных машин. Это заставило искать более эффективных способов очистки газа. В 1939 г. в Промакадемии им. Л. М. Кагановича была разработана конструкция фильтра для очистки генераторного газа на транспортных установках электрическим способом.

То, что частицы заряжаются в электрическом поле и оседают на электродах, было известно еще с XIX столетия, но состояние техники в то время не позволило практически использовать это явление, и только в 1906 г. американцу

Коттрелю удалось построить первый промышленный образец электрофильтра для очистки газа. В СССР электрофильтр был впервые построен в 1925 г. на заводе «Красный выборжец» инж. Баймаковым и несколько позже в Ярославле инж. Шнеерсоном.

Все действующие электрофильтры промышленного типа рассчитаны на работу исключительно в стационарных условиях, габаритные размеры их измеряются десятками метров, а для питания электроэнергией в большинстве случаев служат специальные повысительные подстанции со сложным и громоздким электрооборудованием.

Применение электрофильтра на транспортных установках вследствие специфических условий и ограниченности места вызывает ряд дополнительных трудностей. Необходимо создать специальную конструкцию электрофильтра с учетом всех особенностей эксплуатации, наличия на автомобиле стандартного электрооборудования и т. д.

Так называемый коронирующий электрод в автомобильном электрофильтре, построенном в Промышленной академии им. Л. М. Кагановича на основании результатов испытания на стенде нескольких электрофильтров разных вариантов, выполнен в виде трубы с насаженными на ней дисками. Острые края дисков являются собственно коронирующими электродами. Электрод

жестко крепится к проходному изолятору и является как бы продолжением проходного болта. Такая конструкция жоронирующего электрода наиболее соответствует условиям эксплуатации, хотя и уступает по электрической характеристике электродам, выполненным в виде тонких проводов.

Генераторный газ, поступающий в электрофильтр, содержит пыль, отдельные частицы которой имеют различные электрические свойства. Некоторые частицы (несгоревший уголь, сажа) проводят электрический ток, а другие (частицы золы) не проводят его. Как показал опыт, непроводящую пыль можно с успехом осадить и удерживать на гладком осадительном электроде. Проводящая пыль осаждается плохо и в сухом виде почти не удерживается на гладком осадительном электроде. Причина этого заключается в том, что уголь и сажа, являющиеся хорошими проводниками, соприкасаясь с осадительным электродом, сразу отдают свой заряд, и их увлекает поток газа, пока они не получат нового заряда. Данное явление может повторяться до момента выноса пыли из электрического поля. Иначе говоря, проводящую пыль фильтр с гладким осадительным электродом улавливает плохо. Это потребовало после многочисленных опытов установки решетчатого осадительного электрода.

Осаждение проводящей пыли при помощи перфорированного, решетчатого электрода отличается следующим преимуществом. Заряженная частица, приблизившаяся к решетчатому электроду, может через отверстия в нем попасть в полость осаждения между решетчатым электродом и корпусом фильтра, где скорость движения газа почти равна нулю. Единственный выход для частицы из полости осаждения обратно через отверстие решетки «закрыт» электрическим полем, так как частица при выходе из этой полости (через отверстие решетки) получит заряд, препятствующий ее удалению. Таким образом пыль, попавшая в полость осаждения, уловлена. Если заряженная частица, приблизившаяся к решетчатому осадительному электроду, не попадает сразу в отверстие, а коснется переплета решетки, то разрядившись, она пройдет некоторый путь вместе с газом и, получив новый заряд, опять приблизится к осадительному электроду. Это будет повторяться до тех пор, пока частица не попадет через одно из отверстий решетки в полость осаждения.

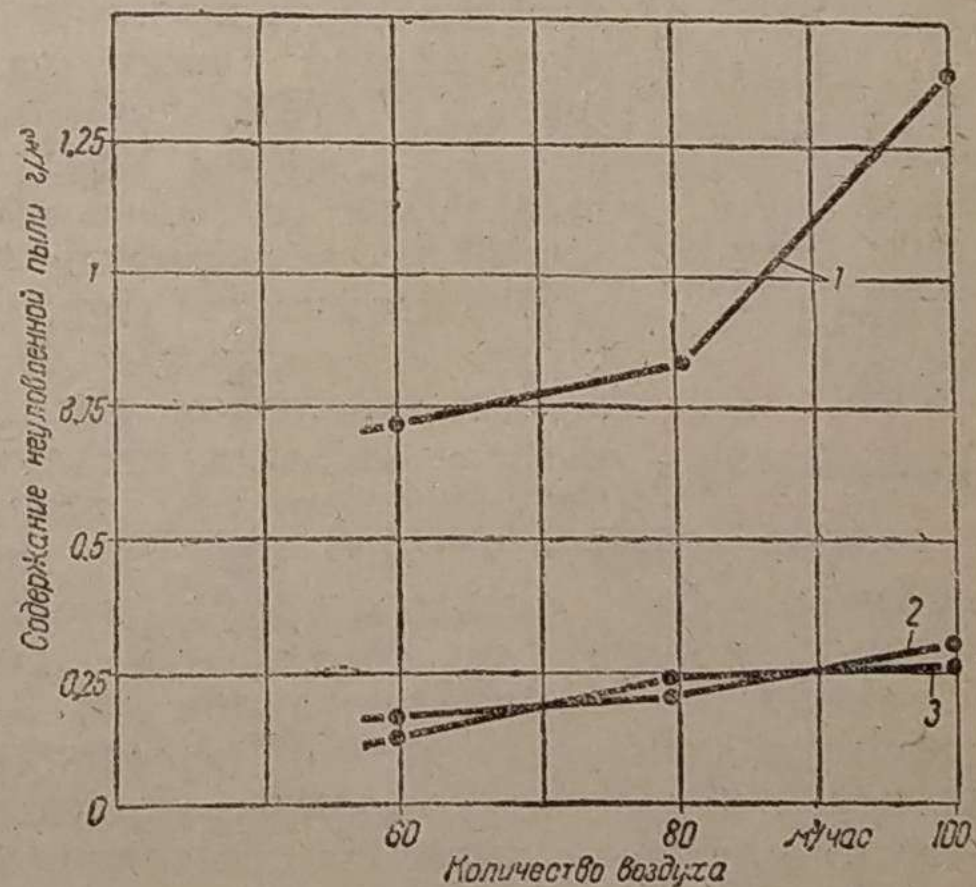
Наиболее сложным вопросом в условиях работы электрофильтра на автомобиле является питание фильтра электроэнергией. Источником питания всех электрических приборов на автомобиле являются аккумулятор и динамомашина постоянного тока напряжением 6—12 в. Мощность аккумулятора почти полностью используется имеющимися на автомобиле установками, поэтому для питания электрофильтра можно дополнительно снять не более 30 вт. Применение специального генератора с повышенным напряжением для питания электрофильтра усложнило бы оборудование автомобиля. Поэтому для питания электрофильтра используют постоянный ток напряжением 6—12 в, трансформируемый при помощи индукционной катушки (спирали Румкорфа) до 30—35 тыс. в.

Форма кривой тока катушки Румкорфа резко

отличается от кривой выпрямленного при помощи различных выпрямителей синусоидального тока, обычно применяемого в стационарных электрофильтрах. Для сравнения эффективности очистки при питании фильтра от катушки Румкорфа и трансформатора были проведены сравнительные испытания, заключавшиеся в очистке в электрофильтре искусственно запыленного воздуха. Испытания на газе могли привести к неправильным выводам в связи с большими колебаниями запыленности газа. Воздух насыщали тонкоизмолотой золой (4 г золы на 1 м³ воздуха). Качество очистки определяли при разных скоростях воздуха в электрофильтре, соответствующих скоростям при отборе газа из газогенератора (60, 80 и 100 м³/час). Расход воздуха измеряли тарированной контрольной шайбой с дифференциальным манометром.

В качестве источников питания фильтра для сравнения взяли катушку Румкорфа типа КР-50 и трансформатор для испытания диэлектриков Рентгеновского завода. Ток выпрямляли кенотроном типа КР-110.

В результате сравнительных испытаний выяснилось, что качество очистки газа при питании от катушки Румкорфа не ниже, чем при питании от трансформатора (при одинаковом напряжении). Однако ввиду того, что напряжение определяли шаровым разрядником, градуированным на переменный ток, о величине напряжения во вторичной цепи катушки Румкорфа, измеренной этим же разрядником, можно судить только приблизительно. Коронный ток, измеренный гальванометром, при питании от трансформатора был равен 0,325 ма, а при питании от катушки Румкорфа КР-50 он был равен 0,223 ма.



1 — без напряжения; 2 — с трансформатором; 3 — с катушкой Румкорфа

На рис. 1 приведены кривые очистки при питании фильтра от трансформатора, катушки КР-50, а также без напряжения (фильтр работал как объемный) в зависимости от количества пропускаемого воздуха. Как видно из рис. 1, кривые очистки электрофильтра при питании от катушки и трансформатора почти совпадают. Катушку Румкорфа типа КР-50, учитывая сравнительно малую ее мощность, можно применять только для питания электрофильтров небольшой производительности, как в данном случае.

Величина коронного тока, т. е. тока во вторичной цепи катушки электрофилтра, колеблется в пределах от 0,1 до 0,2 ма в зависимости от температуры газа и др.

Мощность, необходимая для питания филтра, составляет примерно 20—25 вт при напряжении 6 в, из них 18—20 вт расходуются собственно на очистку и 2—5 вт на накал кенотронного выпрямителя¹.

Все попытки упростить схему питания электрофилтра путем исключения выпрямительных устройств не дали удовлетворительных результатов. Также неудачно закончилась попытка применить выпрямители искрового типа (острие и плоскость) вследствие значительного падения напряжения на выпрямителях, а также неустойчивой их работы. Поэтому пришлось остановиться на выпрямителе кенотронного типа, который был изготовлен заводом «Радиолампа» по

специальным техническим условиям. Габариты кенотронной лампы не превышают размеров обычной осветительной лампы на 50 вт. Расход тока для накала кенотрона составляет 0,3 а при напряжении в 6 в. Влияние кенотронного выпрямителя на качество очистки проверяли также путем сравнительных многократных испытаний, в совершенно одинаковых условиях, при питании филтра током от индукционной катушки непосредственно и через кенотронный выпрямитель. Степень очистки при питании филтра переменным током не превышала 91% и в среднем составляла 86%, тогда как степень очистки при питании филтра выпрямленным током равнялась в среднем 96,5% и достигала 99%.

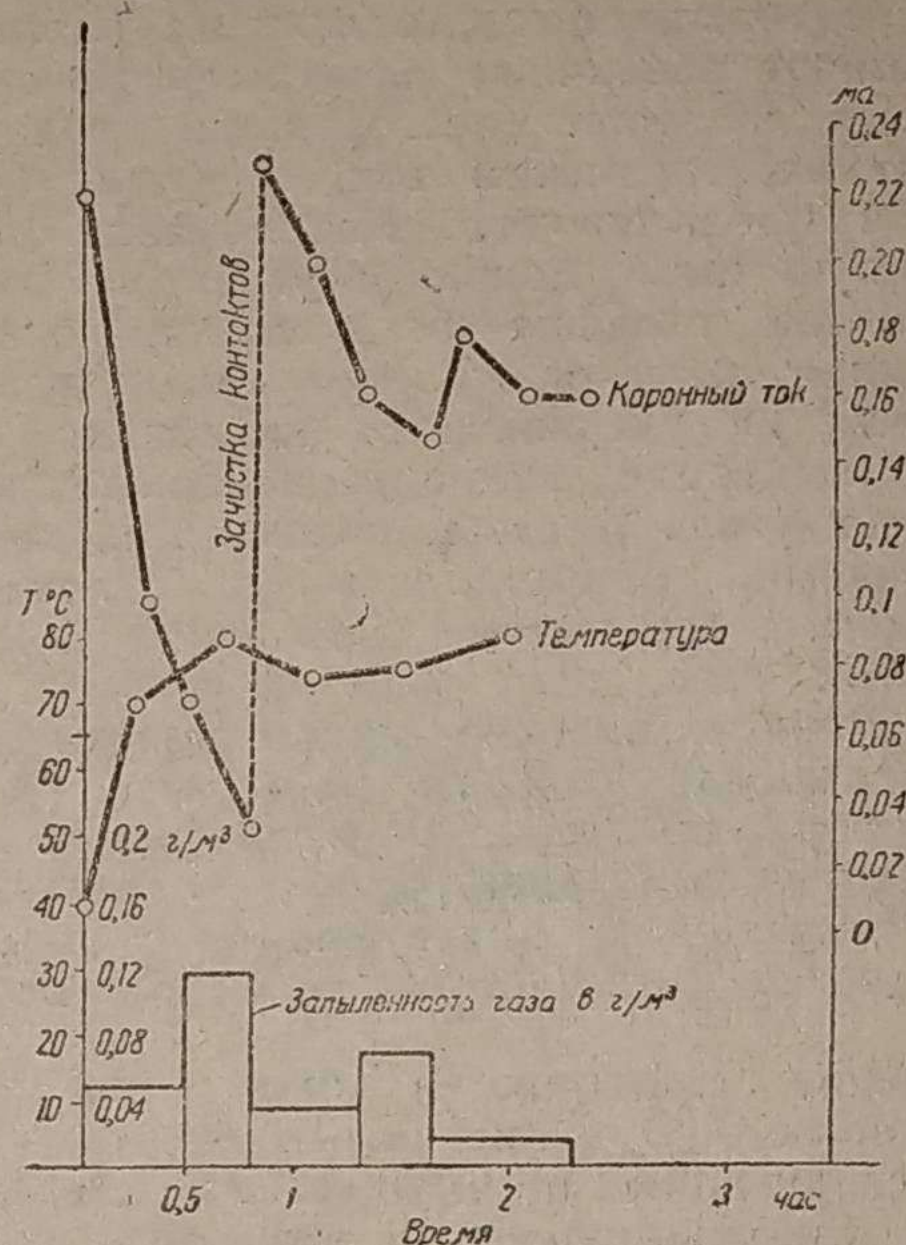
Электрофилтр (рис. 2) состоит из корпуса с верхней крышкой и люком, коронирующего электрода, изолятора с системой защиты, осадительного электрода, распределителя газа и электрооборудования. Для электрофилтра используют стандартный корпус очистителя, в котором сделаны некоторые изменения, а именно: верхняя часть корпуса снабжена съемной крышкой, а в нижней части сделан легко открывающийся люк для очистки филтра от пыли. На расстоянии 350 мм от верхней крышки внутри корпуса вварена диафрагма, к которой крепится осадительный электрод. Диафрагма одновременно служит нижней частью коллектора для отбора газа.

Коронирующий электрод состоит из стальной трубы диаметром 20 мм, на которой укреплено шесть коронирующих дисков диаметром 160 мм из стали толщиной 0,5 мм.

Осадительный электрод расположен концентрически внутри корпуса филтра. Верхняя часть

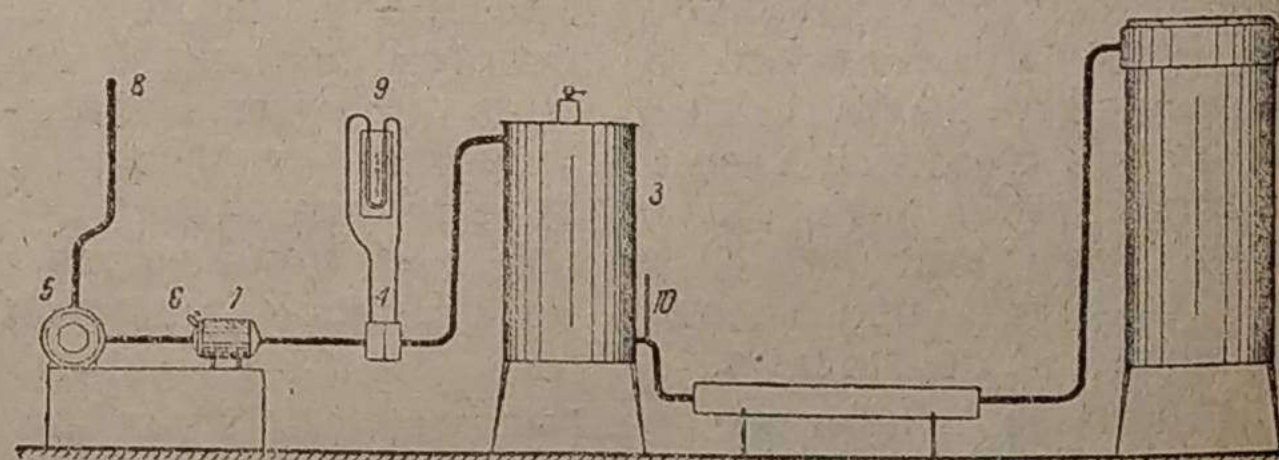
¹ В настоящее время проводятся опыты по замене кенотронного выпрямителя выпрямителем с холодным катодом. Схема электрофилтра значительно упрощается. По проекту, разработанному для автомобиля ЗИС-31, электрофилтр должен находиться внутри грубых очистителей-охладителей.

осадительного электрода крепится к диафрагме, а нижняя часть к корпусу филтра. Осадительный электрод выполнен из перфорированной листовой стали (стальная решетка) толщиной 1,2 мм. Площадь отверстий составляет 76% всей площади электрода. Для предохранения от коррозии, осадительный электрод омеднен.



3.

Изолятор применен фарфоровый. Он прикреплен к верхней крышке электрофилтра при помощи проходного болта диаметром 20 мм, в головке которого крепят коронирующий электрод. Защита изолятора от запыления и конденсата осуществляется за счет подсасывания атмосферного воздуха в полость между изолятором и защитным цилиндром.



4.

1 — генератор; 2 — грубый очиститель; 3 — электрофилтр; 4 — контрольная шайба; 5 — воздуходувка; 6 — кран; 7 — контрольный филтр; 8 — выход; 9 — манометр; 10 — термометр

Для более равномерного распределения газа по всему сечению филтра и предотвращения уноса пыли, осевшей на дисках, установлен специальный распределитель газа. Он сконструирован так, что пыль, падающая с дисков — через центральные отверстия в них, проходит по внутренней трубе распределителя газа до дна филтра, не встречаясь с потоком газа.

Электрооборудование состоит из индукционной катушки (спирали Румкорфа) типа РК-50, трансформирующей напряжение с 6 в до 30—35 тыс. в

прерывателя молоткового типа, кенотронного выпрямителя типа РЛ-6, специально изготовленного для данной цели, и амперметра автомобильного типа, установленного в кабине водителя.

Генераторный газ проходит в электрофилт্রে по следующему пути. Из грубых очистителей через патрубок 1 (рис. 2) и распределитель газа 2 газ поступает в полость между осадительным и коронирующим электродами. Поднимаясь вверх в поле высокого напряжения между электродами, газ очищается от взвешенных частиц. Через щель 3 газ попадает в коллектор 4 и оттуда направляется через патрубок 5 в трубопровод к смесителю. Улавливаемая электрофильтром пыль удаляется из потока газа в зоне очистки по двум направлениям. Часть пыли, получившая заряд, движется к осадительному электроду и через отверстия в нем попадает в полость между осадительным электродом и корпусом фильтра. Другая часть пыли, вследствие неравномерности электрического поля и завихрений газа за дисками, попадает на диски, проходит через центральные отверстия в них и при наличии тряски падает на диски, расположенные ниже, и т. д., пока не достигнет дна фильтра. Отсюда пыль по мере ее накопления удаляют (через 15—20 час.) через нижний люк.

Проведенные лабораторные испытания показали, что степень очистки генераторного газа электро-

фильтром колеблется в пределах 90—99% и в среднем составляет 95%, или 0,1—0,01 г пыли на 1 м³ газа при запыленности газа, поступающего в электрофильтр, равной 1—2 г пыли на 1 м³. Колебания степени очистки газа обусловлены многими факторами. Наиболее существенными из них являются: несовершенство электрических приборов для питания фильтра (прерыватель, выпрямитель, катушка); значительные колебания влажности топлива и температуры среды; неравномерность процесса газификации, образование шлаковых гнезд, пустот и т. д. внутри активной зоны.

Для иллюстрации влияния величины коронного тока и температуры среды на качество очистки приведена диаграмма (рис. 3) испытаний электрофильтра на стенде с генератором ЗИС-31 (рис. 4). Топливом служил древесный ретортный уголь влажностью 6%. Отбор газа в течение испытаний поддерживали постоянным и равным 60 м³/час. Запыленность газа перед электрофильтром в среднем составляла 1,32 г пыли на 1 м³ газа.

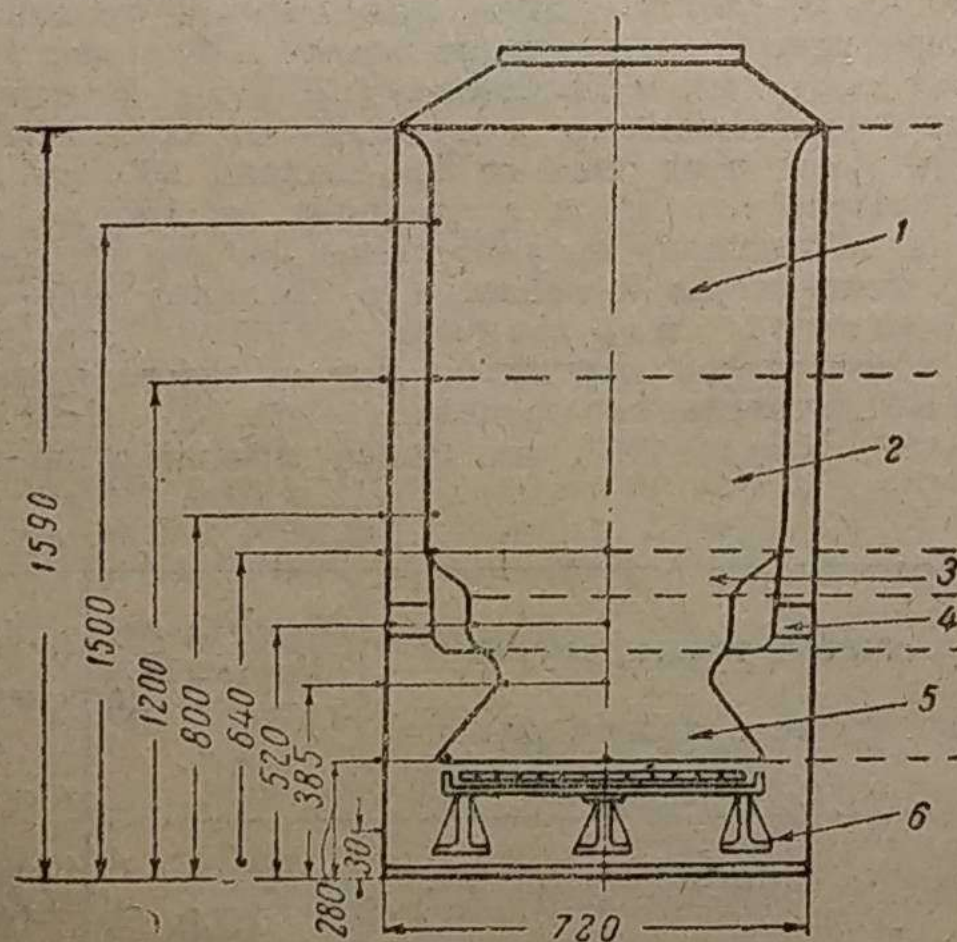
Проведенные стендовые испытания подтвердили возможность использования электрофильтра небольших размеров для очистки генераторного газа. В настоящее время начаты дорожные испытания электрофильтра на автомобиле.

Температурный режим в газогенераторе Г-25

Инж. И. И. Карасев

ЧТЗ

Процесс образования газа, а также подготовка топлива к газификации связаны с довольно сложными термохимическими процессами, заключающимися в удалении из топлива влаги, осуществлении процессов сухой перегонки, окислительных и восстановительных реакций. Схема расположения зон представлена на рис. 1.



1. Схема расположения зон в газогенераторе и расположение термодатчиков при измерении температур

1 — зона подсушки; 2 — зона сухой перегонки; 3 — зона обугливания; 4 — зона горения; 5 — восстановительная зона; 6 — зольник

В результате перечисленных процессов и соответствующих химических реакций образуется газ, горючей частью которого являются CO, H₂ и CH₄.

Отсутствие точных данных об этих процессах и сопровождающем их тепловом эффекте не позволяет оценить условия работы деталей и узлов газогенератора. Между тем необходимо было выяснить причины возникновения ряда дефектов (коробление и прогорание камеры газификации, колосниковой решетки и ее опоры, появление трещин в корпусе газогенератора и т. д.) и найти способы для их устранения. Поэтому на ЧТЗ были произведены замеры температур в разных точках работающего газогенератора Г-25.

Для проведения опытов был использован стандартный газогенератор Г-25 массового производства с алитированной камерой газификации, имеющей восемь фурм и отлитой из углеродистой стали.

Замер температуры производился по наружной поверхности корпуса газогенератора у стенок бункера и камеры, в центре камеры газификации, у дна корпуса газогенератора и крышки и в патрубке для отбора газа.

В процессе опытов газогенератор работал с полной нагрузкой. Топливом служили сосновые чурки размером 60 × 60 × 70 мм с абсолютной средней влажностью, равной 12%.

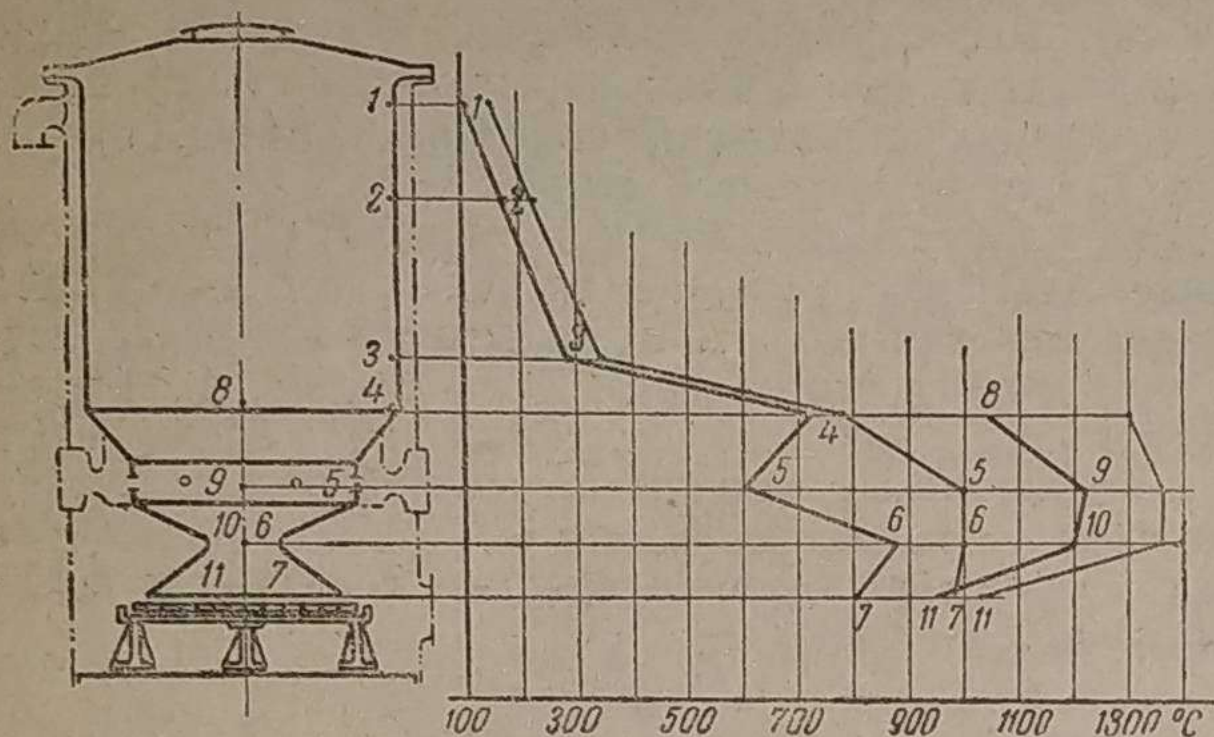
Температура внутри газогенератора и в патрубке для отбора газов замерялась термодатчиками, а у наружных стенок корпуса газогенератора — ртутными термометрами. Показания приборов фиксировались через каждые 5 мин. в течение всего периода работы газогенератора. Продолжительность каждого опыта определялась временем, необходимым для полного выжигания топлива в объеме одной загрузки бункера.

Газогенератор был установлен на открытом воздухе, температура которого равнялась 15°. Двигатель МГ-17, соединенный с газогенератором газопроводом длиной 11,3 м и диаметром 3,5", находился в помещении. Вся установка в отличие от работы ее на тракторе не подвергалась тряске, и фильтры-охладители вентилятором не обдувались.

Температура в камере газификации. Установлено, что наивысшая температура (1220°) находится в центре зоны горения, т. е. в горизонтальной плоскости оси фурм (точка 9, рис. 2). Такого уровня температура дости-

гает в промежутке между 20-й и 60-й минутами работы газогенератора. К концу выжиги чурок температура в точке 9 достигает 1360°. В этой же плоскости у фурм (точка 5) температура находится в пределах 620—1000°.

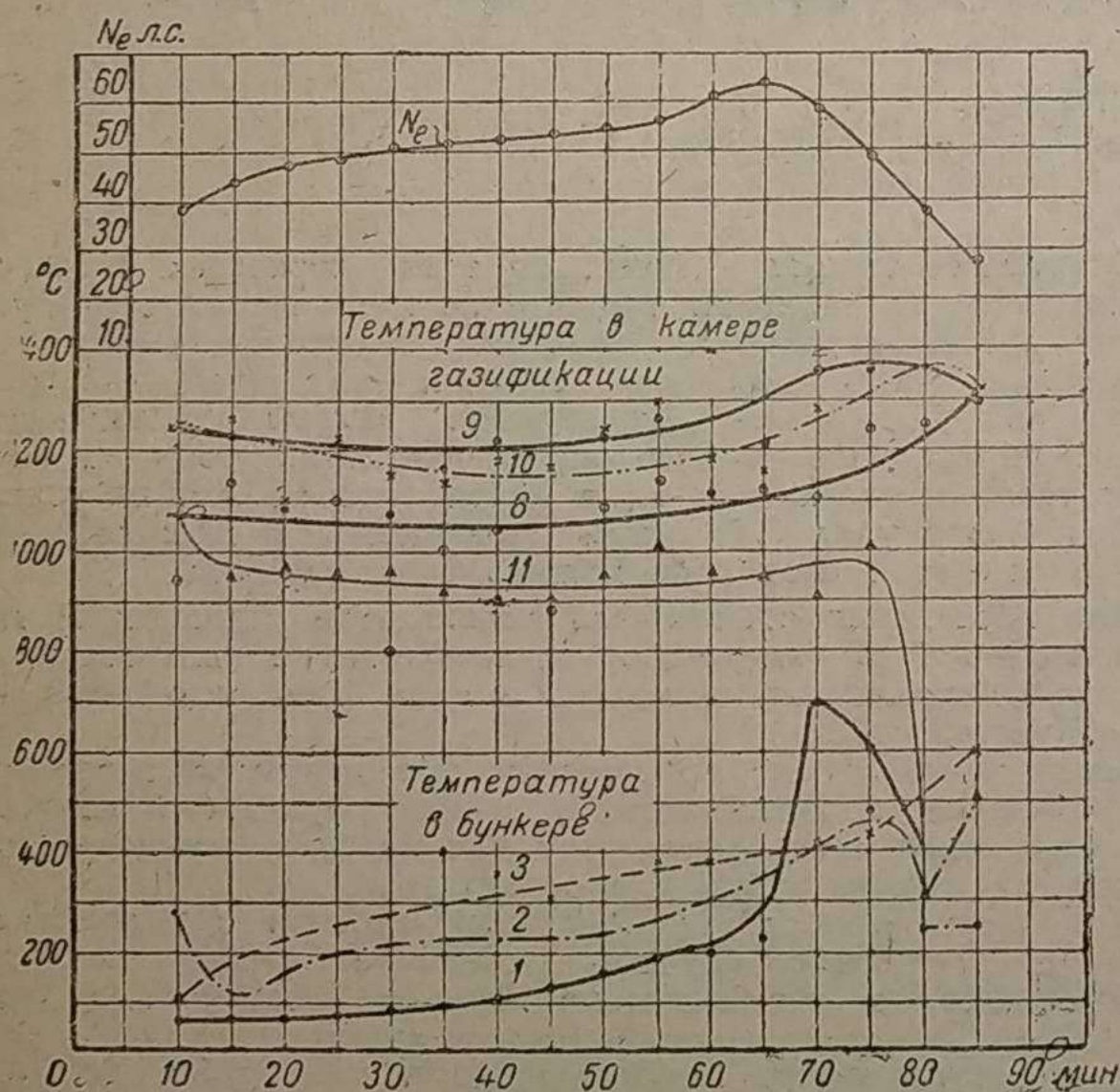
Температура в горловине камеры (точка 10) составляет 1200° и повышается к концу выжиги до 1360°. Температура газа при выходе его из зоны восстановления (точка 11) равна 950°. Выше оси фурм (точка 8) температура газа достигает 1050° и у стенок (точка 4) 700°.



2. Средние и максимальные температуры зон внутри газогенератора (1—11 — точки замера температур)

В течение всего периода работы газогенератора при одной загрузке его чурками, начиная от их розжига и кончая полным сжиганием в бункере, температура в различных точках камеры газификации имеет весьма резкий перепад: от 500 до 1360°.

В начале работы газогенератора температура повышается во всех точках камеры газификации (рис. 3). Это объясняет-



3. График температур внутри газогенератора (цифры 1, 2, 3, 8, 9, 10 и 11 соответствуют рис. 2)

ся тем, что газогенератор работает вначале за счет газификации древесного угля и подсушенных древесных чурок, оставшихся от прежней работы. Поэтому температура быстро повышается и распространяется по всем зонам камеры. В следующий период (от 15—20 мин.) начинается снижение кривых температур вследствие отбора тепла опустившимися из бункера чурками: тепло расходуется на подсушивание чурок и разложение водяных паров. Начиная с 55-й минуты работы газогенератора, температуры резко повышаются за счет окончательного выгорания полностью подсушенного топлива.

Некоторое колебание кривых температур объясняется зависанием чурок в камере при стационарной работе газогенератора и наличием термопар в центре камеры, что до некоторой степени препятствовало плавному опусканию топлива при его газификации в камере. Произведенные замеры позволяют считать установленным наличие следующих средних температур в различных точках камеры газификации:

Место замера	Температура, °C	
	в центре	у стенок
В зоне горения (по оси фурм)	1220	600
Выше оси фурм (на 120 мм)	1050	680
В горловине камеры	1200	880
В зоне восстановления	950	815

Зона максимальных температур (1200—1300°) располагается между плоскостями фурм и горловины и несколько ниже, что подтверждается практикой эксплуатации газогенераторов Г-25, у которых прогар в камере газификации образуется, главным образом, в горловине и выше — до оси фурм.

Значительный перепад температур во всей камере (цельнолитой) создает в ней большое термическое напряжение. Высокая разность температур, кроме того, усугубляется наличием воздушного пояса, в который входит холодный воздух, что особенно сказывается в зимнее время при открывании зольника, когда камера раскалена и т. п. Все это, надо полагать, и вызывает деформацию. Кроме того, особо неблагоприятно отражается подсосывание воздуха, имеющее следствием выгорание металла камеры.

Температуры в зонах горения и восстановления вполне обеспечивают нормальные условия газификации древесного топлива влажностью 18—20%, т. е. получение бессмольного генераторного газа необходимого химического состава.

Температура внутри бункера. Наибольшая температура, как и следовало ожидать, наблюдается в нижней части бункера (точка 3, рис. 2), где она колеблется в пределах 280—340°. Температура в бункере изменяется в зависимости от подсушивания топлива и постепенного его опускания. Средние величины температур даны в табл. 1, а температурные кривые — на рис. 2 и 3.

Таблица 1

Место замера температуры в бункере (у стенок)	Температура, °C		
	первый опыт	второй опыт	третий опыт
Верхняя часть	150	60	80
Средняя	220	150	140
Нижняя	300	250	250

Полученные результаты дают возможность условно установить следующие температурные зоны в бункере:

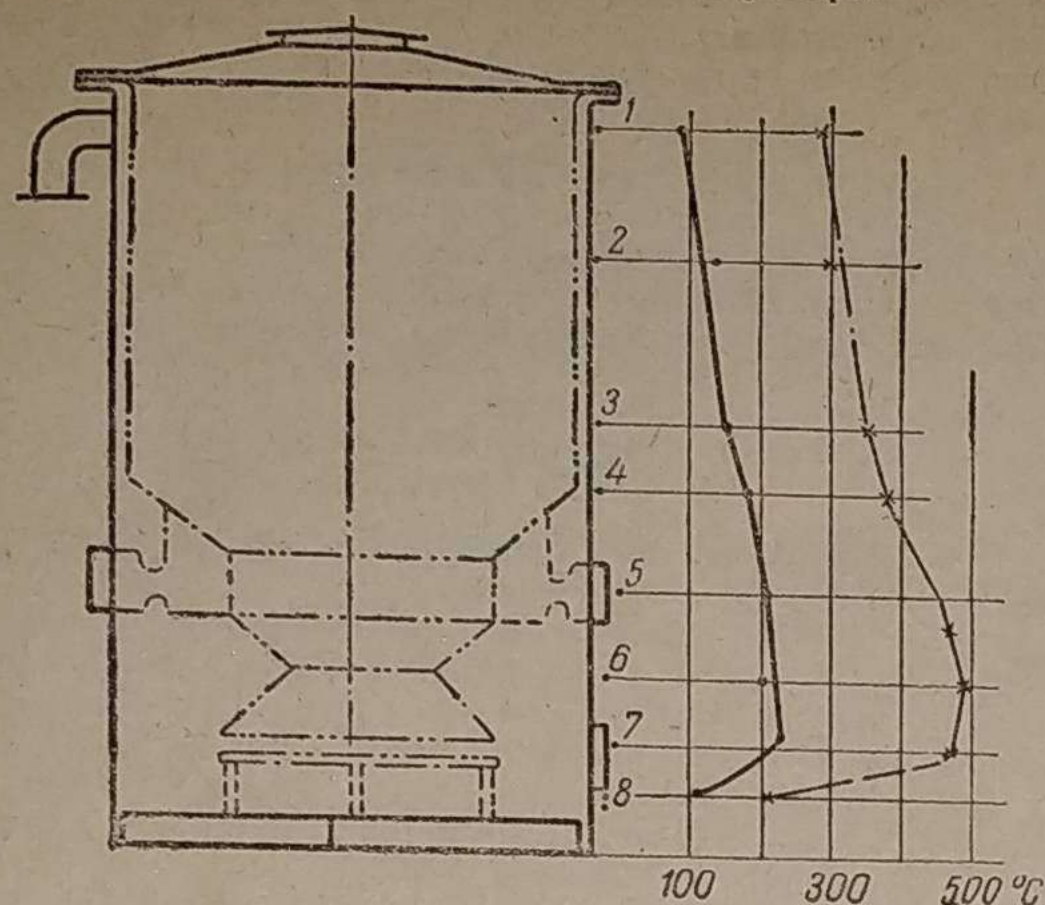
- 1) в зоне подсушки на расстоянии 300 мм от верха бункера температура находится в пределах от 60 до 150°;
- 2) в зоне сухой перегонки на протяжении 600 мм (по высоте) температура находится в пределах от 150 до 400°;
- 3) в зоне обугливания на расстоянии 380 мм от оси фурм (выше ее) температура колеблется в пределах 400—800°.

Температура наружных стенок газогенератора. Температура наружных стенок газогенератора колеблется в значительных пределах (табл. 2). Пояс максимальных температур (490°) находится против камеры газификации.

Таблица 2

Место замера температуры наружных стенок газогенератора	Высота от дна газогенератора мм	Температура °C
Верхняя часть корпуса	1500	86—293
Средняя	1200	125—291
Нижняя	800	160—350
Против верхней части камеры	640	181—380
По оси фурм	520	206—460
„ „ горловины камеры	385	190—490
По нижней кромке камеры	280	242—470
На 30 мм от дна корпуса	30	104—190
Дно газогенератора	—	31—126
Крышка	—	50—200

фикации (рис. 4). Замечено, что температура дна корпуса зависит от наличия в зольнике золы; чем больше слой золы, тем ниже температура дна газогенератора.



4. Средняя и максимальная температуры наружных стенок газогенератора

Неравномерный нагрев поверхности газогенератора создает напряжение в его корпусе. Вследствие этого возможно появление трещин и нарушение герметичности в сварных швах. Высокая температура стенок в нижней части газогенератора (от 200 до 500°), безусловно, опасна в пожарном отношении,

когда газогенераторный трактор используют при уборке урожая. Опускание чурок в бункере по мере их выгорания вызывает сильное повышение температуры стенок. Например, в поясе камеры температура повышается при выжигании чурок с 200 до 500°.

При очистке зольника на днище необходимо оставлять слой золы толщиной 5—7 мм, что обеспечивает снижение температуры днища и предохраняет его от коробления.

Общие выводы о работе газогенератора. Газогенератор Г-25 обеспечивает нормальное протекание процесса газификации древесного топлива.

Газ, выходящий из зоны восстановления с температурой 850—900°, проходя между стенками бункера и корпусом газогенератора, быстро охлаждается до 300—350°.

Полученные результаты дают представление об условиях работы деталей газогенератора и могут служить исходным материалом для устранения производственных и конструктивных недостатков деталей и узлов. Произведенные замеры позволили также определить с точностью, достаточной для практических целей, места высоких температур и термических напряжений, так называемых опасных зон. Благодаря этому можно установить требования к качеству деталей, к выполнению разных производственных операций, особо обратив внимание на необходимость усиления контроля за выполнением сварочных работ.

ОТ РЕДАКЦИИ

Помещая статью инж. Карасева, редакция отмечает неудовлетворительность выводов в отношении технических путей повышения стойкости отдельных деталей газогенератора и, в первую очередь, камеры газификации.

Редакция обращается к работникам ЗИС, ГАЗ, ЧТЗ и ХТЗ с просьбой поделиться на страницах журнала своим опытом по повышению надежности работы газогенераторных установок.

О соответствии газогенератора двигателю

Доц. Б. М. Черномордик

Вопрос о соответствии газогенератора двигателю чрезвычайно важен, но, к сожалению, еще недостаточно полно разработан. Обычно при расчете газогенератора в настоящее время устанавливают его производительность по двигателю. Количество рабочей смеси, засосанной четырехтактным двигателем в течение часа, равно, как известно:

$$Q_{см} = 0,03 V_h \cdot i \cdot \eta_v \cdot n, \quad (1)$$

где V_h — рабочий объем цилиндра в л;

i — число цилиндров;

η_v — коэффициент подачи;

n — число оборотов коленчатого вала в минуту.

Рабочая смесь состоит из генераторного газа Q_2 , воздуха $\alpha L_0 Q_2$ и некоторого количества водяных паров ωQ_2 , содержащихся в газе, где Q_2 — количество генераторного газа в м³/час; α — коэффициент избытка воздуха; L_0 — теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 м³ газа; ω равно отношению $\frac{Q_n}{Q_2}$, где Q_n — объем водяных паров.

Итак,

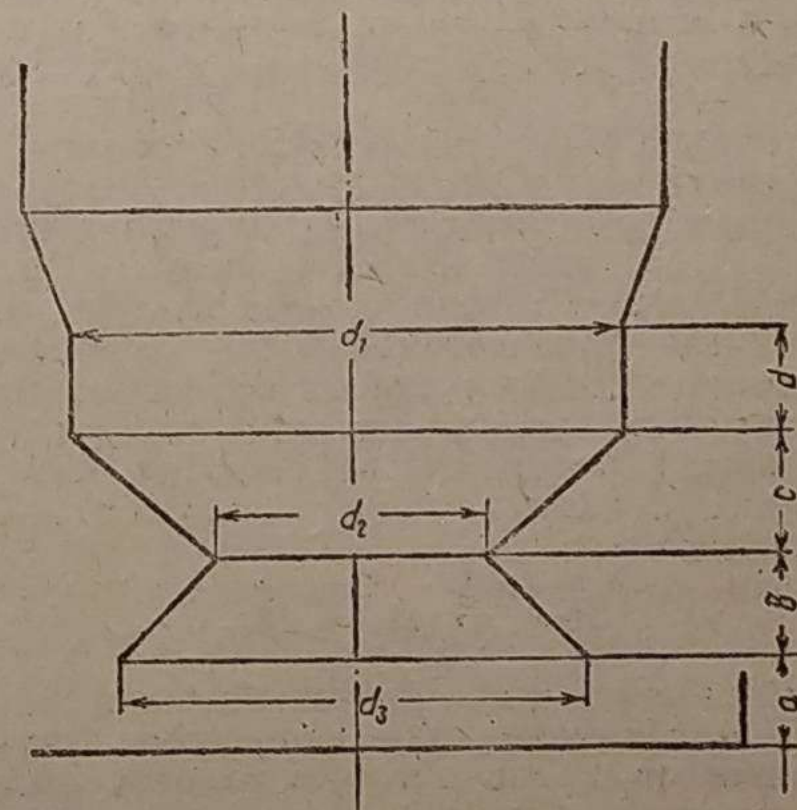
$$Q_{см} = Q_2 + \alpha L_0 Q_2 + \omega Q_2,$$

откуда

$$Q_2 = \frac{Q_{см}}{1 + \alpha L_0 + \omega} \text{ м}^3/\text{час}. \quad (2)$$

Таким образом, зная число оборотов коленчатого вала и рабочий объем цилиндров двигателя, можно найти нужную производительность газогенератора. Однако соответствует ли данный газогенератор двигателю? Является ли данная интенсивность отбора газа для газогенератора оптимальной? На эти вопросы приведенный расчет ответа, конечно, дать не может. Интересный материал о соответствии газогенератора двигателю имеется в книге Кюне и Кох „Испытание автомобильных газогенераторов“. Четырехтактный двигатель

Кемпер со степенью сжатия $\epsilon = 5,17$, с рабочим объемом $V_h = 6,08$ л и числом цилиндров $i = 4$ был испытан с тремя газогенераторами типа Имберт-Берлие. Газогенераторы отличались между собой различными размерами камер газификации (рис. 1, табл. 1). Испытания показали, что внешние



1.

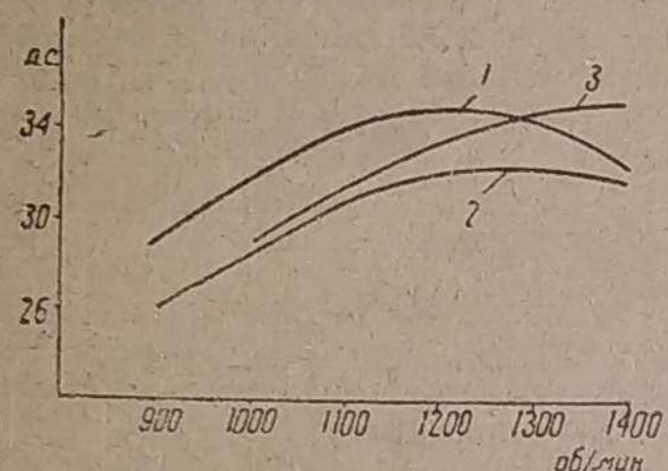
характеристики двигателя, полученные по разным газогенераторам, не совпадают. Например, при 1200 об/мин полученная мощность колебалась от 32,2 до 35,1 л. с. При увеличении числа оборотов в одном случае наблюдалось дальнейшее нарастание мощности, а в другом — мощность снижалась (рис. 2). Исходя из этого, Кюне и Кох совершенно

Таблица 1

Тип газогенератора	Размеры элементов газогенератора, мм						
	a	b	c	d	d ₁	d ₂	d ₃
1	155	100	50	100	300	150	295
2	60	115	145	100	400	190	345
3	105	140	115	100	410	200	360

правильно поставили вопрос о необходимости надлежащего подбора газогенератора, соответствующего двигателю, но ограничились самым поверхностным анализом своих опытов.

Для того чтобы получить возможность несколько глубже подойти к вопросу о соответствии газогенератора двигателю, рассмотрим, какие параметры определяют собой характер процесса газификации.



2. —————

зультате восстановления углекислоты по реакции $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$.

Организация процесса горения не представляет никаких трудностей. Поэтому все усилия конструкторов всегда были направлены на обеспечение дальнейших восстановительных реакций, без которых генераторный процесс терял свой технический смысл. Однако работу так называемых „скоростных“ газогенераторов, не имеющих зоны восстановления, нельзя было объяснить, основываясь на редуцированной теории. Первичная теория, по которой первичным продуктом горения углерода является окись углерода, а углекислота может появиться только в результате реакции $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$, тоже не дает полного объяснения процесса горения. Все большее число приверженцев завоевывает комплексная теория горения углерода. По этой теории первичным продуктом горения является сложный углекислородный комплекс, возникающий на поверхности топлива. Этот комплекс в дальнейшем распадается на CO и CO_2 , соотношение которых зависит как от внешних условий (температура, давление и т. д.), так и от физико-химических свойств самого топлива. Условия, определяющие ход реакции соединения углерода с кислородом, чрезвычайно многообразны. Влияния температуры и вторичных реакций переплетаются с целым рядом физических процессов: диффузией, конвекцией и теплоотдачей.

Какие же параметры характеризуют условия протекания процесса горения?

Из всех параметров особенно часто встречается в технической литературе понятие интенсивности отбора газа Q м³/час. Эту величину можно определить путем вышеприведенного расчета производительности газогенератора по двигателю. Величина, эквивалентная интенсивности отбора — часовой расход топлива G кг/час, применяется при расчете бункера и площади колосниковой решетки или зеркала горения. Величина G входит в другой параметр — напряженность зеркала горения:

$$R = \frac{G}{F} \text{ кг/м}^2 \text{ час,} \quad (3)$$

где F — площадь камеры газификации в плоскости фурм в м².

Так как процесс газификации состоит из двух этапов — диффузии реагентов сквозь газовую пленку, покрывающую поверхность топлива, и химического взаимодействия углерода с кислородом, то скорость процесса складывается из скоростей диффузии и химической реакции. Поэтому в числе параметров, влияющих на процесс, особую роль играет скорость прохождения газовых масс через слой топлива W , определяющая гидродинамическую сторону процесса. Эту скорость можно вычислить по формуле:

$$W = \frac{Q}{3600 F_{\text{ом}}} \text{ м/сек,} \quad (4)$$

где $F_{\text{ом}}$ — площадь сечения, относительно которого определяется скорость, в м²;

μ — коэффициент свободного пространства.

$$\mu = 1 - \frac{B}{\gamma}, \quad (5)$$

где B — насыпной вес топлива в кг/м³;

γ — удельный вес топлива в кг/м³.

Кроме перечисленных параметров, большое значение имеют объемное напряжение активной зоны β кг/м³ сек и величина, производная от β , — тепловое напряжение камеры:

$$\alpha = \frac{G h_u (1 - \eta_z) \zeta}{V_k \cdot 3600} \text{ кал/м}^3 \text{ сек,} \quad (6)$$

где h_u — теплотворная способность топлива в кал/кг;

η_z — к. п. д. газогенератора;

V_k — объем камеры или активной зоны в м³;

ζ — коэффициент полноты сгорания, учитывающий потери в камере газификации.

Параметром, обратным скорости W прохождения газовых масс сквозь слой топлива, является время контакта газовых масс с топливом τ сек. Сочетание перечисленных параметров в известной мере определяет собой условия протекания процесса газификации.

Интересно отметить, что геометрическое подобие активных зон не определяет собой подобия процессов газификации, что нетрудно доказать следующими соотношениями.

Допустим, что мы имеем две цилиндрические геометрически подобные камеры, у которых отношение

$$\frac{H}{h} = \frac{D}{d} = n,$$

где H и h — высоты активных зон, а

D и d — их диаметры. Отношение различных параметров этих геометрически подобных камер при соблюдении равенства одного из них приведено в табл. 2.

Таблица 2

Отношение параметров	$\frac{G_1}{G_2}$	$\frac{R_1}{R_2}$	$\frac{\beta_1}{\beta_2}$	$\frac{\tau_1}{\tau_2}$	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{Q_1}{Q_2}$
	Постоянные					
G кг/час	1	$1/n^2$	$1/n^3$	n^3	$1/n^2$	1
R кг/м ² час	n^2	1	$1/n$	n	1	n^2
β кг/м ³ сек	n^3	n	1	1	n	n^3
τ сек	n^3	n	1	1	n	n^3
W м/сек	n^2	1	$1/n$	n	1	n^2

Из табл. 2 видно, что при изменении размеров активной зоны отношение параметров не всегда остается равным отношению соответствующих размеров камер газификации. Так, если сохранить отбор газа постоянным и изменить геометрические размеры камеры пропорционально n , то отношение объемных напряжений будет равно $\frac{1}{n^3}$, отношение напряжений зеркал горения $\frac{1}{n^2}$ и т. д.

Как и двигатель, каждый газогенератор имеет свою характеристику, которая может быть представлена в виде зависимости:

$$\lambda = f(Q), \quad (7)$$

где λ — величина, определяющая качество газа, например, теплотворная способность газа, или отношение горючих его компонентов к негорючим;

Q — интенсивность отбора газа.

С увеличением интенсивности отбора растет часовой расход топлива в генераторе, следовательно, растет объемное напряжение активной зоны:

$$\beta = \frac{G}{V_{\text{ак}} 3600} \text{ кг/м}^3 \text{ сек.} \quad (8)$$

Растет и тепловое напряжение камеры — величина, эквивалентная β :

$$\alpha = \beta h_u (1 - \eta_z) \zeta.$$

Однако с увеличением интенсивности отбора тепловое напряжение камеры растет не прямо пропорционально β , а несколько медленнее, так как до некоторого предела одновременно с β растет и к. п. д. газогенератора. С увеличением теплового напряжения растет и количество тепла, выделившееся в активной зоне в единицу времени:

$$q_0 = \alpha V_{ак} 3600 \text{ кал/час.} \quad (9)$$

Выделившееся тепло является избыточным членом теплового баланса газогенератора — итогом всех экзотермических и эндотермических реакций процесса газификации и может быть передано окружающей среде путем теплоотдачи или перейти в физическое тепло газа, отводимого из генератора. Таким образом:

$$q_0 = q_1 + q_2, \quad (10)$$

где q_1 — тепло, отданное через стенки камеры;
 q_2 — физическое тепло газа.

С увеличением интенсивности отбора теплоотдача растет медленнее, чем физическое тепло газа и его температура. Интенсивность отбора, а следовательно, и скорость движения газа в слое топлива W ускоряют процесс газификации. Одновременно увеличивающаяся средняя температура активной зоны повышает до некоторого предела отношение $\frac{CO}{CO_2}$. Однако при газификации битуминозных топлив нужно помнить о скорости процесса сгорания и разложения смол. При чрезмерном увеличении отбора газа возможно, что смолы не будут успевать сгорать.

Таким образом при увеличении интенсивности отбора количество газа будет постепенно улучшаться и достигнет некоторого оптимального значения. Чем больше величина объемного напряжения β , тем скорее достигается максимум кривой $\lambda = f(Q)$.

Однако, помимо увеличения содержания CO, с повышением интенсивности отбора растет и сопротивление газогенератора. Сочетание кривых $\lambda = f(Q)$ и $h = f'(Q)$, где h — сопротивление газогенератора, и определяет внешнюю характеристику двигателя, работающего на генераторном газе.

Положение максимума на внешней характеристике двигателя является результатом борьбы этих двух факторов, оказывающих противоположное влияние на величину индикаторной работы агрегата. Таким образом условия соответствия газогенератора двигателю заключаются в том, чтобы: 1) максимум кривой $\lambda = f(Q)$ находился в зоне рабочих оборотов двигателя и 2) величина h в зоне тех же оборотов не превышала норм, установленных практикой эксплуатации.

Характеристика типа $\lambda = f(Q)$ является необходимым средством для изучения данного агрегата, но имеет тот органический недостаток, что результаты ее нельзя обобщить. Полученная кривая отражает только индивидуальные особенности данной конструкции и не может быть произвольно перенесена на другой генератор. Методика построения обобщающих характеристик процесса газификации, которые дали бы возможность произвести аналитический расчет газогенератора любой конструкции, еще не разработана и должна быть предметом дальнейших исследований.

Зависимость износа топливных насосов от топлива

Инж. М. А. Якоби

Изнашиваемость топливных насосов дизельмоторов изучена еще мало. Теоретически износы пар плунжер-гильза этих насосов должны быть невелики, так как само топливо является смазочным материалом и при надлежащем его качестве (вязкость, незасоренность и пр.) должно хорошо смазывать трущиеся поверхности. Между тем в эксплуатации наблюдаются повышенные износы топливной аппаратуры, нередко достигающие значительных величин.

На Челябинском тракторном заводе были проведены специальные испытания топливной аппаратуры, основной целью которых был выбор вязкости дизельного топлива. Для этого использовали следующие основные сорта дизельного топлива: дизельное топливо вязкостью $E_{20} = 1,4$ и выкипанием 74% до 300°, дизельное топливо вязкостью $E_{20} = 1,8$ и выкипанием 55% до 300° и стандартное соляровое масло вязкостью примерно $E_{20} = 3,5$. Аппаратуру испытывали на тракторах ЧТЗ-С65 в полевых условиях и на безмоторных установках в лаборатории.

Полевые испытания прошли шесть тракторов, причем на каждом сорте топлива работали два трактора. Смазкой для всех двигателей служило дизельное масло марки «летнее».

Испытаниям на безмоторных установках подвергались 15 комплектов топливной аппаратуры — по три комплекта на каждом сорте топлива. Испытывались пять сортов топлива, в число которых, кроме указанных основных, входили еще топлива вязкостью $E_{20} = 1,2$ и $E_{20} = 2,2$.

Перед началом полевых и безмоторных испытаний производился отбор топливной аппаратуры, а также проверка и регулировка ее на испытуемом и эталонном топливах. В качестве эталонного топлива было принято топливо вязкостью $E_{20} = 1,8$.

Перед отправкой тракторов в поле двигатели с установленной на них топливной аппаратурой подвергались тормозным испытаниям на испытуемом и эталонном топливе. Кроме того, данная топливная аппаратура проходила аналогичные испытания на эталонном двигателе. Также испытывались на эталонном двигателе девять комплектов топливной аппаратуры, предназначенных для исследований на безмоторных установках на трех основных сортах топлива.

Контрольные тормозные испытания двигателей и лабораторная проверка топливной аппаратуры производились в середине и по окончании полевых и безмоторных испытаний. Промежуточные и конечные контрольные испытания осуществлялись как с испытывавшимися, так и с эталонными форсунками, чтобы исключить влияние форсунок на показатели изменения работы топливных насосов.

На безмоторных установках топливную аппаратуру испытывали в течение 2000 рабочих часов. Установки работали в лабораторных условиях в закрытом помещении. Продолжительность полевых испытаний тракторов составляла 1000 рабочих часов и охватывала период с конца июля до конца октября. В июле-августе температу-