

52 34
R 95

И. Г. КУТЕВ

СУДОВЫЕ
ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ
УСТАНОВКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ»
1939

Настоящая работа является учебным пособием для речных техникумов по судовым газогенераторным установкам.

В этой работе подробно приводится описание теории газогенераторного процесса, конструктивный расчет газогенератора, описание судовых газогенераторных установок и перевод двигателей внутреннего сгорания с жидкого топлива на генераторный газ.



ПРЕДИСЛОВИЕ

Издание учебного пособия „Судовые газогенераторные установки“ совпадает с реализацией постановления СНК СССР и ЦК ВКП(б) и тезисами тов. Молотова на XVIII съезде ВКП(б) о внедрении газогенераторных установок на речных судах.

В связи с широким внедрением газогенераторов возникает необходимость в подготовке десятков тысяч работников для обслуживания этих недостаточно еще изученных установок.

Так как учебников по газогенераторному делу нет, предназначенных для среднего технического персонала, я сделал попытку систематизировать имеющиеся материалы таким образом, чтобы техники или молодые инженеры могли пользоваться ими как учебным пособием.

С этой целью я старался изложить с исчерпывающей полнотой теорию газогенераторного процесса, теоретический и конструктивный расчет газогенератора и элементы проектирования газогенераторных установок, исходя из того, что эти сведения являются твердой основой для понимания всех деталей газогенераторного дела.

Вопросам ухода за газогенераторными установками уделено немного места, потому что установившихся навыков в этой сравнительно молодой еще области техники нет, а, кроме того, вопросы ухода должны быть исчерпывающим образом изложены в инструкциях, составляемых заводами-изготовителями установок.

Точно также я детально не излагал вопросов эксплоатации, полагая, что они индивидуальны для различных установок и что они усваиваются на местах одновременно с усвоением техники дела.

Зато я более подробно остановился на методике испытаний газогенераторных установок как в лаборатории, так и в производственных условиях для того, чтобы молодые кадры могли легко справляться с технической приемкой новых или вышедших из ремонта установок, предъявляя им совершенно точные технические требования.

Наряду с этим я привел описание значительного количества действующих на водном транспорте лучших образцов генераторных установок отечественного производства для того, чтобы учащиеся могли

видеть в них различные примеры конструктивного оформления технических задач, комплексное решение которых составляет газогенераторную установку.

Не допуская мысли о том, чтобы первая попытка составить систематически изложенное стройное учебное пособие обошлась без недочетов, погрешностей и упущений, я прошу читателей прислать мне (Ленинград, 83, Б. Спасская, д. 1/2, кв. 71) свои указания, за которые я буду очень благодарен.

Инж. И. Г. Кутев

Глава I

ВОЗНИКНОВЕНИЕ, НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Введение

Идея преобразования твердых топлив в горючие газы давно уже занимала умы соответствующих технических кругов. Еще в средние века наблюдали, что при ограничении доступа воздуха под угольный слой твердого топлива получается газ, который может быть сожжен в момент своего выхода из топлива при помощи подвода к нему атмосферного воздуха, однако практического вывода из этого наблюдения никто не сделал.

Лишь около середины прошлого столетия (1837 — 1840 г.г.) было осуществлено такое устройство, при помощи которого можно было использовать газ, смотря по потребности производства и этим было положено начало прикладного применения идеи газификации твердых топлив сперва в металлургической, а затем и в других промышленностях.

Первые попытки применения газогенератора для силовых установок были сделаны в начале 90-х годов прошлого века в Англии, а десять лет спустя все промышленные страны Европы стали строить стационарные газогенераторные установки и газогенераторные двигатели.

Почти одновременно с развитием и ростом быстроходных транспортных двигателей, в странах, не имевших собственных источников жидкого топлива, нарастала и ширилась нужда в газификации твердых топлив для снабжения автомобилей и впоследствии тракторов. Первые слабые опыты в генераторостроении были предприняты Италией еще до империалистической войны, а уже во время войны министерства Франции и Англии, в силу военных и экономических причин, дали сильный толчок развитию исследовательского дела в этой области техники, а после войны в этих и других европейских странах стали строить газогенераторы для автобусов, грузовиков и отчасти для легковых автомобилей в промышленном масштабе.

Преимущества транспортных газогенераторных силовых установок перед прочими другими энергетическими транспортными установками в нашей стране с широко разбросанными несметными топливными богатствами всемерно изучены и в настоящее время у нас строится много газогенераторных установок с целью

использования местных топливных ресурсов для питания индивидуальных, стационарных и транспортных силовых установок.

С 1936 г. Наркомвод и Наркомлес приступили к серийному изготовлению и внедрению газогенераторных установок на речных судах мощностью в 60 и 120 л. с., которые описаны в главе V этого учебного пособия.

§ 1. Сущность газогенераторного процесса

Сущностью газогенераторного процесса является превращение твердого или жидкого топлива в газообразное с помощью содержащегося в воздухе кислорода и водяного пара.

Полученный таким путем газ может быть использован в самых разнообразных промышленностях народного хозяйства (металлургической, стекольной, керамической и др.) и для получения механической энергии.

В данном пособии генераторный газ интересует нас только как тот вид топлива, который с успехом заменяет в двигателях внутреннего сгорания жидкие виды топлива (нефть, керосин, бензин, лигроин и проч.).

Превращение твердого топлива в газообразное производится в так называемых газогенераторах двух основных типов:

1. Газогенераторы прямого процесса.
2. Газогенераторы обращенного процесса.

Газогенераторы, в которых вырабатывается газ для двигателей внутреннего сгорания, называются силовыми газогенераторами, а получаемый газ называется силовым газом.

На автомобилях, тракторах и газоходах наибольшая часть газогенераторов работает по обращенному процессу на древесине различной породы и на угле. Незначительная часть газогенераторов работает по прямому процессу на топливах, не содержащих смолы, как-то: хорошо выжженный древесный уголь, кокс и антрацит.

В стационарных силовых газогенераторах при газификации топлив, содержащих смолу (древесина, торф и др.), применяют и обращенный и прямой процесс. В последнем случае для очистки газа устанавливается, кроме скруббера и сухого очистителя, также и смелоотделитель.

Нашему рассмотрению подлежат силовые газогенераторы, т. е. газогенераторы, вырабатывающие газ для двигателей внутреннего сгорания.

§ 2. Устройство газогенераторов прямого процесса

Примерный тип антрацитового газогенератора приведен на рис. 1.

Газогенератор состоит из железного цилиндра 1, выложенного внутри оgneупорными кирпичами 2 и отделенных от стенок

цилиндра изоляционным слоем 3. Изоляционный слой 3 прокладывается для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду.

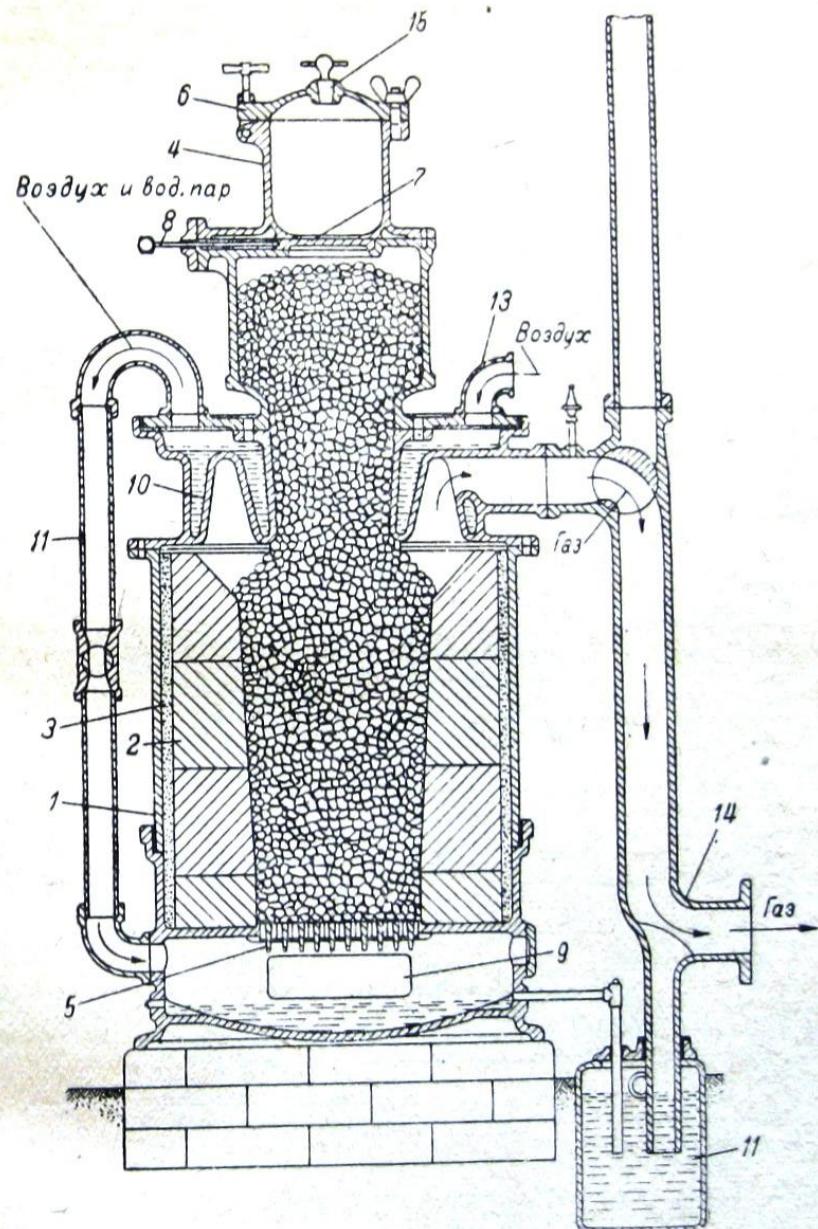


Рис. 1. Примерный тип антрацитового газогенератора прямого процесса.

Уголь подается через воронку 4 во внутрь газогенератора и размещается на колосниках 5. Колосники 5 удерживают антрацит от попадания в зольник и дают возможность проходить

воздуху равномерно по всему сечению топливного слоя. Благодаря двойному затвору загрузочной воронки, газогенератор можно свободно загружать во время работы без влияния на мощность двигателя. Загрузка топлива в газогенератор производится следующим образом. Антрацит, предварительно засыпанный между

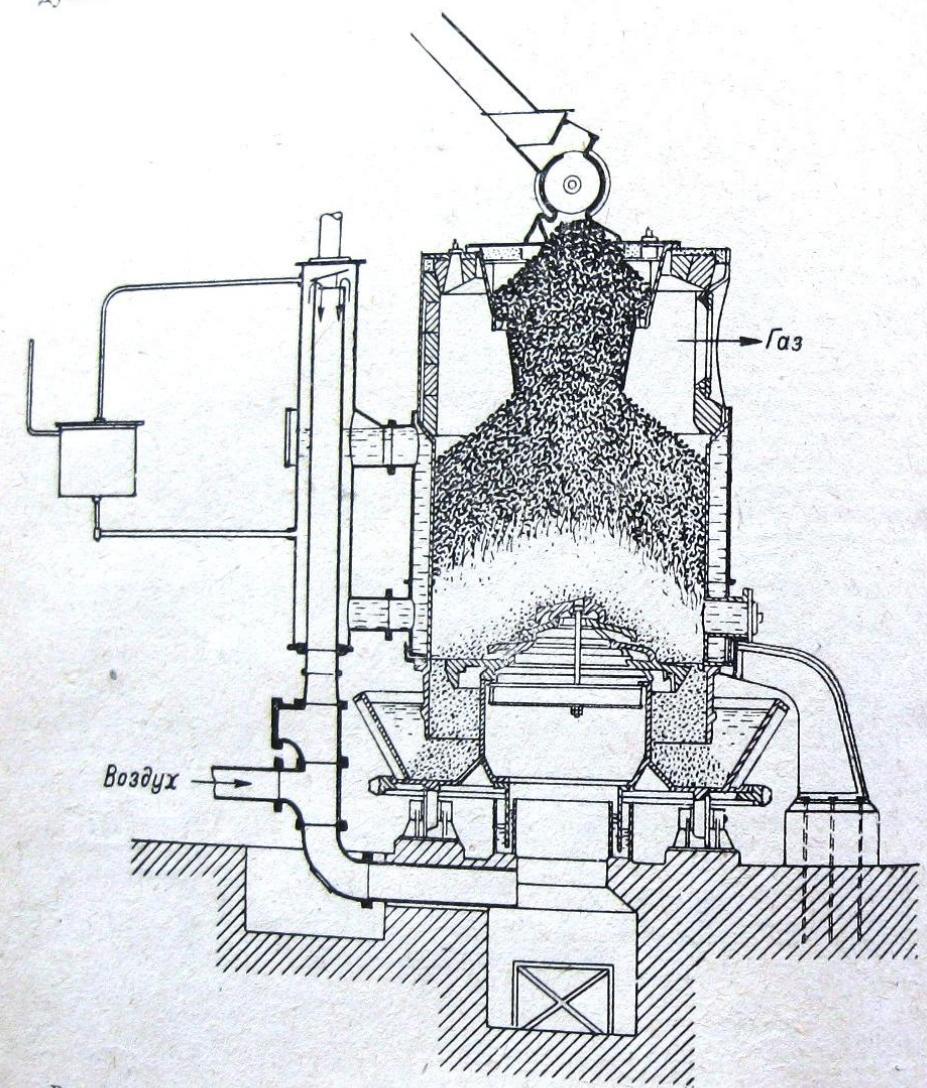


Рис. 2. Каменоугольный газогенератор с водяным охлаждением шахты.

две крышками воронки, попадает в газогенератор, когда верхняя крышка 6 герметически закрыта, а нижняя крышка 7 открывается посредством рычага 8. В нижней части газогенератора на уровне колосников и в зольнике имеются по одной дверце 9, которые служат для прочистки колосников и зольника от шлака и золы. Во время работы дверцы 9 обычно закрыты. Однако имеется

возможность открывать их и очищать колосники и зольник от шлака и золы во время работы, без нарушения режима двигателя. В верхней части газогенератора имеется испаритель 10, в который поступает вода из специального бака или водопроводной сети. При

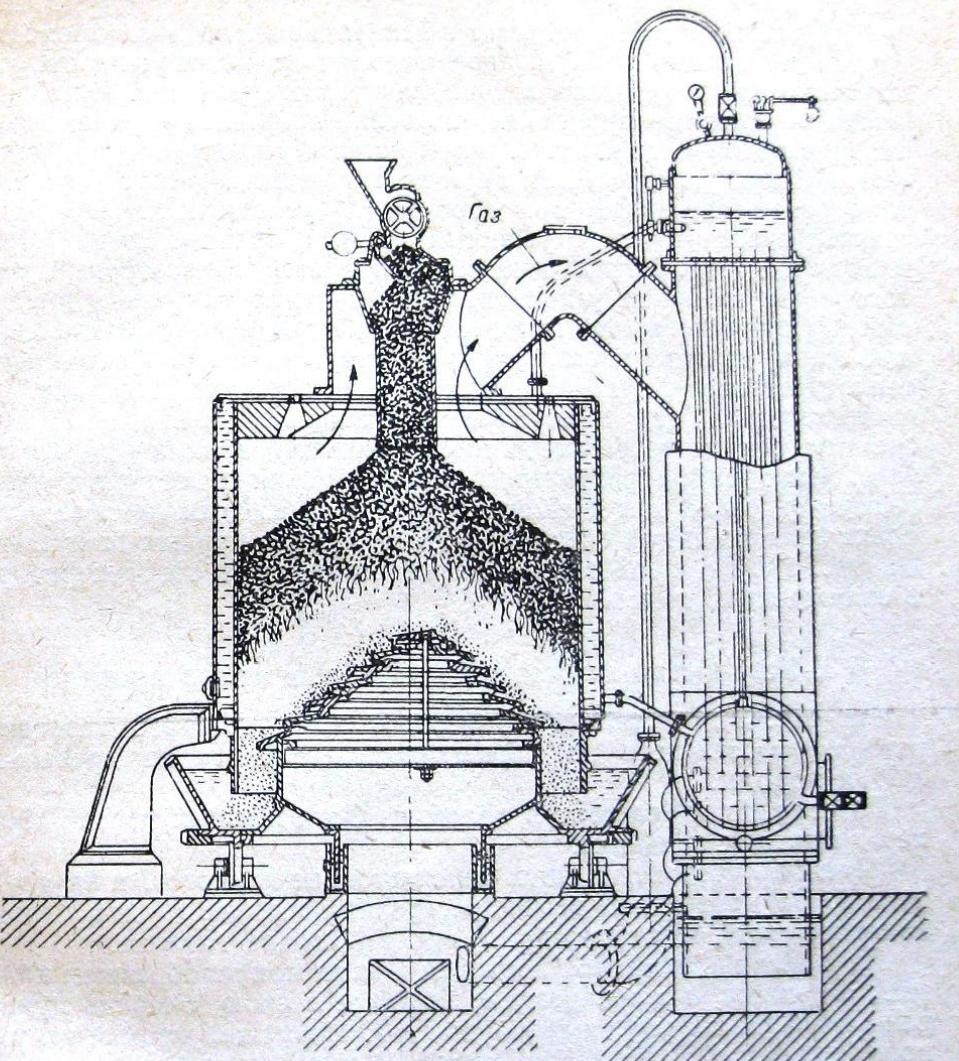


Рис. 2-а. Каменоугольный газогенератор с водяным охлаждением шахты.

выходе своем из газогенератора газы омывают испаритель 10, отдавая свою физическую теплоту для образования водяного пара. Образуемый водяной пар вместе с воздухом подводятся по трубопроводу 11 под колосники и далее в топливник газогенератора.

Кроме перечисленных деталей газогенератор содержит еще воздухоподводящий патрубок 13, газоотводящий патрубок 14, пробку 15 для шуровочного отверстия и водяной затвор 11.

Схема действия газогенератора. Топливо, загруженное в газогенератор, опускается вниз по мере сгорания его в топливнике.

Воздух по трубе поступает в испаритель, в котором проходит над поверхностью воды и, перемешиваясь с водяным паром, поступает через колосники в топливник газогенератора. В нижней части топливника происходит сгорание антрацита в углекислый газ и в водяные пары, т. е. получаются негорючие газы. Поднимаясь выше, углекислота и пары воды соприкасаются с раскаленным слоем антрацита, при этом часть углекислоты (CO_2) восстанавливается в окись углерода (CO), а водяные пары (H_2O) в водород (H_2). Таким образом получается генераторный газ, состоящий из окиси углерода, водорода, углекислоты и других газов. Поднимаясь еще выше, газ будет подогревать вышележащие слои топлива и омывать испаритель, отдавая физическую теплоту (теплоту нагрева) для образования водяного пара. Из газогенератора газ поступает в охладительно-очистительную систему, откуда через смеситель всасывается в цилиндры двигателя. Само собой разумеется, что поступление воздуха в газогенератор, равно как движение его и газа во всей системе установки происходит за счет всасывающего хода поршня двигателя. На рис. 2 и 2-а представлены каменноугольные газогенераторы с охлаждением шахты.

§ 3. Устройство газогенератора обращенного процесса

На рис. 3 представлен примерный тип древесного газогенератора, работающего по обращенному процессу на древесине любой породы.

Газогенератор состоит в целом из 3-х основных частей: бункера, шахты и зольника.

Бункер состоит из двух цилиндров, наружного 1 и внутреннего 2. Во внутреннем цилиндре сделаны вырезы 19 для отбора водяного пара, выделяющегося при подогреве топлива.

Внутренний цилиндр 2 приварен к двум конусообразным кольцам, верхнему 3 и нижнему 4, которые в свою очередь приварены к наружному цилинду бункера 1. К верхней кромке наружного цилиндра 1 приварен конус 5 с кольцом 6, к которому крепится крышка загрузочного люка 7, служащая для загрузки топлива. В наружный цилиндр бункера вварен патрубок 8 для отвода воды, конденсирующейся в пространстве между цилиндром 1 и 2.

В целях крепления бункера с шахтой в нижней части внешнего цилиндра бункера 1 приварен фланец из углового железа. Для направления движения топлива из бункера в шахту служит конус 11.

10

Шахта. Внешний цилиндр кожуха шахты 10 и рубашка 13 изготовлены из листового железа.

Рубашка 13 имеет цилиндрическую форму, в верхней и нижней части ее приварено по конусному фланцу 14 и 15, которые

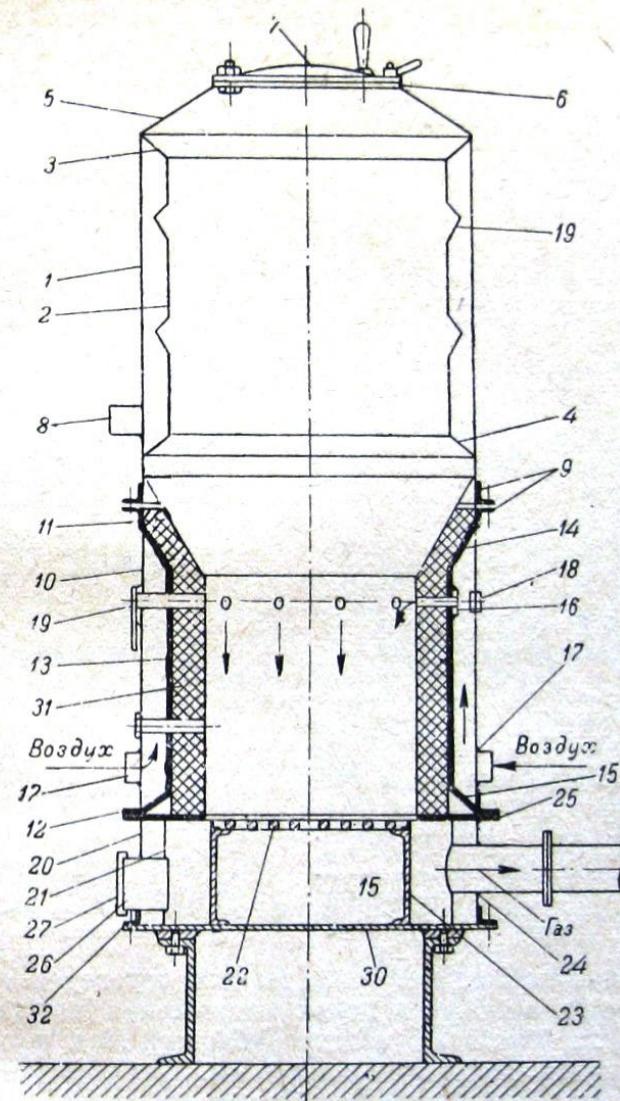


Рис. 3. Примерный тип древесного газогенератора обращенного процесса.

в свою очередь приварены к кожуху шахты 10, образуя герметическую полость между кожухом 10 и рубашкой шахты 13. К рубашке 13 приварено восемь фурм 16, которые служат для подвода воздуха в топливник газогенератора. С внешней стороны кожуха шахты 10 приварены два патрубка 17, служащие для

подвода воздуха в генератор и восемь гаек 18, в которые ввернуты пробки в целях периодического наблюдения за состоянием фурм 16.

Кроме того, на поверхности кожуха шахты приварен штуцер 19, проходящий через рубашку 13 и служащий для розжига генератора и для наблюдения за высотой активной зоны.

Футеровка шахты 31 выкладывается из стандартного шамотного кирпича на железном диске 25 толщиной в 4 мм.

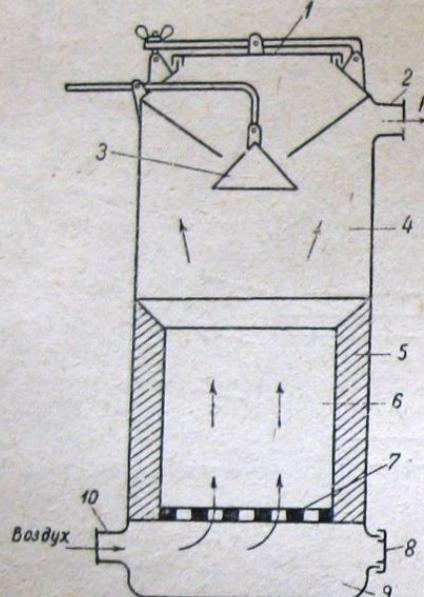


Рис. 4. Принципиальная схема прямого процесса.

1 — загрузочный люк; 2 — газоотводящий патрубок; 3 — второй загрузочный люк; 4 — бункер; 5 — футеровка; 6 — топливник; 7 — колосниковая решетка; 8 — зольниковый люк; 9 — зольник; 10 — воздухоподводящий патрубок.

Для уменьшения отдачи тепла шахтой газогенератора в окружающую среду, а также в целях уменьшения нагрева внешней стенки кожуха шахты 10, между рубашкой 13 и футеровкой 31 прокладывается азбест толщиной в 3 мм. Для сболчивания шахты с бункером и зольником на концах кожуха шахты 10 приварены угольник 9 и фланец 12.

Зольник генератора состоит из внешнего кожуха 20, внутреннего цилиндра 21, колосниковой решетки 22, крепительного стояка колосниковой решетки 23 и газоотводящего патрубка 24. Кроме того, имеется люк 26 с крышкой 27, служащий для удаления золы и угольной мелочи.

Зольниковый люк 26 приварен к внешнему кожуху 20 и внутреннему цилинду 21. Внутренний цилиндр 21 в нижней

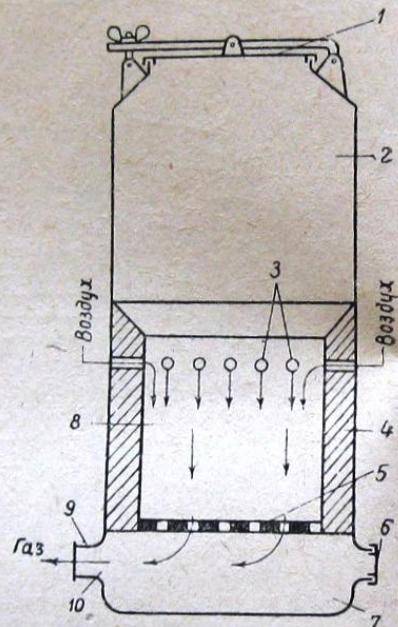


Рис. 5. Принципиальная схема обращенного процесса.

1 — загрузочный люк; 2 — бункер; 3 — фурмы; 4 — футеровка; 5 — колосниковая решетка; 6 — зольниковый люк; 7 — зольник; 8 — топливник; 9 — газоотводящий патрубок.

части приварен к днищу зольника, а в верхней к диску 25, с помощью которого крепится с нижним фланцем шахты 12. Днище зольника 30 крепится к фланцу 32 посредством болтов. Газоотводящий патрубок 24 приварен к внешнему кожуху 20 и внутреннему цилинду 21. Пространство между кожухом зольника 20 и цилиндром зольника 21 заполняется азбестом в целях уменьшения отдачи тепла в окружающую среду.

Схема действия газогенератора. Топливо загружается в бункер газогенератора через загрузочный люк 7 и по мере сгорания опускается в топливник.

Воздух в газогенератор поступает по двум патрубкам 17 в пространство между наружным кожухом 10 и внутренним 13, где частично подогревается и в подогретом состоянии вступает через восемь фурм 16 в топливник генератора. Во всем объеме между уровнем фурм и колосниковой решеткой происходит образование генераторного газа.

Полученный газ проходит через колосниковую решетку 22 и отсасывается из генератора через патрубок 24.

На рис. 4 и 5 изображены схемы прямого и обращенного газогенераторов, в которых стрелками показаны направления движения топлива, воздуха и газа.

В основу рассмотрения процесса, протекающего в газогенераторе, независимо от типа процесса (прямой или обращенный), кладутся следующие 3 основные положения:

1. Процесс в газогенераторе протекает непрерывно.
2. Тепловой эффект реакции не зависит от пути ее и от промежуточных процессов, а лишь от начального и конечного состояния (закон Гесса).
3. Химические процессы, протекающие в газогенераторе, определяются тепловыми эффектами и считаются положительными, если теплота выделяется (экзотермический процесс) и, наоборот, отрицательными, если теплота поглощается (эндотермический процесс).

Глава II ТОПЛИВО И ГОРЕНIE

§ 4. Твердые топлива

Ценность всякого вида топлива определяется тепловой энергией, заключенной в единице его веса или объема. Эта величина называется теплопроизводительностью или теплотворной способностью топлива и определяется числом калорий, выделяемых при полном сгорании единицы его веса или его объема.

Все виды топлива образовались из растительных веществ и состоят главным образом из углерода (C), водорода (H), кислорода (O), азота (N) и неорганических примесей, содержащих обычно серу (S) и образующих после сгорания золу. Кроме этих элементов, всякое топливо содержит определенное количество воды (H_2O).

Из всех этих веществ (элементов) наиболее важной составной частью топлива являются углерод и водород, которые представляют собой теплообразующие составные части. Чем больше содержание этих двух элементов, тем ценнее топливо. Все остальные составные части являются „балластом“.

Углерод (C). Многочисленными опытами установлено, что 1 кг углерода при полном сгорании в CO_2 дает 8137 кал., а при превращении в CO дает только 5720 кал.

Водород (H), находящийся в топливе в соединении с кислородом в виде влаги (H_2O), называется связанным водородом. Связанный в виде прочного соединения H_2O водород не выделяет тепла.

Количество связанного водорода H_2O , определяется количеством кислорода, а именно: если в 1 кг топлива содержится O кг кислорода, то количество связанного водорода в нем будет в 8 раз меньше.

Свободный водород при полном сгорании в воду выделяет 34180 кал. на 1 кг его веса, при сгорании же его в воду, находящуюся в парообразном состоянии, он выделяет только 28905 кал.

Кислород (O), содержащийся в топливе, всегда находится в соединении с углеродом (C) в виде углекислоты (CO_2) и окиси углерода (CO), а с водородом в виде влаги (H_2O). Содержание кислорода (O) в газифицируемом топливе в виде CO_2 и H_2O считают нежелательным, так как только CO представляет собой горючий газ.

Азот (N), входящий в состав топлива связан так же как и кислород с основными элементами топлива углеродом и водородом. При горении он освобождает соединенные с ним элементы, а сам выделяется в свободном виде. Азот неактивен, вследствие чего является лишь балластом для газифицируемого топлива.

Сера (S), содержащаяся в топливе, связана с различными элементами в виде FeS , FeS_2 и $CaSO_4$. При горении она, как углерод и водород топлива, является теплообразующим элементом (при сгорании 1 кг серы в сернистый газ (SO_2) выделяется 3115 кал.), тем не менее присутствие ее очень вредно, так как сернистый газ (SO_2) при низкой температуре сильно разъедает металлические части всей установки.

Зола, обозначаемая буквой A, получается в очаговых остатках после превращения твердого топлива в газообразное и требует поэтому принятия надлежащих мер для предотвращения зашлакования и потери некоторой доли углерода топлива. Чем больше содержания золы в топливе и чем ниже ее температура плавления, тем труднее происходит процесс газификации.

Влага (H_2O), содержащаяся в топливе точно так же как и зола, является самым существенным балластным веществом, обесценивающим топливо, так как она при газификации или сгорании поглощает значительное количество тепла для своего испарения и тем самым снижает теплотворную способность газа.

Содержание влаги в топливе важно знать в абсолютных и относительных количествах.

Влажность топлива определяется отношением веса содержащейся в нем воды либо к первоначальному весу топлива, или к ее весу в абсолютно сухом состоянии.

Относительная влажность. Отношение веса воды, содержащейся в топливе к первоначальному весу топлива, называется относительной влажностью и выражается формулой:

$$W_o = \frac{p_v - p_c}{p_v} \cdot 100 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Абсолютная влажность. Отношение веса воды, содержащейся в топливе к сухому весу топлива, называется абсолютной влажностью и выражается формулой

$$W_a = \frac{p_v - p_c}{p_c} \cdot 100 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

где: p_v — влажный вес топлива,

p_c — сухой вес топлива, высущенного до постоянного веса при температуре 103—105° Ц.

Пример. Определить относительную и абсолютную влажность топлива, если вес влажной навески $p_v = 35,23$ г, а вес сухой навески $p_c = 17,13$ г.

$$W_o = \frac{p_v - p_c}{p_c} \cdot 100 = \frac{35,23 - 17,13}{35,23} \cdot 100 = 51,7\%$$

Таблица 2

Добыча торфа по районам СССР (в тыс. т), составленная на 2-ой пятилетний план¹

$$W_a = \frac{P_b - P_c}{P_c} \cdot 100 = \frac{35,23 - 17,13}{17,13} \cdot 100 = 105\%$$

Из приведенного примера видно, что влажность топлива, вычисленная по отношению к сухому весу, может иметь величину и больше 100%. Влажность же, вычисляемая по отношению к первоначальному весу (относительная влажность), никогда не может достигнуть 100%, так как знаменатель всегда больше чисителя.

Ископаемые топлива. Ископаемыми топливами называются продукты, образовавшиеся путем медленного разложения различных древесных и других органических пород при отсутствии воздуха.

Все ископаемые топлива разбиваются на 4 основных группы: 1) торф, 2) бурье угли, 3) каменные угли и 4) антрациты.

§ 5. Торф и его газификация

Торф — наиболее молодое ископаемое топливо и поэтому он по составу ближе всего подходит к дереву.

Образуется торф при медленном разложении различных болотных растений, которые, отмирая, падают на дно болота и там разлагаются без доступа воздуха и образуют бурую массу с остатками неразложившихся растений. Превращение отмерших растений в торф сопровождается выделением так называемого болотного газа, состоящего главным образом из CH_4 , CO_2 и N_2 ; при таком разложении процентное содержание кислорода в торфе уменьшается, а содержание углерода увеличивается.

В табл. 1 приведены данные из анализов Детмера по торфу в зависимости от глубины его залегания.

Средний состав торфа

Таблица 1

Вид торфа	C	H	O	N	Зола
Мох					
Торф с поверхности (бурый)	49,9	6,6	42,5	1,0	—
Торф с глубины 2 м	57,7	5,4	33,4	0,8	2,7
Торф с глубины 4 м (черный)	62,0	5,2	23,3	2,1	7,4
	64,1	5,0	17,7	4,0	9,2

Площадь торфяников у нас в СССР составляет не меньше 130 млн. га, что дает запас торфа около 169 млрд. т условного топлива. Годичный прирост составляет около 300 млн. т условного топлива.

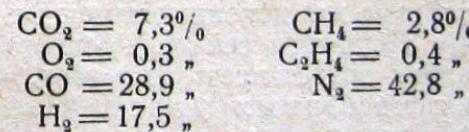
Добыча торфа по годам и районам на второе пятилетие намечалась в следующих количествах (табл. 2).

Газификация торфа. Наличие громадного количества торфяных залежей в различных областях Союза придает громадное значение проблеме перевода различных потребителей горючего на торфяное топливо вообще и на торфяной газ в частности.

Районы	1932 г.	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
1. Ленинградская обл.	2270	2990	3650	5000	6250	8000
2. Северный край	38	100	300	550	800	1250
3. Западная обл.	900	1250	2500	3500	4500	5500
4. Ивановская обл.	2700	3000	4500	6000	7500	9000
5. Московская обл.	6000	7500	900	11000	13000	14600
6. Нижегородский край	1840	2060	2700	4250	5600	7250
7. Татарская АССР	5	50	150	300	600	1000
8. Средне-Волжский край	100	150	400	550	90	1500
9. Нижне-Волжский край	20	40	80	100	150	200
10. Ц. Ч. О.	400	550	800	1050	1200	1800
11. Уральская обл.	830	1070	1550	2200	3750	5000
12. Башкирская АССР	30	40	160	320	650	1200
13. Западно-Сибирский край	—	25	75	125	265	265
14. Казахская АССР	15	15	25	35	60	60
15. Дальневосточный край	10	20	80	200	300	400
Итого по РСФСР	14728	18770	25970	35180	45525	57825
16. УССР	1200	1500	2500	3400	4300	5000
17. БССР	1415	2000	3500	4500	6000	8000
18. Средне-Азиатский край	—	20	40	160	175	175
Всего по СССР	17343	22290	32010	43240	56000	71000

За последнее время намечен и осуществлен целый ряд способов получения различных видов газа из торфа как для силовых, так и отопительно-нагревательных целей.

Газогенераторные установки на торфе работают вполне надежно и дают высоко калорийный газ. Средний состав газа, полученный при испытании газогенераторной установки на заводе в местечке Гусь-Хрустальный, следующий:



В судовых газогенераторах торф должен найти не менее широкое применение, чем другие виды топлива, в тех районах, где он добывается.

§ 6. Бурый уголь

Бурый уголь является дальнейшей стадией разложения органических растительных веществ по сравнению с торфом.

¹ Таблица заимствована из материалов Всесоюзной топливной конференции Госплана СССР, изд. Соцэкгиз — 1932 г., стр. 45.

Указанное в таблице районирование ныне изменено.

Так как бурый уголь содержит от 30 до 60% золы и влаги, то использование его в газогенераторных установках весьма ограничено.

§ 7. Каменный уголь и его газификация

Каменный уголь. Самым распространенным видом топлива в промышленности являются каменные угли. Элементарный состав их меняется в самых широких пределах от углей бурых и до антрацитов, представляющих собой почти чистый углерод. Содержание золы в них колеблется от 0,2 до 40% и влажность от 0,5 до 40%.

В зависимости от свойств и их применения угли имеют различные названия; так, газовым углем называют уголь, из которого получают светильный газ. Кузнецкий уголь — это уголь применявшийся в кузнечных горнах, он должен хорошо спекаться. Коксовыми углами называют угли, идущие на производство кокса.

В табл. 3 приведена техническая классификация углей по Грюнеру.

Классификация каменных углей по Грюнеру

Таблица 3

Типы углей	Элем. состав орг. массы в %/о				O + N	Выход кокса	Свойства кокса
	C	H	O + N	H			
Сухие длинно-пламенные	75—80	5,5—4,5	19,5—15	4—3	50—60		Порошок или чуть спекшийся
Жирные длинно-пламенные или газовые	70—80	5,8—5,0	14,2—10	3—2	60—68		Сплавленный, сильно вспученный
Жирные или кузнецкие	84—89	5—5,5	11—6,5	2—1	68—74		Сплавленный, средней плотности
Коксовые	84—91	5,5—4,5	6,5—5,5	1	74—82		Сплавленный, очень плотный
Тощие или полуантрациты	90—98	4,5—4	5,5—3	1	82—90		Спекшийся или порошок

Грюнеровская таблица для донецких каменных углей не вполне применима, поэтому топливная секция Госплана СССР приняла новую классификацию, представленную в табл. 4.

Газификация каменных углей. Каменный уголь широко используется в газогенераторах стационарного типа.

Из различных марок углей наиболее значительное применение нашли себе угли с большим содержанием летучих, которые легче газифицируются.

В судовых газогенераторах каменные угли должны найти не менее широкое применение, чем в стационарных газогенераторах.

§ 8. Антрацит и его газификация

Антрацит является наивысшей стадией обугливания растительных веществ. В нем очень мало кислорода и водорода, т. е.

Таблица 4

Классификация Донецких углей топливной подсекции Госплана

Марки	Длинно-пламенный	Газовый	Паровычный жирный	Паровычный спекающийся ПЖ	Флотский ф	Тощий Т	Антрацит А	Определение массы	
								от — до средн.	от — до средн.
Углерод	76,5—85,5 79,9	78,5—88,5 83,0	84,0—92,5 88,8	89,0—93,5 91,0	89,5	89,5—94,5 91,7	94,5—97,5 96,0		
Водород	6,4—5,0 5,7	6,3—4,8 5,6	6,0—4,4 5,2	5,2—4,1 4,6	5,1	5,0—3,7 4,3	1,4—2,7 2,0		
Кислород и азот O+N	17,5—10,9 14,4	16,0—6,8 11,4	10,8—3,1 6,0	6,0—2,1 4,4	5,4	2,6—1,6 4,0	3,3—1,0 2,0		
Азот	2,2—1,0 1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	—		
Летучие вещества гор.	44 47	35—47 42	20—36 28	13,5—20 17	17—32 25	10—15—18 14	2,7—7,7 4,5		
Летучая сера . . .	4,5	3,4	2,1	2,5	1,5	2,3	2,0		
Низкая теплотворная способн. гор.	6900—8100 7500	7000—8360 7850	7600—8620 8350	8150—8620 8450	7840—6810 8400	8100—8620 8450	8090—8250 8150		
Сп.разность тепл. способн.	—	—	—	—	—	2700	230	100	
Гигроскоп.влажность гигр.	7	3	1,5	1,0	1,0	1,0	4		
Спекаемость	Порошок или слегка сплав.	Сплавл. вспучен.,	Сплавл. умеренно плотн.	Сплавл. или плотн.	Как у ПС и ПЖ	Слегка сплавл. или порошок	Порошкообразный		
Характер лабораторн. кокса	—	—	—	—	—	—	—		

он представляет собой почти чистый углерод, содержание которого доходит до 97,5%. При этом низшая теплотворная способность достигает 8150 кал.

Антрацит является наиболее плотным, с наиболее твердой и блестящей поверхностью из всех трех видов углей и загорается с большим трудом.

Для антрацита установлены обозначения (табл. 5), зависящие от размеров кусков.

Таблица 5

Обозначение сортов антрацита в зависимости от размера его кусков

Название сорта	Марка	Размеры кусков
Плита и кулак	AB	свыше 125 мм
Крупный орех	AK	от 125 до 25 мм
Мелкий орех	AM	" 25 " 30 "
Рядовой со штыбом	APSH	" 125 " 0 "
Семячко	A	" 13 " 6 "
Зубок	A	" 6 " 3 "
Штыб	AШ	" 6 " 0 "

Газификация антрацита. Антрацит представляет собой высококалорийное топливо с очень малым содержанием влаги при полном отсутствии смол, вследствие чего он один из первых топлив стал применяться в газогенераторах.

В целях увеличения процентного содержания в генераторном газе горючей составной части — водорода и в целях предохранения колосниковой решетки от прогорания при сжигании антрацита, в генератор вводится вместе с воздухом водяной пар.

В газогенераторах используются донецкие антрациты марки АК с размером кусков в 25—125 мм и марки АМ с размером кусков 13—25 мм.

Содержание серы в антраците сильно колеблется.

§ 9. Кокс и его газификация

Кокс — является искусственным топливом, получаемым посредством коксования, т. е. путем подогрева каменного угля в герметически закрытых печах, при температуре 1000—1200°.

Продукты разложения каменного угля после выхода из коксовальной печи конденсируются в холодильниках и получается светильный газ, смола и вода.

В результате коксования большая часть водорода, кислорода и азота, содержащихся в угле, удаляется и получается кокс, содержащий только незначительное количество упомянутых элементов.

Кокс представляет собой твердую массу серебристо-белого цвета, загорается при температуре в 500° и горит без пламени, вследствие чего вся теплота горения выделяется в самом слое горящего топлива и температура горения достигает 1600—1800°.

В табл. 7 указаны выходы продуктов коксования из различных видов углей при коксовании их в печах системы Копперс. Элементарный состав кокса по данным Миска приведен в табл. 6.

Таблица 6

Элементарный состав кокса по Миску

№ образцов	В процентах			
	C	H	O	Сера и зола
1	85,06	0,86	7,68	6,40
2	91,77	1,25	0,04	6,93
3	83,49	0,74	5,467	10,31
4	86,46	1,98	3,02	8,54

Газификация кокса. Кокс подобно антрациту представляет собой высококалорийное топливо, содержащее незначительные количества серы, влаги и золы. Ввиду отсутствия в нем смолы и в силу его прочности и неспекаемости, кокс давно применяется в газогенераторах для двигателей внутреннего сгорания. Для газификации кокса устраиваются такие же газогенераторные установки, как и для газификации антрацита. По простоте ухода за газогенератором и надежности в работе среди прочих топлив кокс и антрацит занимают первое место.

§ 10. Дрова и их газификация

Дрова. Древесное топливо — один из наиболее распространенных видов топлива — завоевал себе широкое применение в области газогенераторов.

Древесина относится к числу возобновляемых запасов топлива. Свежесрубленная древесина содержит влаги 50—65%, причем зимой и летом влажность растущей древесины выше, чем весной и осенью. Перед использованием древесину подвергают сушке на воздухе до воздушно-сухого состояния, т. е. до влажности в 20—25%. Скорость сушки зависит при прочих одинаковых условиях от величины кусков и от того покрыта ли древесина корой или нет. Непокрытая корой и в малых кусках древесина сохнет гораздо быстрее. Для сушки дерева до 20—25% влажности времени требуется от 6 месяцев и до 1 года.

Зольность древесины колеблется от 0,5 до 2,5%. Серы древесное топливо не содержит.

Древесина состоит из клеточек и сосудов, наполненных соком, который содержит в растворе различные органические вещества вроде белковых, дубильных, сахара, солей органических кислот и др. Смола содержится в межклеточных смоляных ходах.

Элементарный состав древесины и теплотворная способность ее мало зависят от породы дерева.

Таблица 7

Результаты перегонки различных углей

в опытных печах системы Копперс

В табл. 8 даны средний элементарный состав и теплотворная способность по Бунте, а в табл. 9 приведены более подробные данные о различных породах древесины по Киршу.

Таблица 8

Элементарный состав и теплотворная способность различных древесных пород

Род дров	В процентах			Теплотворная способность дров	В процентах
	C	H	(O+N)		
Дуб	50,7	6,05	43,25	4530	2,1
Береза	49,3	6,1	44,6	4590	0,70
Ольха	49,0	6,25	44,75	4540	1,40
Осина	48,8	6,1	45,1	4450	1,1
Сосна	50,2	6,0	43,8	4740	1,4

Таблица 9

Название древесной породы	Процентное содержание						Высшая тепло-творная способность орган. массы Q	Низшая тепло-творная способность сырой древесины Q_H	Удельный вес древесины d	Удельная тепло-творная способность Qd				
	в органической массе			в сырой древесине										
	C	H	O + N	H ₂ O (W)	Зола (A)									
Дуб	50,7	6,05	43,25	45	2,1	4530	2130	0,64	2899					
Береза	49,3	6,1	44,6	50,4	0,70	4590	1940	0,57	2616					
Ольха	49,0	6,25	44,75	51,0	1,40	4540	1855	0,43	1952					
Осина	48,8	6,1	45,1	44,0	1,1	4450	2180	0,37	1647					
Сосна	50,2	6,0	43,8	57,4	1,4	4740	1700	0,42	1991					

Примечание. Величина, характеризующая теплотворную способность единицы объема древесины, носит название удельной теплотворной способности и получается путем умножения Q на удельный вес.

Таблица 10

Вес 1 м³ складочных дров различной породы

Порода дров	Вес дров в кг 1 м ³		
	свежесруб-ленных	полусухих	сухих
Дуб	627	544	436
Береза	589	454	390
Сосна	582	384	352
Ольха	577	378	352
Ель	544	352	307
Лиственница	518	365	333
Липа	493	371	301
Осина	493	358	305

Главной величиной, определяющей ценность древесного топлива, служит его влажность. Чем больше влажности в топливе, тем труднее оно поддается сжиганию и газификации.

На рис. 6 представлена кривая, показывающая зависимость рабочей теплотворной способности топлива от содержания влажности, из которой видно как быстро понижается теплотворная способность дров с увеличением количества влаги, вплоть до полного обесценивания топлива при содержании влаги, равном 87%.

Газификация древесины. Древесина хорошо газифицируется, так как образующийся древесный уголь не спекается и

обладает высокой реакционной способностью. Зольность дров — незначительна и зола их — тугоплавка.

Обладая перечисленными положительными свойствами древесина, как топливо для газификации, получила широкое применение в стационарных, автотракторных и судовых газогенераторных установках.

Следует иметь в виду, что при газификации древесины из нее выделяются кроме влаги большое количество газообразных и смолистых веществ, а также уксусная кислота и древесный спирт.

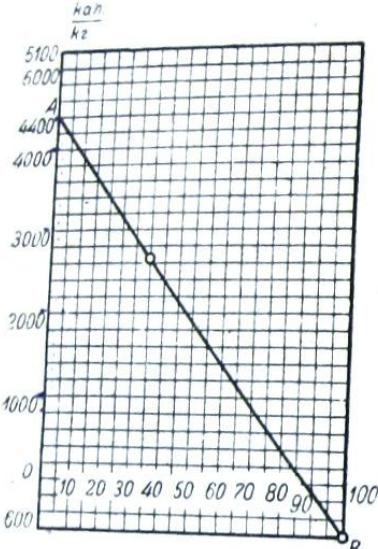


Рис. 6. Зависимость теплотворной способности от влажности.

приближается к чистому углероду в тем большей степени, чем выше температура перегонки, но никогда он не бывает свободен от водорода, кислорода и азота.

Средний состав древесного угля колеблется в следующих пределах:

В проце-нтах				
C	H	O + N	Зола	Влага
75 до 95	1 до 4	3 до 15	1 до 4	1 до 8

Теплотворная способность древесного угля при указанном составе колеблется между 6500 и 7750 кал.

Газ, получающийся при коксовании содержит от 20 до 30% метана, от 10 до 15% этилена, поэтому его теплотворная способность составляет от 6000 до 7000 кал. на 1 м³.

Подсмольная вода, выделяющаяся при коксовании дерева, содержит метиловый или древесный спирт в количестве 0,5%.

В табл. 11 и 12 приведен элементарный состав древесного угля и его теплотворная способность в зависимости от температуры выжига и породы древесины.

Таблица 11

Элементарный состав древесного угля и его теплотворная способность в зависимости от температуры выжига

Темпера- тура вы- жига	Выход угля в % от сухой древесины	Состав угля			Теплотвор- ная способ- ность Q кал/кг	Вид угля
		C	H	O + N		
100	100	47,4	6,54	46,05	4730	Сухое дерево
290	79,0	57,14	6,02	35,84	5760	Твердый бурый уголь
400	38,1	76,1	4,90	19,00	7710	Черный ломкий уголь
545	27,5	90,3	3,15	6,55	8250	Черный ломкий уголь

Таблица 12

Элементарный состав древесного угля

Наименование угля	Процентное содержание						Температура выжига угля
	Угле- род C	Водо- род H	Кисло- род O	Азот N	Зола A	Вода H ₂ O	
Березовый уголь печной	78,9	3,2	16,2	—	1,7	—	6512
Сосновый уголь печной	78,6	3,9	16,6	—	0,9	—	6646
Еловый уголь печной	77,6	3,7	17,7	—	1,0	—	6501
Осиповский уголь печной	73,04	4,74	20,97	—	2,09	—	7385
Березовый уголь кучной	88,3	2,00	7,9	—	1,8	—	7320
Сосновый уголь кучной	87,0	2,50	9,1	—	1,4	—	7312
Еловый уголь кучной	86,8	2,10	9,9	—	1,2	—	—
Ольховый уголь кучной	88,37	1,65	8,14	—	1,84	—	—
Осиповский уголь кучной	85,92	3,43	8,56	—	1,25	—	—

В среднем нормальный вес 1 м³ угля можно принять в следующих пределах:

березовый 160—175 кг
сосновый 130—140 “
еловый 120—130 “

Газификация древесного угля. Древесный уголь для транспортных газогенераторов можно считать лучшим из всех существующих топлив, вследствие его большой активности, малозольности, отсутствия в нем смол и неспекаемости.

Получаемый из угольных газогенераторов газ по калорийности не ниже, чем газ из древесных газогенераторов. Для очистки древесноугольного газа не требуется сложных очистителей, так как в нем нет смол.

§ 12. Теплотворная способность и элементарный состав твердого топлива

Теплотворной способностью или теплопроизводительностью называется то количество тепла, которое выделяется при полном сжигании 1 кг топлива. При измерении количества тепла выделяемого топливом газообразные продукты его сгорания охлаждаются до нормальной комнатной температуры. Поэтому водяные пары, получающиеся в результате горения, конденсируются в воду и скрытая теплота их испарения входит в определяемую величину теплотворной способности. Измеренная при этих условиях теплотворная способность называется „высшей теплотворной способностью“.

В действительных условиях работы выходящие из цилиндра отработавшие газы имеют температуру выше 100°, поэтому водяные пары, образовавшиеся при горении, уходят из двигателя, не выделяя теплоты парообразования. Вследствие этого введено понятие „низкой теплотворной способности“, отличающейся от высшей на величину, равную количеству тепла, выделяемого при конденсации водяных паров, образовавшихся при сжигании 1 кг топлива.

Низшая теплотворная способность твердого топлива может быть подсчитана по формуле Д. И. Менделеева

$$Q_{\text{ниж}} = 81C_p + 300H_p + 26(S_p - O_p) - 6(9H_p + W_p) \frac{\text{кал}}{\text{кг}} \dots (3)$$

если известен элементарный состав топлива, т. е. C_p, H_p, S_p, O_p и W_p.

Под элементарным составом топлива подразумевается процентное содержание химических элементов, составляющих данное топливо.

Теплотворную способность принято обозначать буквой Q с различными значками. Обыкновенно вверху ставят значок, указывающий, к какому топливу относится Q (с — абсолютно сухое, л — лабораторное, р — рабочее, г — состоящее только из горючей части, т. е. беззольное и безводное), а внизу ставятся значки, указывающие способ определения элементарного состава топлива.

Например: б — сжигание в бомбе, э — вычисление по элементарному составу, в — высший и н — низший пределы величины Q. Аналогичные значки применяются также и для характеристики содержащихся в топливе влажности (W_p, W^a), водорода (H^r, H^c, H^p) и золы (A^c, A^p, Aⁿ) и т. д. Приняв указанные обозначения, можно найти соотношения между различными величинами Q следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_{\text{бв}}^r &= Q_{\text{бв}}^c \frac{100}{100 - A^c} \\ Q_{\text{бв}}^a &= Q_{\text{бв}}^c \frac{100 - W^a}{100} \\ Q_{\text{бв}}^p &= Q_{\text{бв}}^c \frac{100 - W_p}{100} \\ Q_{\text{бв}}^r &= Q_{\text{бв}}^c \frac{100}{100 - A^c} - 6 \cdot 9H^r \\ Q_{\text{бв}}^c &= Q_{\text{бв}}^r - 6 \cdot 9H^c \\ Q_{\text{бв}}^a &= Q_{\text{бв}}^c \frac{100 - W^a}{100} - 6(W^a + 9H^c) \\ Q_{\text{бв}}^p &= Q_{\text{бв}}^c \frac{100 - W_p}{100} - 6(9H^c + W_p) \end{aligned}$$

Следует иметь в виду, что в приведенных числах коэффициент 9 означает количество весовых единиц воды, получающихся из одной весовой единицы водорода по реакции $H_2 + 0,5O_2 \rightarrow H_2O$, а числа 6 обозначают скрытую теплоту испарения воды, деленную на 100, так как H и W выражены в процентах.

Обычно химическая лаборатория дает состав топлива сухой массы, для пересчета же на рабочую массу теплотворная способность и отдельные компоненты топлива (C, H, W и т. д.) пользуются следующими формулами:

$$Q_{\text{н}}^p = Q_{\text{в}}^c \frac{100 - W_p}{100} - 6(W_p + 9H_c)$$

$$W_p = W_{\text{вн}} + W_{\text{тнр}} \frac{100 - W_{\text{вн}}}{100}$$

$$C_p = C^c \frac{100 - W_p}{100}$$

$$H_p = H^c \frac{100 - W_p}{100}$$

$$A_p = A^c \frac{100 - W_p}{100}$$

$$S_p = S^c \frac{100 - W_p}{100}$$

Пример. Пересчитать элементарный состав древесины на рабочую массу, если известен ее органический состав.

Дано:

$$C_0 = 50,5\%$$

$$H_0 = 6,1\%$$

A_c = 1,0% Содержание золы в абсолютно сухой древесине принимаем

$$O_0 = 42,8\%$$

$$N_0 = 0,6\%$$

Состав абсолютно сухой древесины определяется по следующим формулам:

$$C_c = \frac{C_0(100 - A_c)}{100} = \frac{50,5(100 - 1)}{100} = 50,0\%$$

$$H_c = \frac{(100 - A_c)}{100} = \frac{6,1(100 - 1)}{100} = 6,0\%$$

$$O_c = \frac{O_0(100 - A_c)}{100} = \frac{42,8(100 - 1)}{100} = 42,4\%$$

$$N_c = \frac{(100 - A_c)}{100} = \frac{0,6(100 - 1)}{100} = 0,6\%$$

Следовательно состав абсолютно сухой древесины равен:

$$\begin{aligned} C_c &= 50,0\% \\ H_c &= 6,0\% \\ A_c &= 1,0\% \\ O_c &= 42,4\% \\ N_c &= 0,6\% \\ \hline \Sigma &= 100\% \end{aligned}$$

Если принять содержание влаги в древесине $W_p = 20\%$, то пересчет состава древесины на рабочую массу можно произвести по следующим формулам:

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{C_c(100 - W_p)}{100} = \frac{50(100 - 20)}{100} = 40,0\% \\ H_p &= \frac{H_c(100 - W_p)}{100} = \frac{6,0(100 - 20)}{100} = 4,8\% \\ A_p &= \frac{A_c(100 - W_p)}{100} = \frac{1,0(100 - 20)}{100} = 0,8\% \\ O_p &= \frac{O_c(100 - W_p)}{100} = \frac{42,4(100 - 20)}{100} = 33,9\% \\ N_p &= \frac{N_c(100 - W_p)}{100} = \frac{0,6(100 - 20)}{100} = 0,48\% \end{aligned}$$

Таким образом состав древесины, пересчитанный на рабочую массу, будет равен:

$$\begin{aligned} C_p &= 40,0\% \\ H_p &= 4,82\% \\ W_p &= 20,0\% \\ A_p &= 0,8\% \\ O_p &= 33,9\% \\ N_p &= 0,48\% \\ \hline \Sigma &= 100\% \end{aligned}$$

Пример. Вычислить элементарный состав древесного угля на рабочую массу, если известен органический состав угля.

Дано:

$$\begin{aligned} C_0 &= 90,47\% \\ H_0 &= 2,58\% \\ O_0 &= 6,25\% \\ N_0 &= 0,7\% \end{aligned}$$

Содержание золы в абсолютно сухом древесном угле принимаем $A_c = 1,68\%$. Состав абсолютно сухого древесного угля определяется по следующим формулам:

$$C_c = \frac{C_0(100 - A_c)}{100} = \frac{90,47(100 - 1,68)}{100} = 88,94\%$$

$$\begin{aligned} H_c &= \frac{H_0(100 - A_c)}{100} = \frac{2,58(100 - 1,68)}{100} = 2,54\% \\ O_c &= \frac{O_0(100 - A_c)}{100} = \frac{6,25(100 - 1,68)}{100} = 6,15\% \\ N_c &= \frac{N_0(100 - A_c)}{100} = \frac{0,7(100 - 1,68)}{100} = 0,69\% \end{aligned}$$

Следовательно, состав абсолютно сухого древесного угля равен:

$$\begin{aligned} C_c &= 88,94\% \\ H_c &= 2,54\% \\ A_c &= 1,68\% \\ O_c &= 6,15\% \\ N_c &= 0,69\% \\ \hline \Sigma &= 100,0\% \end{aligned}$$

Принимая содержание влаги в древесном угле $W_p = 6,19$, можно найти состав древесины на рабочую массу по следующим формулам:

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{C_c(100 - W_p)}{100} = \frac{88,94(100 - 6,19)}{100} = 83,43\% \\ H_p &= \frac{H_c(100 - W_p)}{100} = \frac{2,54(100 - 6,19)}{100} = 2,37\% \\ A_p &= \frac{A_c(100 - W_p)}{100} = \frac{1,68(100 - 6,19)}{100} = 1,58\% \\ O_p &= \frac{O_c(100 - W_p)}{100} = \frac{6,15(100 - 6,19)}{100} = 5,78\% \\ N_p &= \frac{N_c(100 - W_p)}{100} = \frac{0,69(100 - 6,19)}{100} = 0,65\% \end{aligned}$$

Таким образом, состав древесного угля на рабочую массу будет равен:

$$\begin{aligned} C_p &= 83,43\% \\ H_p &= 2,37\% \\ W_p &= 6,19\% \\ A_p &= 1,58\% \\ O_p &= 5,78\% \\ N_p &= 0,65\% \\ \hline \Sigma &= 100,0\% \end{aligned}$$

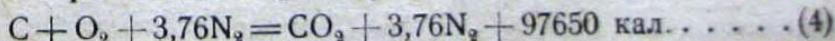
§ 13. Горение топлива и подсчет потребного для него количества воздуха

Горением топлива называется химическое соединение горючих элементов топлива с кислородом воздуха O_2 .

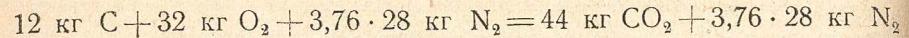
Горючие вещества C, H и S, входящие в состав рабочего топлива, дают при полном сгорании следующие результаты:

1. Углерод (C) сгорает в углекислый газ (CO_2).

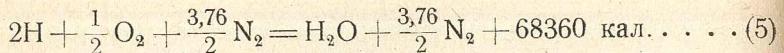
Реакция образования CO_2 следующая:



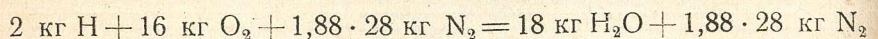
Весовые соотношения этих компонентов выражаются следующим образом:



2. Водород (H) при сгорании дает воду (H₂O) (вода при 18° С). Реакция образования H₂O следующая:

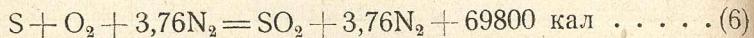


Весовые соотношения этих компонентов будут равны

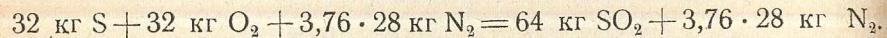


3. Сера (S) при сгорании дает сернистый газ (SO₂).

Реакция образования SO₂ происходит следующим образом:



Весовые соотношения будут



Из формул 4, 5 и 6 следует, что для полного сгорания 1 кг углерода в углекислоту (CO₂) требуется

$$\frac{32}{12} = \frac{8}{3} = 2,67 \text{ кг O}_2$$

Для полного сгорания 1 кг водорода (4) в воду (H₂O) требуется

$$\frac{16}{2} = 8 \text{ кг O}_2$$

и для полного сгорания 1 кг серы (S) в сернистый газ (SO₂) кислорода необходимо

$$\frac{32}{32} = 1 \text{ кг O}_2$$

Таким образом если в состав 1 кг данного рабочего топлива входит: C_p кг углерода, H_p кг водорода, S_p кг серы и O_p кг кислорода, то необходимое весовое количество кислорода для сгорания 1 кг топлива будет

$$G = 2,67 \text{C}_p + 8\text{H}_p + \text{S}_p - \text{O}_p \frac{\text{кг}}{1 \text{кг топлива}} \dots \dots \dots (7)$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг данного состава рабочего топлива таким образом составляет

$$G_1 = \frac{2,67 \text{C}_p + 8\text{H}_p + \text{S}_p - \text{O}_p}{23,2} \frac{\text{кг воздуха}}{1 \text{кг топлива}} \dots \dots \dots (8)$$

или в м³

$$V_0 = \frac{2,67 \text{C}_p + 8\text{H}_p + \text{S}_p - \text{O}_p}{23,2 \cdot 1,293} \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{1 \text{кг топлива}} \dots \dots \dots (9)$$

Примечание. Полученное из этой формулы количество воздуха подразумевается при 0° С и 760 мм р. с.

где:

C _p	— процентное содержание углерода на рабочую массу,
H _p	” ” ” водорода ” ” ”
S _p	” ” ” серы ” ” ”
O _p	” ” ” кислорода ” ” ”

Теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг рабочего топлива, подводимого не при 0° С и 760 мм р. с., а при t° С и давлении p определяется из следующей формулы:

$$V = \frac{2,67 \text{C}_p + 8\text{H}_p + \text{S}_p - \text{O}_p}{23,2 \cdot 1,293} \frac{T}{T_0} \frac{p_0}{p} \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{1 \text{кг топлива}} \dots \dots \dots (10)$$

где:

T₀ — абсолютная температура нуля равна 273°,

T — ” ” ” воздуха, равная 273° + t°;

p₀ — нормальное давление в мм р. с., равное 760° мм р. с.,

p — давление в мм р. с., замеренное в период испытания..

Пример. Вычислить теоретический расход воздуха для сжигания 1 кг древесины следующего состава:

$$\text{C}_p = 40,0\%, \text{H}_p = 4,82\%, \text{O}_p = 33,9\%$$

Подставляя эти данные в формулу (9), получим

$$V_0 = \frac{2,67 \cdot 40 + 8 \cdot 4,82 - 33,9}{23,2 \cdot 1,293} = 3,71 \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{1 \text{кг топлива}}$$

т. е. для сжигания 1 кг древесины влажностью W_p = 20,0% потребуется 3,71 м³ воздуха при 0° С и 760 мм р. с.

§ 14. Количество продуктов полного сгорания, получаемое от сжигания 1 кг топлива при теоретическом количестве воздуха

Пусть 1 кг рабочего топлива состоит из C_p кг углерода, H_p кг водорода, S_p кг серы, O_p кг кислорода, N_p кг азота, W_p кг воды и A кг золы.

Определим количество продуктов горения при теоретически необходимом количестве воздуха на основании выведенных формул

1. C_p кг углерода при сгорании дает $\frac{44}{12} = 3,67$ C_p кг углекислоты.

2. H_p кг водорода при сгорании дает $\frac{18}{2} = 9$ H кг водяного пара.

3. W_p кг воды, входящей в состав топлива, обратится в пары воды W_p кг.

4. S_p кг серы при сгорании дает 2S кг сернистого газа.

5. N_p кг азота, входящего как составная часть в данное топливо, остается без изменения.

6. N_b кг азота, подведенного к топливу, как составная часть теоретически необходимого количества воздуха, будет равно

$$N_b = \frac{(2,67\text{C}_p + 8\text{H}_p + \text{S}_p - \text{O}_p) \cdot 76,8}{23,2}$$

Суммируя все перечисленные слагаемые, мы получим, что вес продуктов полного сгорания будет равен весу сгоревшего топлива за вычетом золы, плюс вес теоретически необходимого для горения воздуха. Вес продуктов полного горения может быть определен также по следующей формуле

$$G = \frac{(2,67C_p + 8H_p + S_p - O_p) \cdot 100}{23,2} + (1 - A_p) \text{ кг} \dots (11)$$

Объемное содержание продуктов полного сгорания определяется из следующих соображений:

1. $3,67C_p$ кг углекислоты составляют $\frac{3,67}{1,965} C_p = 1,854C_p$ м³
2. $(9H_p + W_p)$ кг водяного пара составляют

$$\frac{9H_p + W_p}{0,805} = 1,24(9H_p + W_p) \text{ м}^3$$

3. $2S_p$ кг сернистого газа составляют $\frac{2S_p}{2,861} = 0,78S_p$ м³

4. $(N_p + N_b)$ кг азота составляют

$$\frac{N_p + N_b}{1,251} = 0,79N_p + 2,646(2,67C_p + 8H_p + S_p - O_p) \text{ м}^3$$

где: 1,965, 0,805, 2,861 и 1,251 удельные веса CO₂, H₂O, SO₂ и N₂ при 0° Ц и 760 мм р. с.

Суммируя все перечисленные слагаемые, получим объем продуктов полного сгорания

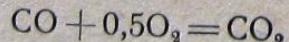
$$V = 1,854C_p + 1,24(9H_p + W_p) + \\ + 0,78S_p + 2,646\left(\frac{8}{3}C_p + 8H_p + S_p - O_p\right) \text{ м}^3 \dots (12)$$

§ 15. Уравнение сгорания газов, их весовые и объемные соотношения

Генераторный газ состоит из горючих компонентов CO, H₂, CH₄, и C₂H₄ и негорючих CO₂, N₂, и O₂.

Рассмотрим горение горючих компонентов генераторного газа с теоретически необходимым количеством кислорода, их паевые и объемные соотношения.

Сгорание окиси углерода (CO). Горение окиси углерода происходит по уравнению



и имеет следующие весовые соотношения

$$28 \text{ кг CO} + 16 \text{ кг O}_2 = 44 \text{ кг CO}_2$$

т. е. для сгорания 1 кг CO, требуется

$$\frac{16}{28} = \frac{4}{7} \text{ кг O}_2 \text{ и получается при этом } \frac{44}{28} = \frac{11}{7} \text{ кг CO}_2.$$

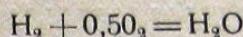
Объемные же соотношения составляют

$$1 \text{ м}^3 \text{ CO} + 0,5 \text{ м}^3 \text{ O}_2 = 1 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$$

Отсюда заключаем что для сгорания 1 м³ CO, требуется 0,5 м³ O₂ и что в результате сгорания этих двух объемов получается 1 м³ CO₂.

Другими словами, при сгорании CO происходит уменьшение объема, т. е. вместо $1 + 0,5 = 1,5$ м³ газовой смеси, получается после сгорания только 1 м³ продуктов сгорания CO₂.

Сгорание водорода (H₂). Горение водорода происходит по уравнению



Весовые соотношения данной реакции составляют

$$2 \text{ кг H}_2 + 16 \text{ кг O}_2 = 18 \text{ кг H}_2\text{O}$$

Отсюда заключаем, что для сгорания 1 кг H₂ требуется

$$\frac{16}{2} = 8 \text{ кг O}_2$$

Объемные соотношения их следующие

$$1 \text{ м}^3 \text{ H}_2 + 0,5 \text{ м}^3 \text{ O}_2 = 1 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Таким образом при сгорании H₂ происходит уменьшение объема, т. е. вместо $1 + 0,5 = 1,5$ м³ газовой смеси, после сгорания получается 1 м³ продуктов сгорания H₂O.

Сгорание метана (CH₄). Горение метана происходит по уравнению



Весовые соотношения данной реакции

$$16 \text{ кг CH}_4 + 64 \text{ кг O}_2 = 44 \text{ кг CO}_2 + 36 \text{ кг H}_2\text{O}$$

Отсюда заключаем, что для сгорания 1 кг CH₄ требуется

$$\frac{64}{16} = 4 \text{ кг O}_2 \text{ и получаем } \frac{44}{16} = \frac{11}{4} \text{ кг CO}_2 \text{ и } \frac{36}{16} = \frac{9}{4} \text{ кг H}_2\text{O}$$

Объемные соотношения составляют

$$1 \text{ м}^3 \text{ CH}_4 + 2 \text{ м}^3 \text{ O}_2 = 1 \text{ м}^3 \text{ CO}_2 + 2 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Следовательно, при сгорании CH₄ изменения объема не происходят, т. е. $1 + 2 = 3$ м³ газовой смеси после сгорания дают 1 м³ углекислоты и 2 м³ водяных паров.

Сгорание этилена (C₂H₄). Горение этилена происходит по уравнению



Весовые соотношения данной реакции представляются в следующем виде $28 \text{ кг C}_2\text{H}_4 + 96 \text{ кг O}_2 = 88 \text{ кг CO}_2 + 36 \text{ кг H}_2\text{O}$

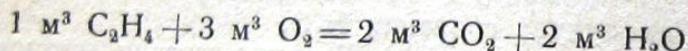
Таблица 13

№ по по- рядку	Формула реакции горения	Изменение объема газов после горения									
		Объемы газов, участвующие в горении								Изменение объема в м ³ после горения	
		CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	O ₂	CO ₂	H ₂ O (пар)	уменьше- ние	увели- чение	
m ³	кг	m ³	кг	m ³	кг	m ³	кг	m ³	кг	m ³	кг
1	CO + 0,5 · O ₂ = CO ₂	1	1	—	—	0,5	4	1	11	—	—
2	H ₂ + 0,5 · O ₂ = H ₂ O	—	—	1	—	0,5	7	—	7	0,5	—
3	CH ₄ + 2O ₂ = CO ₂ + 2H ₂ O	—	—	—	—	0,5	8	—	1	9	0,5
4	C ₂ H ₄ + 3O ₂ = 2CO ₂ + 2H ₂ O	—	—	—	—	1	4	1	11	2	4
				1	1	2	4	—	4	9	нет
				—	—	3	24	2	22	7	7
						7	2	7	2	7	нет
											нет

Откуда видно, что для сгорания 1 кг C₂H₄ требуется

$$\frac{96}{28} = \frac{24}{7} \text{ кг } O_2 \text{ и получается при этом } \frac{88}{28} = \\ = \frac{22}{7} \text{ кг } CO_2 \text{ и } \frac{36}{28} = \frac{9}{7} \text{ кг } H_2O$$

Объемные соотношения составляют



Следовательно, при сгорании C₂H₄ изменение объема не происходит, т. е. 1 + 3 = 4 м³ газовой смеси, после сгорания дают 2 м³ углекислоты и 2 м³ водяных паров.

В табл. 13 представлены результаты приведенного подсчета.

§ 16. Определение теоретически необходимого количества воздуха для сгорания 1 м³ и 1 кг генераторного газа

Теоретически необходимое количество кислорода для сгорания 1 м³ генераторного газа определяется на основании выше приведенных реакций сгорания по следующей формуле

$$O_2 = 0,5(CO + H_2) + 2CH_4 + 3C_2H_4 - O_2^r \frac{\text{м}^3 \text{ кислорода}}{1 \text{ м}^3 \text{ газа}} \quad (13)$$

а для сгорания 1 кг определяется по формуле

$$O_2 = \frac{4}{7} CO + 2H_2 + 4CH_4 + \frac{24}{7} C_2H_4 - O_2^r \frac{\text{кг кислорода}}{1 \text{ кг газа}} \quad (14)$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 м³ газа определяется по формуле

$$L_0 = \frac{O_2}{0,21} = \frac{1}{0,21} [0,5(CO + H_2) + 2CH_4 + 3C_2H_4 - O_2^r] \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{1 \text{ м}^3 \text{ газа}} \quad (15)$$

а теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг генераторного газа определяется по формуле

$$L_0 = \frac{O_2}{0,23} = \frac{1}{0,23} \left[\frac{4}{7} CO + 8H_2 + 4CH_4 + \frac{24}{7} C_2H_4 - O_2^r \right] \frac{\text{кг воздуха}}{1 \text{ кг газа}} \quad (16)$$

где: 0,21 — объемное содержание кислорода в воздухе,
0,23 — весовое содержание кислорода в воздухе,
0,5, 2 и 3 — объемные коэффициенты, определяющие теоретически необходимое количество кислорода для сгорания 1 м³ CO, H₂, CH₄ и C₂H₄;
 $\frac{4}{7}$, 8, 4 и $\frac{24}{7}$ — весовые коэффициенты, определяющие теоретически необходимое количество кислорода для сгорания 1 кг CO, H₂, CH₄ и C₂H₄.

Пример. Вычислить теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 м³ газа из древесины.

Дано:

$$CO_2 = 11,0\% \\ O_2 = 0,2\% \\ CO = 20,0\% \\ H_2 = 12,0\% \\ CH_4 = 2,0\% \\ C_2H_4 = 0,3\% \\ N_2 = 54,5\%$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 м³ газа определяется по формуле

$$L_0 = \left[\frac{0,5(CO + H_2) + 2CH_4 + 3C_2H_4 - O_2^r}{100} \right] \frac{100 \text{ м}^3 \text{ воздуха}}{21 \text{ м}^3 \text{ газа}}$$

Подставляя в данную формулу горючие компоненты газа будем иметь

$$L_g = \left[\frac{0,5(20+12) + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 0,3 - 0,2}{100} \right] \frac{100}{21} = 0,99 \frac{\text{м}^3}{\text{1 м}^3 \text{ газа}} \text{ воздуха.}$$

§ 17. Газообразное топливо

Все горючие газы применяющиеся в современной технике могут быть разделены по способу их получения на три главных класса:

Газ естественный, выходящий из недр земли.

Газы, добываемые из твердого или жидкого горючего.

Газы, получающиеся, как побочные продукты, различных технических производств.

По своему составу естественный газ представляет почти чистый метан (CH_4) и теплотворная способность его равна 9000 кал/м³.

В настоящее время естественный газ находит широкое применение в стационарных газовых двигателях и редко в авто-транспорте.

Светильный газ представляет собой смесь различных газов и получается путем сухой перегонки из различных родов топлива: каменного угля, торфа, дерева, нефти, животных и растительных отбросов.

Наилучший газ получается из так называемого „газового угля“. Из 100 кг газового угля получается 25—30 м³ светильного газа, 55—75 кг кокса, 4,9 кг дегтя, 4—12 кг газовой воды.

В настоящее время светильный газ находит широкое применение для бытовых нужд, а также используется в автотранспорте.

В последнем случае он нагнетается в баллоны при давлении 150—200 атмосфер.

Генераторный газ производится в газогенераторах, где твердое топливо, путем ведения специального процесса, полностью превращается в газообразное, за исключением негорючей части (золы).

Водяной газ получается из твердых топлив, путем газификации с одним водяным паром и с подводом тепла. Водяной газ характеризуется отсутствием азота и углекислоты. Горючими составными частями являются окись углерода (CO) = 50% и водород (H_2) = 50%.

Регенеративный газ получается при подводе в газогенератор воздуха с углекислотой.

Нефтяной насыщенный газ получается путем газообразования или испарения жидких горючих в потоке воздуха.

Нефтяной карбюрированный газ получается при образовании или испарении жидких горючих в потоках других технических газов.

Коксовальный газ получается как побочный продукт при производстве кокса. Он получается так же, как и светильный газ, накаливанием топлива без доступа воздуха.

Доменный газ или колошниковый газ является побочным продуктом при выплавке чугуна из железной руды. Выход газа составляет примерно 4000—4500 м³ на 1 т расходуемого кокса.

Доменный газ широко используется в стационарных газовых двигателях, а также и в паровых котлах.

В табл. 14 приведен средний состав газов применяемый в газовых и газогенераторных двигателях.

Таблица 14

Род газа	Состав газа в % по объему									Низшая теплотворная способность в кал./м ³	Выход газа из 1 кг в м ³
	C_3H_8	C_4H_{10}	CO	H_2	CH_4	C_2H_4	CO_2	O_2	S_2		
Пропан	100	100	—	—	—	—	—	—	—	12016	—
Бутан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11840	—
Природный	—	—	0—1,5	0—33	10—95	1—90	0—20	0—7	0,1—10	8000—13000	—
Доменный	—	—	26—33	1—3	0,2—10	—	7—12	—	57—60	900—1100	4—4,5
Коксовальный	—	—	5—10	48—55	25—35	1,5—3	2—4	0,1—1,0	5—10	3800—4500	0,3—0,35
Светильный	—	—	4—12	47—53	27—36	3—6	0,5—3	0,1—1,0	1—8	4200—5000	0,32—0,35
Генераторный:											
из антрацита	—	—	25—28	12—16	1—2,5	—	3—6	0,5—0,8	50—58	1100—1250	4,5—4,8
из кокса	—	—	27—30	5—10	0,5—2	—	3—6	0,5—0,8	52—58	1000—1150	4,2—4,5
из древесины	—	—	19—30	14—17	3,5—2,8	0,2—0,4	9—6	0,3—0,0	54—41,7	1260—1650	2—3

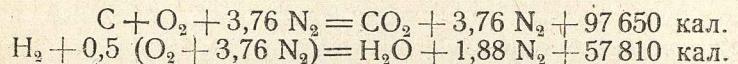
Глава III

ТЕОРИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА

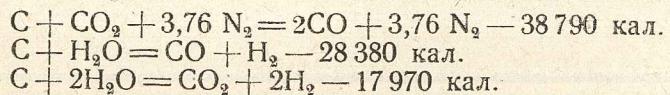
§ 18. Образование генераторного газа при прямом процессе

Схему образования газа при прямом процессе можно представить в следующем виде.

Подводимый в нижнюю часть газогенератора кислород воздуха соединяется с углеродом и водородом топлива (содержание водорода в топливе, находящегося на колосниках, не превышает 0,5—1%) по формуле



т. е. на колосниках происходит полное сгорание газифицируемого топлива в углекислый газ (CO_2) и в H_2O , при этом выделяется большое количество тепла (реакции протекают с выделением тепла) и температура горящего слоя топлива поднимается до 1200° — 1600° Ц. Подводимый вместе с воздухом водяной пар в этом слое будет перегреваться. Поднимаясь кверху, углекислый газ и водяной пар взаимодействуют с раскаленным углеродом по реакции:



т. е. на некоторой высоте получается газ, состоящий из окиси углерода, водорода, углекислоты и азота.

Поднимаясь еще выше, указанные газы подогревают выше лежащие слои топлива в газогенераторе до температуры 400° — 600° Ц, вследствие чего происходит сухая перегонка.

Под процессом сухой перегонки подразумеваются подогрев топлива без доступа воздуха.

Количество и состав продуктов сухой перегонки зависят от природы топлива, скорости подогревания и температуры подогрева.

Продукты сухой перегонки состоят из углекислоты (CO_2), окиси углерода (CO), водорода (H_2), метана (CH_4), этилена (C_2H_4), этана (C_2H_6), азота (N_2), сернистого газа (SO_2), сероводорода (H_2S), аммиака (NH_3), паров смолы и воды (H_2O), древесного спирта и уксусной кислоты.

Картину выделения продуктов сухой перегонки в общем случае можно представить в следующем виде.

При температуре 150° — 250° выделяется главным образом вода, образующаяся из водорода и кислорода топлива и незначительное количество кислот и других газов.

При температуре 250° — 300° происходит значительное выделение вначале углекислоты (CO_2) и окиси углерода (CO), а затем метана (CH_4), этилена (C_2H_4) и водорода (H_2). Одновременно с выделением указанных газов происходит и образование смолы.

При температуре 300° — 350° происходит образование смолы, а также происходит выделение серы и азота в виде сернистого газа (SO_2), сероводорода (H_2S) и аммиака (NH_3).

При температуре 400° — 450° заканчивается образование смолы и при дальнейшем повышении температуры выделяется метан, этан (C_2H_6) и другие углеводороды в виде C_nH_m , а позднее почти чистый водород.

При нагреве топлива с 450° до 1000° количество газа получается, примерно, в 10 раз больше, чем при нагреве до 450° . В результате высокого нагрева топлива (до 1000°) остается кокс, состоящий почти из чистого углерода (75% — 90%) и незначительного количества водорода ($0,5\%$), кислорода (1 — 2%), золы

Таблица 15

Состав газов при сухой перегонке бурого угля

Температура перегонки °	Объемный состав газа в %/%					
	CO_2	CO	H_2	CH_4	C_2H_6	$C_n H_m$
300	92,7	1,2	0,5	5,5	—	0,1
350	91,0	4,7	0,6	3,4	—	0,3
400	55,1	18,9	2,2	16,0	2,9	4,9
450	27,3	11,6	15,5	38,6	4,7	2,3

Таблица 16

Состав газов при сухой перегонке различных видов топлива

Наименование	Битуминозный уголь	Лигнит	Торф	Дерево
CO_2	3,2	21,5	21,0	22,3
CO	8,0	18,5	26,2	20,4
H_2	39,8	32,2	33,6	32,8
CH_4	39,8	24,2	16,4	20,9
O_2	1,3	0,7	0,4	0,5
C_2H_4	2,9	1,0	0,6	1,4
N_2	5,0	1,9	1,8	1,7
Теплотворная способность газа $\frac{\text{кал}}{\text{м}^3}$. . .	5094	3284	3224	3460
Выход газа из 1 кг топлива на м^3 при 0° и 760 мм давления	0,204	0,377	0,395	0,222

(15%—9%). Следует иметь в виду, что сероводород и сернистый газ являются вредными компонентами генераторного газа как для здоровья обслуживающего персонала, так и для частей двигателя.

В табл. 15 приведен состав газа полученного при перегонке бурого угля в температурном интервале 300°—450°, а в табл. 16 приведен состав газов полученный из различных видов топлива при температуре перегонки, равной 800° Ц.

Более подробные исследования продуктов сухой перегонки сосновой древесины были проведены Дюпоном, которые приведены в табл. 17.

Таблица 17
Выход газов и других продуктов сухой перегонки из 100 кг сосновой древесины

Температура перегонки °	Уголь в % веса	Газ в л	Продукты сухой перегонки		Деготь	Объемный состав газов в процентах				
			%	кислотность		CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆
100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
130	97,6	0	2,4	0	0	—	—	—	—	—
200	93,0	0,2	7,0	0,45	0	75	25	—	—	—
275	81,7	1,4	14,0	1,92	1,8	75	25	—	—	—
290	79,1	1,6	16,1	2,41	1,8	60	40	—	—	—
310	53,9	5	32,9	1,89	4,7	—	—	—	—	—
320	48,7	7	34,4	—	5,0	—	—	—	—	—
330	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
380	—	—	35,4	1,75	6,2	49	42	—	—	—
400	38,1	9	40,0	—	6,6	41,2	25,6	—	—	—
450	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
480	—	10,6	41,5	0,93	7,0	25,8	25,8	10,8	33,3	4,3
510	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
515	31,0	12,2	41,2	—	7,0	24,8	8,0	—	67,2	—
545	27,5	—	45,3	—	7,4	18,3	8,0	21,3	48,3	—
								26,9	41,1	5,7

К этим результатам Дюпон дает следующие пояснения:

1) До 275° разложение дерева слишком мало. Выделяется при этом главным образом вода, незначительное количество кислоты, газа и других продуктов сухой перегонки.

2) Около 300° происходит энергичное разложение древесины. Это разложение сопровождается выделением тепла, т. е. при этой температуре возникает фаза экзотермического разложения древесины.

Газ, до экзотермического периода, как это видно из табл. 17, состоит из 75% CO₂ и 25% CO с некоторым количеством воздуха находившегося в дереве. Во время экзотермической реакции обильно выделяются газы, практически они содержат CO₂=60% и CO=40%. Кроме того начинается увеличенное выделение дегтя.

3) Начиная с 350° процентное содержание CO₂ и CO постепенно уменьшается, а содержание углеводородов и водорода

постепенно возрастают. При температуре же выше 450° содержание углеводородов и водорода выше содержания других газов.

Содержание уксусной кислоты является заметным лишь при температуре выше 200°, достигая максимума во время экзотермического разложения. Очень мало уксусной кислоты выделяется при температурах ниже 270° и выше 380°.

Таким образом ниже 250° разложение дерева дает почти одну воду, а выше 400° почти один газ, богатый углеводородами и с высокой калорийностью.

Сухой перегонке могут подвергаться самые разнообразные органические вещества. Под действием теплоты (извне) они разлагаются с выделением водяных паров и газов, причем, в остатке получается кокс, смешанный с золой.

При сухой перегонке угля теряется в самом процессе около 17% теплоты, содержащейся в угле.

При сухой перегонке 100 кг дерева получают около 40 м³ газа с теплотворной способностью 3000 в кал./м³, 10 кг дегтя и 35 кг древесного угля.

При выборе генераторного процесса следует учесть высокую теплотворную способность газа сухой перегонки (3000—5000 кал./м³), а также и количество выхода (выход в среднем для топлив, содержащих летучие, составляет от 10 до 15%).

Современная практика установила, что при прямом процессе из древесины может быть получен генераторный газ с теплотворной способностью 1500—1700 кал./м³, а при обращенном процессе из того же топлива получается газ с теплотворной способностью не выше 1100—1300 кал./м³.

Обогащение газа при прямом процессе происходит за счет газов сухой перегонки. В самой верхней части газогенератора происходит подсушка топлива до температуры 80—120° Ц, при этом из топлива выделяются водяные пары. Выходящий из газогенератора газ состоит из углекислоты (CO₂), кислорода (O₂), окиси углерода (CO), водорода (H₂), метана (CH₄), этилена (C₂H₄), сернистого газа (SO₂), сероводорода (H₂S), азота (N₂) и паров воды (H₂O). Кроме того в газе содержатся во взвешанном состоянии смола и различные кислоты. Полученный газ называется смешанным или паровоздушным газом.

Топливо, находящееся в газогенераторе, по мере его сгорания на колосниках постепенно опускается вниз под влиянием силы тяжести, подогреваясь поднимающимся током газов. Вначале оно подсушивается, а потом, по мере его нагрева из него выделяются продукты сухой перегонки, состоящие из различных газов и паров. Остающийся от топлива разогретый полуоксостоит преимущественно из углерода и золы, а также из небольших количеств кислорода, водорода, азота и серы. Полуоксоступаясь ниже, нагревается все сильнее, из него выделяются остатки продуктов сухой перегонки, и содержащийся в нем углерод начинает реагировать с поднимающимися снизу вверх углекислотой и водяным паром. По мере опускания полуокса все

более перегревается, в результате чего из него выделяются последние продукты сухой перегонки, а равным образом и часть водорода. Углерод полукокса интенсивно реагирует с поднимающимися вверх газами, образуя генераторный газ, а остатки полукаска все более обогащаются золой. К колосникам генератора подходят остатки от топлива, подвергшегося газификации: зола и незначительное количество невыгоревшего углерода топлива.

В соответствии с рассмотренным процессом, слой топлива по высоте газогенератора можно разбить на следующие зоны: зона

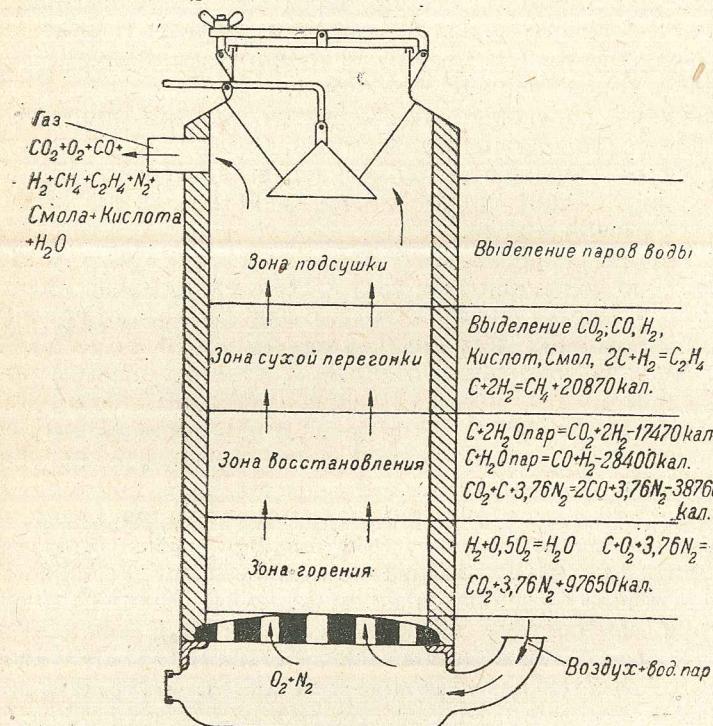


Рис. 7. Расположение зон в газогенераторе прямого процесса.

окисления (горения); зона восстановления; зона сухой перегонки; зона подсушки топлива.

Указанные зоны, а также состав газа и состав продуктов сухой перегонки будут несколько изменяться в зависимости от рода газифицируемого топлива и продолжительности его пребывания в газогенераторе. Однако, при теоретических рассуждениях эти отклонения не помешают разобраться во всех тех явлениях, которые обусловливают получение генераторного газа.

Для наглядности примерное расположение зон по высоте слоя топлива в генераторе и реакции, протекающие в них, представлены на рис. 7.

Приведенное расположение зон по высоте слоя топлива и протекание в них реакций в действующем генераторе будет иметь место лишь при газификации топлив, содержащих углерод (С), водород (Н), серу (S), кислород (O), азот (N), летучие, влагу (H_2O), а также при подводке в генератор водяного пара. На практике состав генераторного газа будет изменяться в зависимости как от рода газифицируемого топлива так и от ведения процесса, т. е. будет ли подводиться водяной пар в генератор или нет. В первом случае процесс называется мокрым, а во втором воздушно-сухим.

Тепловые эффекты реакций, с которыми придется иметь дело при исследовании генераторного процесса, изучены довольно хорошо, но окончательно установленных цифр нет. В дальнейшем мы будем пользоваться тепловыми эффектами в обработке проф. М. А. Павлова. В табл. 18 приводим тепловые эффекты различных реакций.

Таблица 18
Реакции и тепловые их эффекты

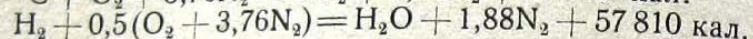
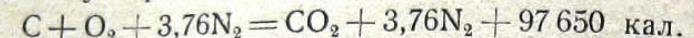
Номер	Наименование реакции	Реакции	Тепловые эффекты реакции в больших калориях на 1 кг/моль
1	Реакция образования углекислоты	$C + O_2 + 3,76 N_2 = CO_2 + 3,76 N_2$	+ 97 650
2	Реакция образования окиси углерода	$C + CO_2 = 2CO$ $C + 0,5 O_2 = CO$	- 38 790 + 29 430
3	Реакция разложения водяного пара	$C + H_2O_{\text{пар}} = CO + H_2$ $C + 2H_2O_{\text{пар}} = CO_2 + 2H_2$ $CO + H_2O_{\text{пар}} = CO_2 + H_2$	- 28 380 - 17 970 + 10 410
4	Реакция разложения воды	$C + H_2O_{\text{жид}} = CO + H_2$ $C + 2H_2O_{\text{жид}} = CO_2 + 2H_2$	+ 20 870 + 38 840
5	Реакция образования метана	$C + 2H_2 = CH_4$ $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$ $CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$ $2CO + 2H_2 = CH_4 + CO_2$	+ 49 250 + 57 650
6	Реакция образования этилена	$2C + 2H_2 = C_2H_4$	- 9 080
7	Реакция образования сернистого газа	$S + O_2 + 3,76 N_2 = SO_2 + 3,76 N_2$	+ 69 800
8	Реакция горения водорода	$H_2 + 0,5 O_2 + 1,88 N_2 = H_2O_{\text{пар}} + 1,88 N_2$ $H_2 + 0,5 O_2 + 1,88 N_2 = H_2O_{\text{жид}} + 1,88 N_2$	+ 57 810 + 68 360
9	Реакция горения окиси углерода	$CO + 0,5 O_2 + 1,88 N_2 = CO_2 + 1,88 N_2$ $CH_4 + 2O_2 + 2,376 N_2 = CO_2 + 2H_2O_{\text{пар}} + 23,76 N_2$	+ 68 220 + 192 400
10	Реакция горения метана	$CH_4 + 2O_2 + 2,376 N_2 = CO_2 + 2H_2O_{\text{жид}} + 23,76 N_2$ $C_2H_4 + 3O_2 + 3,376 N_2 = 2CO_2 + 2H_2O_{\text{пар}} + 33,376 N_2$	+ 213 000 + 341 500
11	Реакция горения этилена	$C_2H_4 + 3O_2 + 3,376 N_2 = 2CO_2 + 2H_2O_{\text{жид}} + 33,376 N_2$	+ 320 402

§ 19. Образование генераторного газа при обращенном процессе

Реакции, протекающие в газогенераторе с обращенным процессом могут быть представлены, примерно, в следующем порядке.

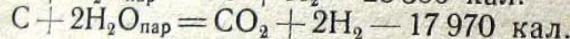
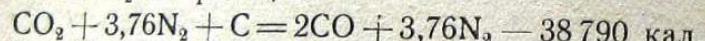
В бункере газогенератора, несколько выше места подвода воздуха (на 100—200 мм) происходит подсушка и частично сухая перегонка топлива за счет излучения поверхности окислительной зоны и теплоты передаваемой топливу стенками бункера. Выделившиеся продукты сухой перегонки C_2H_4 , CH_4 и смола, а также и водяные пары, поступают в окислительный пояс, находящийся на уровне подвода воздуха.

На уровне подвода воздуха и несколько ниже его происходит сгорание углерода и водорода топлива по реакции:



в CO_2 и H_2O . В этом же поясе происходит сгорание продуктов сухой перегонки и перегрев водяных паров, выделившихся при сгорании и подсушке топлива. Температура в этом горящем слое топлива зависит от рода и влажности газифицируемого топлива, форсировки газогенератора и количества подводимого водяного пара.

Опускаясь ниже, углекислота и водяные пары восстанавливаются в CO и H_2 по реакции



В этой же зоне будет происходить разложение продуктов сухой перегонки C_2H_4 , CH_4 и смолы, не успевших сгореть в окислительной зоне.

Из восстановительной зоны газ поступает в зольник и далее в газоотборный патрубок газогенератора.

Для наглядности на рис. 8 представлен схематический чертеж газогенератора, работающего по обращенному процессу, по высоте которого расположены реакции и указаны направления движения воздуха и газа.

Характерная особенность газогенератора, работающего по обращенному процессу, заключается в том, что отсасывание газа происходит в нижней части топливника, а подвод воздуха осуществляется на некоторой высоте. Благодаря такой схеме, образующиеся в верхних слоях газогенератора, пары смол, проходя через слой топлива с высокой температурой, частью сгорают в окислительной зоне, а остатки разлагаются в восстановительной зоне, вследствие чего устраняется загрязнение трубопроводов и двигателя смолой.

При обращенном процессе и газифицируемое топливо и генераторный газ движутся сверху вниз в одном направлении, а при

прямом процессе газ движется вверх, а газифицируемое топливо вниз, т. е. по различным направлениям.

Образование воздушного газа при прямом процессе. Допустим, что чистый углерод расположен по всей высоте генератора и что через слой его продувается воздух. Полученный таким путем „воздушный газ“ дает идеальный случай газификации топлива. Химические процессы взаимодействия углерода с кислородом воздуха, а также углекислоты с углеродом по отдельным зонам можно представить посредством следующих уравнений.

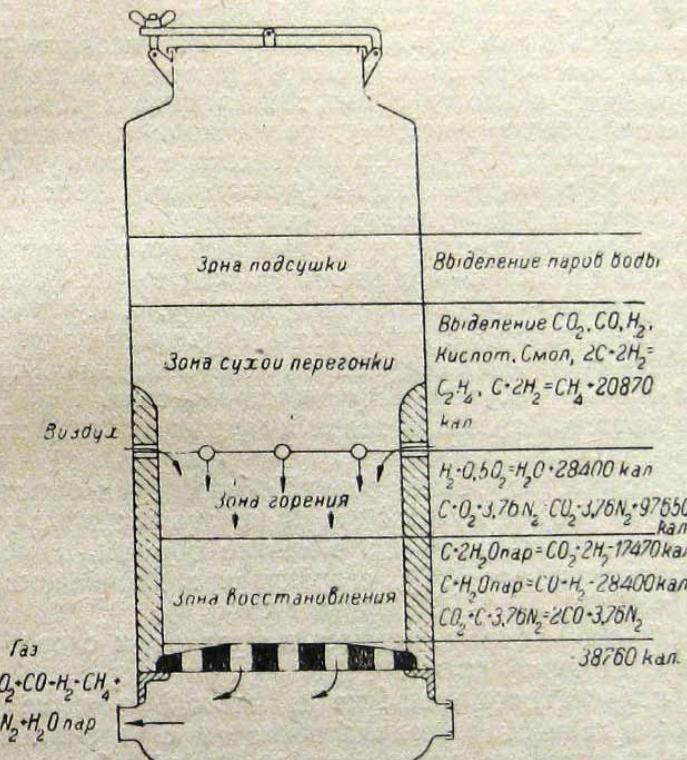
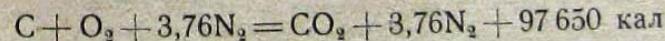


Рис. 8. Расположение зон в газогенераторе обращенного процесса.

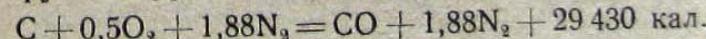
В окислительной зоне протекает реакция



а в восстановительной зоне протекает реакция



Суммируя эти уравнения и разделив их на 2, будем иметь



Уравнение показывает, что воздушный газ состоит из окиси углерода и из азота.

Примечание. Из этого уравнения вытекает также, что при превращении С в CO получается избыток тепла в генераторе, выражаящийся в количестве 29 430 кал./моль или в 30% от всего тепла, образующегося в генераторе. Это избыточное тепло частью идет на поддержание непрерывности процесса, а частью теряется в виде теплоты нагрева газа, который уходит из генератора с температурой 600°—800° Ц.

Чем выше лежит слой топлива на колосниковой решетке, тем выше получается температура и тем богаче газ углекислотой и беднее кислородом. На некоторой высоте создается такой пояс, в котором развивается самая высокая температура и получается газ, совершенно не содержащий кислорода.

Поднимаясь выше окислительной зоны, углекислота вступает в реакцию восстановления в окись углерода и количество ее в газе убывает, а вместе с тем температура в топливном слое понижается. Наконец наступает такой момент, когда вся оставшаяся углекислота (CO₂) восстанавливается в окись углерода (CO).

С этого момента прекращаются всякие химические изменения и обусловленные ими колебания температуры.

Высота зоны окисления и восстановления бывает очень различна и зависит главным образом от следующих факторов.

1. От реакционной способности топлива, т. е. от его способности восстанавливать углекислоту.

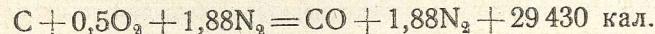
2. От температуры и скорости течения воздуха и углекислоты в топливном слое, т. е. форсировки генератора.

3. От размеров газогенератора и кусков топлива и ряда других факторов.

Наряду с рассмотренной теорией образования окиси углерода (CO), имеется теория Ауфгейзера и некоторых других исследователей, которые считают, что в начале процесса горения образуется окись углерода (CO), сгорающая в дальнейшем в углекислый газ (CO₂).

Согласно этой теории, процесс в топливном слое будет протекать по следующей схеме:

1. На колосниковой решетке и несколько выше кислород вдуваемого в генератор воздуха образует с углеродом газифицируемого топлива вначале окись углерода, согласно реакции



Ввиду наличия избыточного воздуха в окислительном поясе, окись углерода сгорает в углекислоту по реакции



При прохождении углекислоты через вышележащий слой топлива, будет происходить ее восстановление в окись углерода по реакции¹

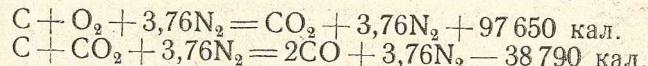


¹ Данная реакция является обратимой реакцией и при температуре в 400°—600° может ити в обратном направлении, т. е. $2CO \rightarrow C + CO_2$, что понижает теплотворную способность газа и засоряет газопровод.

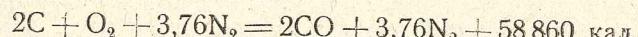
По поводу этой теории Тренклер замечает, что допущение Ауфгейзера имеет значительную долю вероятности, и некоторые авторы утверждают, что сначала возникает CO; однако, эта теория в настоящее время не получила еще широкого признания.

§ 20. Теоретический количественный состав газа при воздушном процессе

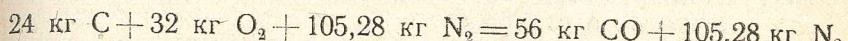
Реакция окисления углерода в CO₂ и ее восстановление в CO, как это было показано выше, протекает по формулам



Суммируя эти уравнения получим



Весовые соотношения их будут



Анализируя это уравнение, мы видим, что из двух килограмм атомов углерода (24 кг) получается: $2 + 3,76 = 5,76$ молекулярных объемов воздушного газа, состоящего из 2 молекулярных объемов CO и 3,76 молекулярных объемов N₂.

Следовательно, воздушный газ состоит из:

$$\begin{aligned} \frac{2}{5,76} \cdot 100 &= 34,7\% \text{ CO} \\ \frac{3,76}{5,76} \cdot 100 &= 65,3\% \text{ N}_2 \end{aligned}$$

Или, выражая полученные значения в кубических метрах, будем иметь

$$CO = \frac{2 \cdot 22,4}{24} = 1,87 \text{ м}^3$$

и

$$N_2 = \frac{3,76 \cdot 22,4}{24} = 3,51 \text{ м}^3$$

В случае полного сгорания 1 кг С в CO₂, объем полученного газа будет равен:

$$\frac{4,76 \cdot 22,4}{12} = 8,9 \text{ м}^3, \text{ причем данный газ состоит из } 1,87 \text{ м}^3 \text{ CO}_2 \text{ и } 7,03 \text{ м}^3 \text{ N}_2.$$

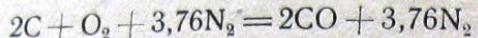
Полученный процент содержания CO = 34,7%, является максимально возможным процентом, к которому практика в настоящее время подходит довольно близко, т. е. имеются газогенераторы, которые дают газ с содержанием CO = 32—33%.

Определение выхода воздушного газа из 1 кг углерода. Выход воздушного газа из 1 кг углерода определяется из основных реакций образования генераторного газа

$$C + O_2 + 3,76 N_2 = CO_2 + 3,76 N_2 + 97\,650 \text{ кал.}$$

$$C + CO_2 + 3,76 N_2 = 2CO + 3,76 N_2 - 38\,790 \text{ кал.}$$

Суммируя оба уравнения и опуская тепловой эффект будем иметь



Это уравнение показывает, что из двух килограмм-атомов углерода (24 кг) получается

$$2 + 3,76 = 5,76 \text{ молекулярных объемов газа.}$$

Выход газа из 1 кг углерода найдется из уравнения

$$V = \frac{5,76 \cdot 22,4}{24} = 5,38 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

где: 5,76 — молекулярный объем выхода газа из 2 килограмм-атомов углерода,

22,4 — объем одной килограмм-молекулы газа при 0° и 760 мм ртутного столба,

24 — вес двух килограмм-атомов углерода.

Определение теплотворной способности воздушного газа. Теплотворная способность 1 м³ воздушного газа определяется из следующей формулы

$$Q^r = CO \cdot Q \frac{\text{кал}}{\text{м}^3}$$

где: CO — содержание окиси углерода в газе = 34,7%,

Q — теплотворная способность 1 м³ окиси углерода = $= 3045 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$

Подставляя эти величины в формулу получим теплотворную способность газа, равной

$$Q^r = 0,347 \cdot 3045 = 1060 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

Определение химического коэффициента полезного действия газогенератора при воздушном процессе. Химическим коэффициентом полезного действия генератора называется отношение теплосодержания газа полученного из 1 кг топлива к теплотворной способности газифицируемого топлива.

Для воздушного процесса химический коэффициент полезного действия генератора при предельном содержании окиси углерода определяется по формуле

$$\eta_r = \frac{VQ^r}{Q^r} = \frac{5,38 \cdot 1060}{8137} = 0,7$$

где: $V = 5,38 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$ — выход из 1 кг углерода,

Q^r — теплотворная способность воздушного газа, равная 1060 кал./м³,

Q^r — теплотворная способность углерода, равная 8137 кал./кг.

§ 21. Коэффициент полезного действия генератора

Выяснение факторов, влияющих на коэффициент полезного действия генератора, независимо от реакций, протекающих в газогенераторе, может быть произведено на основании закона Гесса.

Коэффициентом полезного действия газогенератора называется отношение полезно полученного из него тепла ко всему введенному в газогенератор теплу. В настоящее время имеются разнообразные определения этого понятия. Это разнообразие объясняется тем, что использование генераторного газа производится в различных областях техники. Так например, при использовании газа в двигателях внутреннего сгорания для получения механической энергии полезным теплом принято считать только теплотворную способность газа, а при использовании неочищенного и нагретого газа для других целей принято считаться с химической и физической теплотами, содержащимися во всем комплексе газа, т. е. в смоле, саже, угольной мелочи, в водяных парах, а равно и в самом газе.

Следовательно, коэффициент полезного действия газогенератора может быть подсчитан весьма разнообразно, т. е. с использованием всех приходо-расходных статей или с использованием только некоторых из них.

Нет также и общеустановленного понятия, что следует принимать за 100% вводимого тепла: только ли теплотворную способность топлива, или же добавить к ней также и физическое тепло водяного пара, воздуха и топлива.

Примем следующие два определения коэффициента полезного действия газогенератора: 1) химический и 2) термический.

Химическим коэффициентом полезного действия газогенератора называется отношение всего химического тепла газа, полученного из 1 кг газифицируемого топлива, к химическому теплу, содержащемуся в 1 кг топлива и выражается он формулой

$$\eta_r^x = \frac{Q_r V_r^c}{Q_r^p}$$

где: η_r^x — химический коэффициент полезного действия газогенератора,

Q_r — теплотворная способность 1 м³ газа,

V_r^c — выход газа из 1 кг газифицируемого топлива,

Q_r^p — теплотворная способность газифицируемого топлива.

Химический коэффициент полезного действия характеризует переход химического тепла топлива в химическое тепло газа,

т. е. он характеризует степень совершенства конструкции газогенератора.

Термическим коэффициентом полезного действия газогенератора называют отношение химического и физического тепла газа, смолы и водяных паров к химическому и физическому теплу топлива и воздуха, и выражается он формулой

$$\eta_r^x = \frac{Q_r V_r^c + g Q_{cm} + 600 W_n C_p^n t_n + V_r^c C_p^r t_r}{Q_r^p + C_r t_r + V_b C_p t_b} \quad \dots \dots \dots (1)$$

где: Q_r , V_r^c , Q_r^p — имеют те же значения, что и в формуле для η_r^x ,

g — выход смолы в кг из 1 кг газифицируемого топлива,

Q_{cm} — теплотворная способность 1 кг смолы,

V_b — количество воздуха (в м³), необходимое для газификации 1 кг топлива,

C_p^n , C_p^r , C_t , C_p — теплоемкости водяного пара, газа, топлива и воздуха,

t_n , t_r , t_t , t_b — температуры водяного пара, газа, топлива и воздуха,

W_n — влага пара, подводимого в генератор.

В силовых газогенераторах обычно пользуются химическим коэффициентом полезного действия, который выражается формулой

$$\eta_r^x = \frac{Q_r V_r^c}{Q_r^p} = \frac{(3045 CO + 2580 H_2 + 8590 CH_4 + 14300 C_2H_4) [C_p - 0,536 (CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_4) 8137 C_p + 300 H_p + (C + C_m + C_y)] + 26 (S_p - O_p) - 6 (9H_p + W_p)}{Q_r^p + 26 (S_p - O_p) - 6 (9H_p + W_p)} \quad \dots \dots \dots (18)$$

Для выяснения факторов, влияющих на изменение коэффициента полезного действия, разберем теоретический случай, т. е. сделаем допущение, что в газифицируемом топливе водорода нет, что газогенератор питается углеродом, воздухом и водою в жидкоком виде (причем, испарение воды производится в самом газогенераторе полностью) и что весь углерод переходит в газ, тогда формула коэффициента полезного действия газогенератора после соответствующего преобразования примет вид

$$\eta_r^x = 0,7 \frac{CO + 0,85 H_2 + 2,82 CH_4 + 4,7 C_2H_4}{CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_4} \quad \dots \dots \dots (19)$$

Полагая CH_4 и C_2H_4 равными нулю, получим формулу проф. Молье:

$$\eta_r^x = 0,7 \frac{CO + H_2}{CO + CO_2} \quad \dots \dots \dots (20)$$

где: CO , CO_2 и H_2 компоненты генераторного газа.

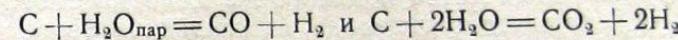
Если процесс осуществляется без подачи воды, то формула примет вид:

$$\eta_r^x = 0,7 \frac{CO}{CO + CO_2} \quad \dots \dots \dots (21)$$

и при полном восстановлении CO_2 в CO , т. е. когда CO_2 равно нулю, а CO в этом случае будет равно 34,7%, коэффициент полезного действия газогенератора будет максимальным и достигнет значения $\eta_r^x = 0,7$.

Сравнение коэффициентов полезного действия по формулам (20) и (21) показывает, что при воздушном процессе степень использования топлива в газогенераторе составляет максимум 70%, а остальные 30% тепла теряются непроизводительно в виде физического тепла газа (температура отходящего газа поднимается до 600°—800°) и частью теряются на лучеиспускание.

Для увеличения коэффициента полезного действия в газогенератор вместе с воздухом подается водяной пар. Водяной пар вступает в реакцию с углеродом по формуле



вследствие чего температура в газогенераторе понижается, снижается также и температура выходящего газа, а теплотворная способность газа увеличивается, в силу чего увеличивается также и химический коэффициент полезного действия.

Кроме того подача водяных паров предохраняет колосники от прогорания и сохраняет футеровку (огнеупорные кирпичи) от разрушения и вместе с тем уменьшает шлакование и спекание угля в газогенераторе.

Шлакование представляет собой плавление золы, с образованием комьев, а спекание угля сопровождается образованием комьев из отдельных кусков топлива. Шлакование происходит под действием высокой температуры, получающейся в нижней части газогенератора (при прямом процессе), а спекание угля происходит в зоне сухой перегонки, вследствие смоляного пека (смолы). В обоих случаях происходит нарушение процесса газификации, вследствие чего качество газа сильно ухудшается. Мерой борьбы против шлакования и спекания служит шурковка (размельчение образовавшихся комьев) и подвод водяного пара в надлежащем количестве.

Весовое количество воды, подводимое в газогенератор, определяется типом процесса (прямой или обращенный), родом газифицируемого топлива (древесный уголь, кокс, древесина и т. д.), содержанием в нем влаги и форсировкой газогенератора. Определение потребного количества воды производится на основании следующих соображений.

1. Весовое количество влаги идущей на образование H_2 , CH_4 , C_2H_4 вычисляется по формуле

$$W_b = 0,804 (H_2 + 2CH_4 + 2C_2H_4) \frac{\text{кг воды}}{1 \text{ м}^3 \text{ газа}} \quad \dots \dots \dots (22)$$

где: 0,804 — вес 1 м³ водяных паров при 0° Ц и 760 мм р. с.
 H_2 , CH_4 , C_2H_4 — объемные содержания водорода, метана и этилена в 1 м³ газа.

2. Весовой расход воды на 1 кг газифицируемого топлива определяется по формуле

$$W_{\text{в}}^{\text{k}} = \frac{0,804(\text{H}_p + 2\text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4)[\text{C}_p - (\text{C}_y + \text{C}_n + \text{C}_{\text{ш}})] - (9\text{H}_p + W_p)}{0,536(\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4)} \cdot \frac{\text{кг воды}}{1 \text{ кг топлива}} \quad (2)$$

где: $W_{\text{в}}^{\text{k}}$ — весовой расход воды на 1 кг газифицируемого топлива,

H_p — весовое содержание водорода в 1 кг газифицируемого топлива,

W_p — весовое содержание влаги в 1 кг газифицируемого топлива.

Минимальное количество водяного пара, подаваемого в газогенератор на 1 кг чистого углерода, на основании теоретических подсчетов составляет 0,3 кг. Гюльднер рекомендует для антрацита подводить в газогенератор 0,75 кг водяного пара на 1 кг топлива, а в случае шлакообразования допускать и больше.

Для иллюстрации влияния подвода водяных паров на коэффициент полезного действия и на теплотворную способность газа, в табл. 19 приведены данные Фишера, полученные при газификации кокса.

Таблица 19

Средний состав газа и к. п. д. газогенератора с подводом водяного пара и без подвода

Наименование статей	Без подвода водяных паров (сухой процесс)	С подводом водяных паров (мокрый процесс)
Углекислота $\text{CO}_2\%$	2,0	6,9
Окись углерода $\text{CO}\%$	29,4	26,0
Водород $\text{H}_2\%$	1,9	14,0
Метан $\text{CH}_4\%$	0,0	0,4
Азот $\text{N}_2\%$	66,7	52,8
Теплотворная способность газа в кал./м ³	950	1190
Выход газа из 1 кг в м ³	5,0	4,77
Коэффициент полезного действия газогенератора в %	68	80

§ 22. Определение теоретической температуры в генераторе при воздушном процессе для двух случаев

Случай 1. Определить температуру, получающуюся при сгорании С в CO, допуская при этом температуру кокса, поступающего к месту горения, равной 1000°.

Реакция образования CO и тепловой эффект выражаются формулой



Весовое соотношение реагентов этой реакции равно

$$12 \text{ кг C} + 16 \text{ кг O}_2 + 52,64 \text{ кг N}_2 = 28 \text{ кг CO} + 52,64 \text{ кг N}_2$$

Физическая теплота кокса равна

$$12 \cdot 0,4 \cdot 1000 = 4800 \text{ кал.}$$

Всего тепла образуется

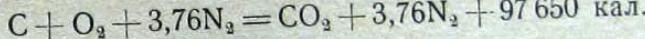
$$29\ 430 + 4\ 800 = 33\ 230 \text{ кал.}$$

Если принять теплоемкость 1 кг CO, и 1 кг N₂ при температуре около 1600° равной 0,260, то температура топливного слоя в месте образования CO будет

$$t = \frac{33\ 230}{0,26(28 + 52,64)} = 1580^\circ$$

Случай 2. Определить температуру, развивающуюся при сгорании С в CO₂, допуская при этом, что температура кокса, поступающего к месту горения, как и в первом случае, равна 1000°.

Реакция образования CO₂ и тепловой ее эффект выражаются формулой



Весовое соотношение реагентов равно

$$12 \text{ кг C} + 32 \text{ кг O}_2 + 105,28 \text{ кг N}_2 = 44 \text{ кг CO}_2 + 105,28 \text{ кг N}_2$$

Физическая теплота кокса, как и в первом случае, будет равна

$$12 \cdot 0,4 \cdot 1000 = 4800 \text{ кал.}$$

А всего тепла образуется

$$97\ 650 + 4\ 800 = 102\ 450 \text{ кал.}$$

Если принять теплоемкости 1 кг CO₂ и 1 кг N₂ при температуре около 2500° равными для CO₂ 0,31, а для N₂ 0,265, то температура топливного слоя в месте образования CO₂ будет равна

$$t = \frac{97\ 650 + 4\ 800}{0,31 \cdot 44 + 0,265 \cdot 105,28} = 2470^\circ$$

Вычисленные температуры являются теоретически максимальными, т. е. при вычислении не учитывалась потеря тепла газогенератором в окружающую среду.

В действующих газогенераторах при воздушном процессе температура зависит от форсировки генератора и других факторов. Опытами Вендта, Неймана и других исследователей установлено, что она лежит в пределах от 1400° до 1700°.

Такая высокая температура слоя топлива с одной стороны ведет к разрушению топливника и прогоранию колосников, а с другой снижает коэффициент полезного действия генератора, вследствие большого уноса тепла отходящими газами и увеличенного теплоизлучения самого генератора в окружающую среду. Для понижения температуры в генераторе, а также для получения более калорийного газа к подаваемому воздуху примешивают водяной пар. Количество подводимого в генератор водяного пара зависит от свойств топлива и в среднем составляет от 0,2 до 1,2 кг на 1 кг топлива. Результаты приведенных выше расчетов указаны в табл. 20.

Таблица 20

Сводная таблица расчетных величин воздушного газа

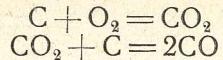
№№ по пор.	Наименование статей
1.	Реакция образования CO_2 $\text{C} + \text{O}_2 + 3,76 \text{ N}_2 = \text{CO}_2 + 3,76 \text{ N}_2 + 97\,650$ кал.
2.	Реакция образования CO $\text{CO}_2 + 3,76 \text{ N}_2 + \text{C} = 2\text{CO} + 3,76 \text{ N}_2 - 38\,790$ кал.
3.	Состав воздушного газа $\text{CO} = \frac{2}{5,76} \cdot 100 = 34,7\%$ и $\text{N}_2 = \frac{3,76}{5,76} \cdot 100 = 65,3\%$
4.	Теплотворная способность газа $Q^T = \text{CO} \cdot Q^{\circ} = 0,347 \cdot 3045 = 1060 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$
5.	Выход газа из 1 кг C $V = \frac{5,76 \cdot 22,4}{24} = 5,38 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$
6.	Химический коэффициент полезного действия генератора $\eta_g^x = \frac{V \cdot Q^T}{Q^{\circ}} \cdot 100 = \frac{5,38 \cdot 1060}{8137} \cdot 100 = 70\%$
7.	Теоретическая температура в генераторе Случай 1. Температура при горении C в CO $t = \frac{29\,430 + 4\,800}{0,26(28 + 52,64)} = 1580^\circ$ Случай 2. Температура при горении C и CO_2 $t = \frac{97\,650 + 4\,800}{0,31 \cdot 44 + 0,265 \cdot 105,28} = 2470^\circ$

§ 23. Факторы, определяющие соотношение компонентов генераторного газа

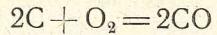
Изучив основные реакции, протекающие в газогенераторе, можно приступить к анализу факторов, определяющих соотношения компонентов в зависимости от ряда параметров, как-то: температуры топливного слоя, скорости движения газов через слой

и рода топлива. С этой целью рассмотрим реакции образования CO , H_2 , CH_4 и C_2H_4 .

Реакция образования окиси углерода. Образование окиси углерода может протекать по следующим уравнениям



или



Реакция образования окиси углерода, протекающая по этим уравнениям показывает, что углерод вначале сгорает непосредственно в углекислоту с последующим восстановлением углекислоты в окись углерода.

Первые исследования по определению количества CO, образующейся по уравнению $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ при различных температурах, произвел Будуар.

В дальнейшем эти исследования были повторены и подтверждены Клементом, Адамсом и Хаскиным, а также дополнены ими, т. е. изучены скорости образования CO из CO_2 в зависимости от свойств топлива, температуры и времени соприкосновения углекислоты с раскаленным углеродом.

На основании исследований Будуара получили результаты, приведенные в табл. 21, указывающей процентные объемы CO_2 и CO в зависимости от температур топливного слоя.

На рис. 9 представлены кривые равновесия CO_2 и CO в зависимости от температур, построенные на основании экспериментальных данных Будуара и Юшкевича.

По вертикальной оси отложены температуры, а по горизонтальной — % содержание CO_2 и CO.

Из рис. 9 видно, что при температуре 400° на один объем смеси газа, состоящего из углекислоты и окиси углерода, приходится 1% CO и 99% CO_2 . При температуре 700° количество окиси углерода увеличивается до 57% , а содержание углекислоты падает до 43% . При более высоких температурах количество окиси углерода возрастает, а содержание углекислоты падает и, наконец, при 1000°C количество углекислоты падает до 1% , а содержание окиси углерода возрастает до 99% , т. е. практически, смесь состоит почти из одной окиси углерода.

Эти данные вначале брались за основу для расчета генератора, т. е. без учета времени соприкосновения газа с углеродом и исходили лишь из температурных условий, что, конечно, не

Таблица 21

Процентный объем CO и CO_2 при различных температурах

Temperatura топливного слоя в $^\circ\text{C}$	Процентные объемы газов	
	CO_2	CO
400	99	1
500	95	5
600	77	23
700	43	57
800	13	87
900	3	97
1000	1	99

может служить полным критерием для определения качества газа.

Приведенные данные следует рассматривать лишь как предельные величины, получение которых возможно при небольшой скорости движения газа, что в практике не всегда осуществимо.

Опыты Клемента, Адамса и Хескинса. Опыты, поставленные Клементом, Адамсом и Хескинсом, имели своей целью изучение образования окиси углерода с учетом времени соприкосновения газа со слоем раскаленного топлива, т. е. они поставили исследования реакции равновесия

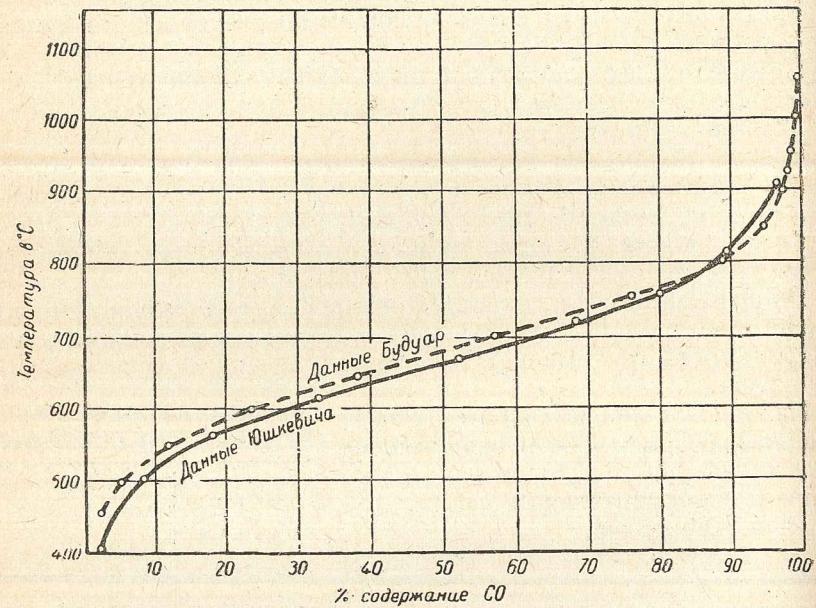
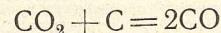


Рис. 9. Кривая равновесия $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$.

от следующих факторов: от температуры в топливном слое, от свойства топлива и от скорости движения углекислоты (CO_2) через этот слой.

Опыты упомянутых исследователей проведены с древесным углем, коксом и антрацитом. При этом получены следующие результаты.

Исследования с древесным углем. На рис. 10 представлены кривые по исследованию образования окиси углерода (CO) из углекислоты (CO_2) при соприкосновении с раскаленным древесным углем до различных температур в зависимости от времени соприкосновения.

Из приведенных кривых заключаем, что для получения наибольшего процента окиси углерода (CO) температуру раскален-

ного угля следует держать равной 1000—1100° Ц. Время контактирования для этих температур сводится к секундам и даже к десятим долям секунды, что имеет место в действующих генераторах.

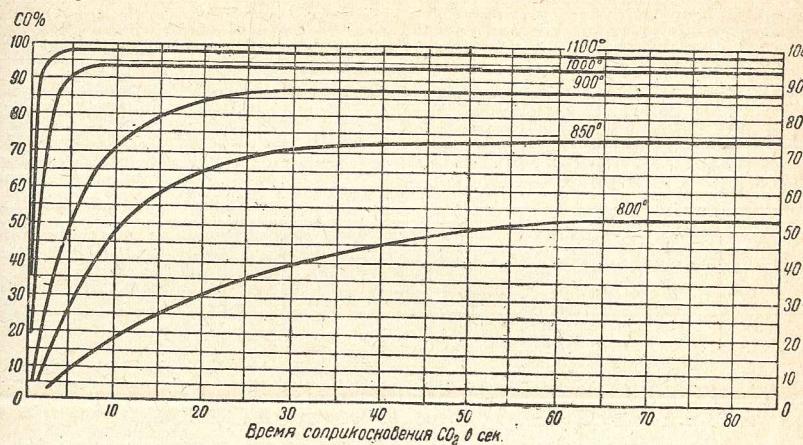


Рис. 10. Образование окиси углерода из углекислоты и древесного угля.

На рис. 11 представлены кривые процентного содержания CO в зависимости от $1/t$, которая равна скорости газа v в топливном слое, деленной на толщину l слоя угля при соответствующих температурах.

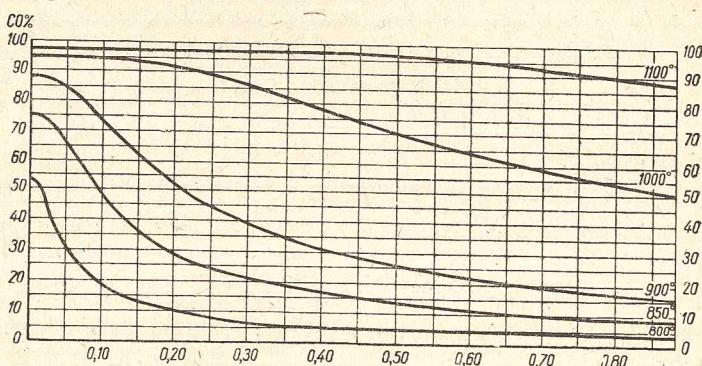


Рис. 11. Образование окиси углерода из углекислоты и древесного угля в зависимости от обратной величины времени.

Из этих кривых заключаем, что при увеличении скорости движения CO_2 в топливном слое происходит уменьшение содержания CO . Это уменьшение происходит довольно быстро при низких температурах 800—900° и более медленно при высоких температурах. Кривые рис. 11 построены на основании табл. 22, в которой приведены цифровые значения процентных объемов CO и CO_2 из древесного угля при температурах слоя угля 800, 900, 1000 и 1100°.

Образование CO из CO₂ при соприкосновении с раскаленным древесным углем

Таблица 2

Температура топливного слоя в °Ц	Время соприкосновения CO ₂ в сек.	$\frac{1}{t} = \frac{v}{l}$	Процентное содержание CO	Температура топливного слоя в °Ц	Время соприкосновения CO ₂ в сек.	$\frac{1}{t} = \frac{v}{l}$	Процентное содержание CO
800	24,20	0,04	34,5	1000	70,00	0,01	94,2
	15,50	0,07	26,2		18,60	0,05	94,1
	12,32	0,08	20,9		8,25	0,12	93,8
	2,68	0,35	5,1		3,68	0,27	86,9
	1,55	0,65	3,0		2,30	0,44	75,2
900	44,18	0,02	87,2	1100	36,48	0,03	97,2
	10,01	0,10	73,9		10,43	0,10	97,2
	4,27	0,23	47,2		4,97	0,20	97,1
	2,84	0,35	35,1		3,64	0,27	98,8
	2,17	0,46	28,4		1,92	0,52	95,5

Исследования с коксом производились на той же аппаратуре и по той же методике, что с древесным углем и результаты

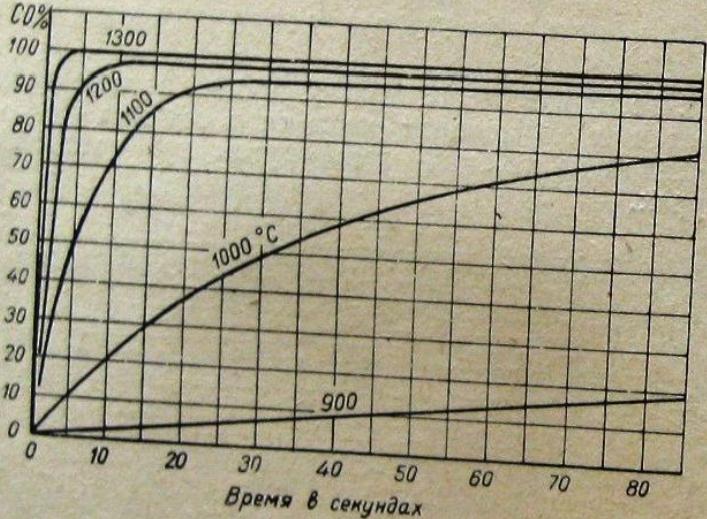


Рис. 12. Образование окиси углерода из углекислоты и кокса.

этого исследования изображены на рис. 12, где нанесены кривые процентного содержания окиси углерода (CO) в зависимости от времени соприкосновения (контактирования) углекислоты (CO₂) с соответствующим раскаленным слоем кокса. Из этих кривых явствует, что для максимального получения окиси углерода (CO) температуру топливного слоя следует поддерживать около 1200—1300° Ц.

На рис. 13 изображены кривые процентного содержания окиси углерода (CO) в зависимости от $1/t$, которая равна скорости газа v в топливном слое, деленной на толщину l слоя

кокса при соответствующей температуре. Рассматривая кривые, приведенные на рис. 13, заключаем, что при увеличении скорости прохождения углекислоты в топливном слое кокса происходит уменьшение содержания окиси углерода.

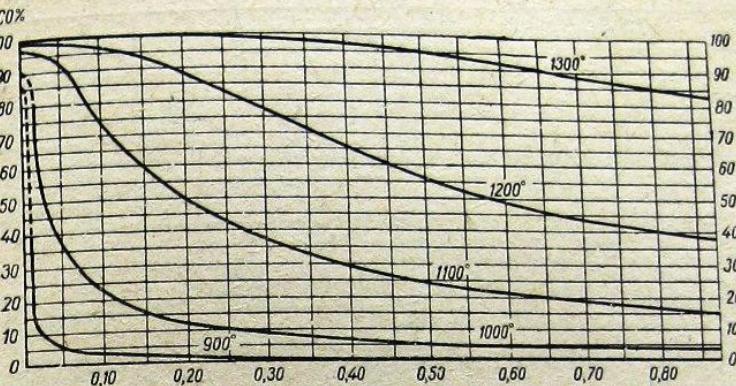


Рис. 13. Образование окиси углерода из углекислоты и кокса в зависимости от обратной величины времени.

Это уменьшение происходит довольно быстро при температурах в 900—1100° и более медленно при температурах около 1200—1300° Ц.

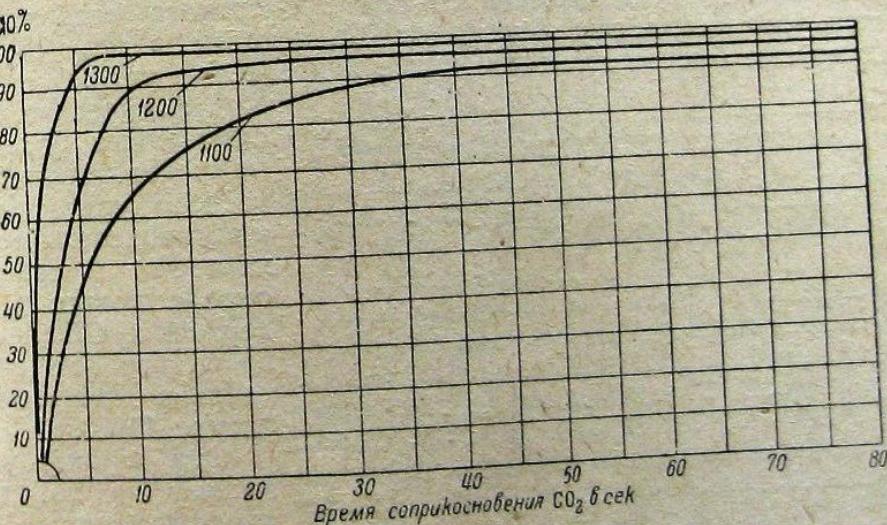


Рис. 14. Образование окиси углерода из углекислоты и антрацита.

Исследования с антрацитом велись точно так же, как с древесным углем и коксом, причем антрацит подобно древесному углю и коксу измельчался на куски размером в 5 мм.

На рис. 14 представлены кривые процентного содержания окиси углерода в зависимости от времени соприкосновения углекислоты с соответствующим раскаленным слоем антрацита.

Из этих кривых видно, что для максимального получения окиси углерода температуру в генераторе следует поддерживать выше 1300°C .

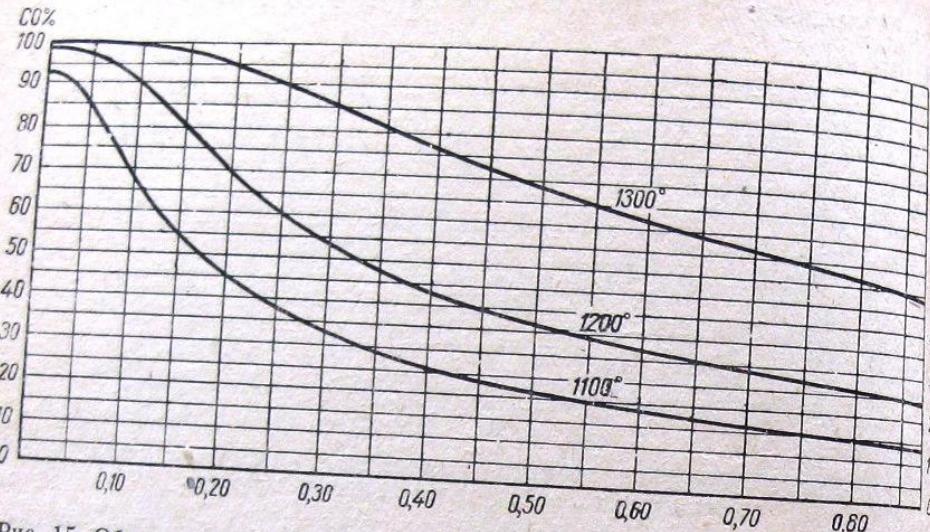


Рис. 15. Образование окиси углерода из углекислоты и антрацита в зависимости от обратной величины времени.

На рис. 15 представлены кривые процентного содержания окиси углерода в зависимости от $1/t$, которые в этом случае падают еще быстрее, чем при коксе и древесном угле.

На основании рассмотренных опытов по исследованию древесного угля, кокса и антрацита на рис. 16 нанесены кривые, определяющие % содержания CO, в зависимости от рода топлива при температуре 1100° .

Эти кривые указывают на то, что при температуре 1100° и длительности соприкосновения в 5 сек., CO_2 почти полностью восстанавливается в CO при контактировании с древесным углем, тогда как при соприкосновении CO_2 с коксом и антрацитом за те же 5 сек. получается CO только в количестве 50% для кокса и 45% для антрацита.

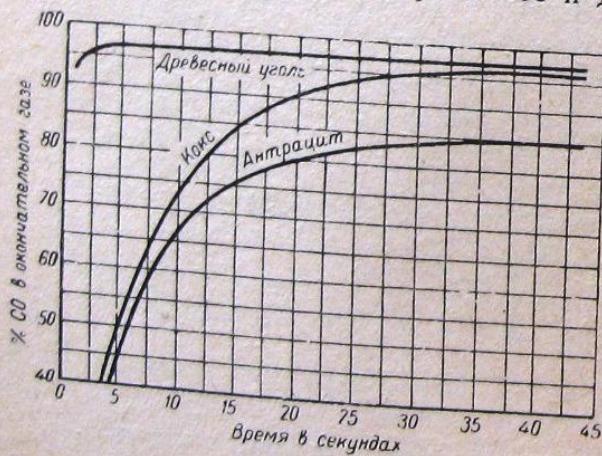


Рис. 16. Образование окиси углерода в зависимости от свойств топлива.

вания с древесным углем, тогда как при соприкосновении CO_2 с коксом и антрацитом за те же 5 сек. получается CO только в количестве 50% для кокса и 45% для антрацита.

При очень малых скоростях движения газа через топливный слой, т. е. в том случае, когда время соприкосновения настолько велико, что реакция может дойти до состояния равновесия, процентное содержание образующейся CO не зависит практически от рода применяемого угля.

При повышении скорости движения газа через слой топлива разница в скоростях образования CO и CO_2 становится заметной.

Для примера определим процентное содержание CO в зависимости от скорости протекания CO_2 , толщины слоя кокса и его температуры из диаграммы на рис. 13.

Пусть температура слоя кокса = 1300° , высота его $l = 30$ см, скорость $v = 15$ см/сек. Тогда из уравнения

$$\frac{1}{t} = \frac{v}{l}$$

находим $1/t$ — обратную величину времени соприкосновения CO_2 с коксом равной

$$\frac{1}{t} = \frac{15}{30} = 0,5$$

Из диаграммы находим, что при $\frac{1}{t} = 0,5$ и 1300° содержание CO = 95%, а при $v = 30$ см/сек. и $l = 30$ см

$$\frac{1}{t} = \frac{30}{30} = 1$$

Этому отношению соответствует 80% CO.

При толщине слоя вдвое большей скорость движения газа может быть увеличена вдвое для получения того же процентного содержания CO.

Другими словами, при данной температуре и данном составе газов толщина слоя топлива и скорость движения газа должны пропорционально меняться в то время, как отношение $\frac{v}{l}$ должно оставаться постоянным.

Так, например, в генераторе с толщиной слоя кокса в 30 см при скорости движения газа в 30 см в секунду будет образовываться такое же количество CO, как в генераторе со слоем кокса в 60 см при скорости движения газа в 60 см/сек.

Точно определить скорость движения газа сквозь слой топлива в генераторе почти невозможно, благодаря трудности определения величины промежутков между кусками топлива.

Если определенное количество газа проходит в единицу времени сквозь слой топлива определенных размеров, то скорости движения будут возрастать, когда количество промежутков уменьшится. Таким образом при спекающемся угле скорость газа будет значительно больше, чем при неспекающем угле. Далее, количество промежутков будет зависеть в известной степени также от растрескивания угля и увеличения количества угольной мелочи.

На рис. 17 представлена графическая зависимость между температурой и количеством образующейся CO при различном времени соприкосновения углекислоты с раскаленным слоем кокса.

На этом рисунке по оси ординат отложен максимально возможный процент содержания CO в генераторном газе, равный 34,7%, а по оси абсцисс отложены температуры.

Приведенные кривые получены упомянутыми выше исследователями при пропускании смеси состоящей из 21% CO₂ и 79% N₂ через раскаленный кокс.

Первая кривая соответствует максимальному проценту CO, который можно получить при бесконечно длительном контактировании CO₂ с коксом. Вторая кривая соответствует 20 сек. контактирования, третья 2 сек. и т. д. включительно до времени контактирования, равном 0,1 сек.

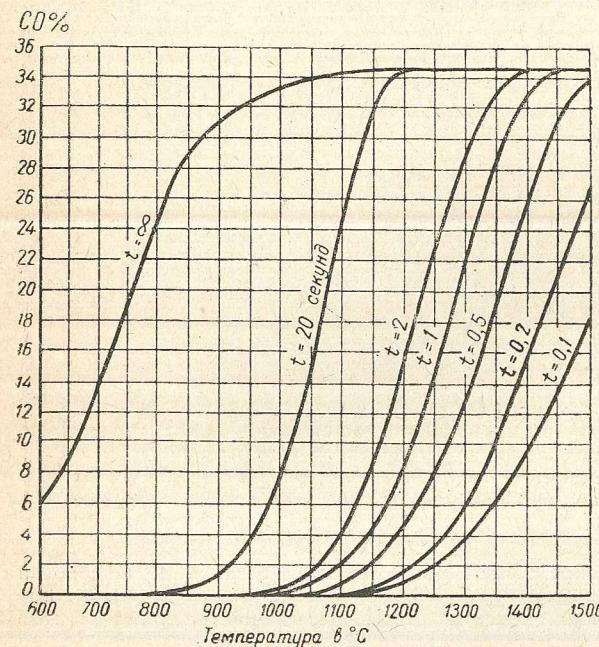


Рис. 17. Образование окси углерода из углекислоты и кокса в зависимости от температуры и времени контактирования.

времени контактирования найдем, что 30% CO соответствует температуре 1360°.

При скорости $v = 60 \frac{\text{см}}{\text{сек.}}$ и той же толщине слоя кокса т. е. $l = 30 \text{ см}$ время контактирования газа с коксом будет равно

$$t = \frac{l}{v} = \frac{30}{60} = 0,5 \text{ сек.}$$

При этом времени контактирования 30% содержания CO будет по той же диаграмме соответствовать температуре 1435°.

Приведенный анализ исследований с несомненностью показывает, что для получения максимального процента CO необходима высокая температура и более продолжительное время

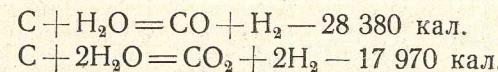
соприкосновения углекислоты с углеродом и топливом, но есть некоторые практические соображения, которые заставляют отказаться от ведения генераторного процесса при 1400—1700°.

Такая высокая температура слоя топлива ведет к образованию шлака, быстрому разрушению топливника и уменьшению коэффициента полезного действия генератора за счет повышенной температуры отходящего газа.

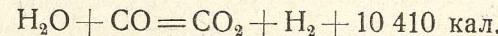
Таким образом, применение полученных данных, касающихся экономичности генератора, должно учитывать в каждом отдельном случае род топлива и вид использования газа (для силовых целей и для промышленных печей).

Реакция образования водорода (H₂). Для понижения возникающих в генераторе высоких температур, а также в целях повышения теплотворной способности газа к подаваемому воздуху примешивают водяной пар.

Содержащийся в водяном паре кислород реагирует с углеродом топлива, освобождая водород. Между углеродом и водяным паром возможны следующие реакции¹



При избыточном подводе пара и достаточном времени взаимодействия может иметь место, так называемая, реакция водяного газа.



При температурах от 900° до 1100° протекает реакция $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$, а при температуре 1100° и выше протекает реакция $C + H_2O = CO + H_2$.

Реакции эти являются эндотермическими, т. е. указанные реакции протекают с поглощением тепла, что вызывает понижение температур в генераторе и уменьшение шлакообразования. Температура отходящего газа понижается за счет обогащения его горючим компонентом, а именно: водородом.

Химический коэффициент полезного действия возрастает при этом от 65—75% до 75—80%.

Первые исследования реакции водяного пара с углеродом провели Гаррис и Фаруп. Гаррис пропускал водяной пар над древесным углем в электрической печи и получил данные, которые приведены в табл. 23; причем, время контакта водяного пара с раскаленным углем было продолжительно.

Более подробно данную реакцию с учетом времени соприкосновения водяного пара с углеродом температуры и модификации углерода изучали Клемент, Адамс и Хескинс.

¹ Реакция $C + H_2O = CO + H_2$ является обратимой реакцией и при температуре 600—700° может пойти в обратном направлении, что повлечет к ухудшению газа.

Таблица 23
Данные опытов с водяным паром и древесным углем

Температура $^{\circ}\text{C}$	Объемный состав газа в %			
	H_2	CO	CO_2	H_2O
674	8,41	0,063	3,84	87,12
758	22,80	2,67	9,23	65,82
838	32,77	7,96	12,11	47,15
861	36,48	11,01	13,13	39,18
954	44,43	32,70	5,66	17,21
1069	48,84	46,31	1,25	3,68
1125	50,73	48,34	0,60	0,303

На рис. 18 представлены кривые, указывающие соотношения между температурой, продолжительностью контакта и количеством разложенного водяного пара. Пунктирная кривая, составленная по результатам исследования древесного угля, дает возможность оценить влияние модификации углерода на разложение водяного пара.

Из кривых рис. 18 можно сделать следующие выводы применительно к генераторам:

1. Если в генератор вводится соответствующее количество водяного пара, то для разложения его требуется температура в 1300—1400° и продолжительность контакта с раскаленным углем от 2 до 3 сек.

2. Температурный фактор имеет большее значение, чем фактор времени контакта водяного пара с углеродом.

3. Физическая природа топлива имеет большое влияние на разложение водяного пара. Из вышеизложенного следует, что скорость реакций $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$ и $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ меньше, чем скорость реак-

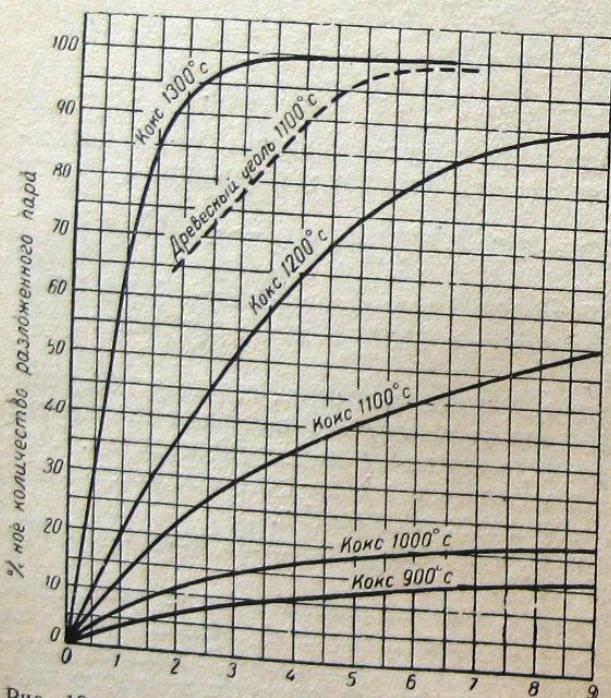
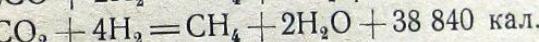
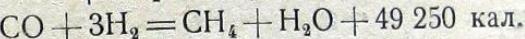


Рис. 18. Количество разложенного водяного пара в зависимости от температуры и времени контакта.

ции $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$, т. е. разложение водяных паров проходит медленнее, чем разложение углекислоты. Другими словами, реакция состояния равновесия водяных паров достигается в более продолжительное время, чем реакция разложения углекислоты. Если для восстановления CO_2 в CO достаточно температуры в 1200°, то для более полного разложения водяных паров желательно иметь температуру в восстановительном поясе не ниже 1300°.

Результаты рассмотренных выше опытов показывают, что, чем выше окислительная и восстановительная зоны и чем выше в них температуры, тем полнее будет происходить разложение углекислоты и паров воды и тем больше будет в газе горючих компонентов CO и H_2 .

Реакция образования метана CH_4 . Метан при газогенераторном процессе может получаться как продукт сухой перегонки, а также и в результате взаимодействия раскаленного углерода с водородом или же от взаимодействия различных газов, составляющих генераторный газ; причем возможны следующие реакции:¹



Предел равновесия метана по реакции $\text{C} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_4$ определялся экспериментально путем медленного пропускания CH_4 через нагретую до определенной температуры трубку, наполненную никелем, кобальтом или известью.

Тоже самое может быть достигнуто и с $\text{C} + 2\text{H}_2$. Однако в этом случае углерод находится в трубке, а водород медленно пропускается через нее. Эти опыты были проведены Майером и Альтмайером при температурах 475—567°, потом были вычислены константы равновесия для температур от 250° до 1150° через каждые 50°.

На основании этих констант был вычислен состав газа. Результаты вычислений приведены в табл. 24.

Результаты исследования реакции $\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} + 49\ 250 \text{ кал.}$ приведены в табл. 25.

Приведенные реакции разложения метана сопровождаются поглощением тепла и поэтому данные реакции усиливаются при повышении температуры и, как это видно из табл. 24, при температуре 1150° реакция разложения метана практически идет до конца.

Действительная реакция образования метана в настоящее время окончательно не выяснена. Так, например, Гофман, Шюле и другие

¹ Следует иметь в виду, что приведенные реакции обратимы, т. е. при соответствующих условиях могут протекать в обратном направлении.

Реакция $C + 2H_2 = CH_4 + 20\ 870$ кал.

Таблица 24

Температура t°	Объемный состав газа в %		Температура t°	Объемный состав газа в %	
	CH_4	H_2		CH_4	H_2
250	98,79	1,21	650	19,03	80,97
300	96,90	3,10	700	11,07	88,93
350	93,12	6,88	750	6,08	93,92
400	86,16	13,84	800	4,41	95,59
450	76,80	23,20	850	1,59	98,41
500	62,53	37,49	1000	0,50	95,50
550	46,69	53,31	1100	0,20	99,80
600	31,68	68,32	1150	0,10	99,90

Таблица 25

Реакция $CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O + 49\ 250$ кал.

Температура t°	Объемный состав газа в %			
	CH_4	H_2	CO	H_2O
427	44,43	8,37	2,79	44,43
527	33,73	24,39	8,13	33,73
627	18,51	47,22	15,74	18,51
727	7,17	64,26	21,42	7,17
827	2,38	71,43	23,81	2,38

Таблица 26

Реакция $2CO + 2H_2 = CH_4 + CO_2 + 57\ 650$ кал.

Температура t°	Объемный состав газа в %			
	CH_4	H_2	CO	CO_2
427	46,56	3,44	3,44	46,56
527	37,17	12,83	12,83	37,17
627	20,56	29,44	29,44	20,56
727	6,94	43,06	43,06	6,04
827	1,90	48,10	48,10	1,90

Таблица 27

Реакция $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O + 38\ 840$ кал.

Температура t°	Объемный состав газа в %			
	CH_4	H_2	CO_2	H_2O
327	30,16	7,69	1,90	60,32
427	25,19	19,56	4,89	50,38
527	18,69	35,36	8,84	37,20
627	11,92	51,36	12,84	23,84
727	7,08	63,00	15,75	14,16
827	4,08	70,20	17,55	8,16

полагают, что метан является продуктом сухой перегонки топлива и при высоких температурах разлагается по схеме $CH_4 = C + 2H_2$. Принимая теорию образования метана как продукта сухой перегонки, следует отметить, что, чем выше температура сухой перегонки и чем дальше газ находится в области высоких температур, тем меньше будет содержаться метана в генераторном газе.

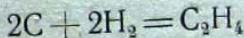
Процент содержания метана в генераторном газе при газификации древесины и древесного угля по обращенному процессу лежит в пределах от 1 до 4%, причем содержание метана в газе, полученном из древесного угля, не превышает 1%.

Согласно вышеприведенной теории образования метана, можно считать, что постоянное наличие его в генераторном газе (в генераторе обращенного процесса), свидетельствует о больших скоростях прохождения продуктов сухой перегонки через раскаленный слой углерода и небольшой скорости протекания процесса разложения CH_4 на C и $2H_2$.

При газификации древесного угля мы допускаем, что при выжиге его происходит неполное выделение продуктов сухой перегонки. Окончательное выделение продуктов сухой перегонки из древесного угля протекает лишь при газификации древесного угля в самом генераторе.

Содержание метана в газе при газификации различных топлив по прямому процессу лежит в интервале от 0,2 до 6,0%. Наибольший процент ($CH_4 = 6\%$) метана содержится в газе при газификации битуминозных топлив (древа, торф и др.) и минимальный процент ($CH_4 = 0,2$), при газификации кокса, антрацита и древесного угля.

Реакция образования этилена C_2H_4 . Этилен является продуктом сухой перегонки топлива и реакция его образования и распада может быть выражена формулой



При температуре в 300° и выше этилен распадается с образованием C , H_2 , CH_4 .

Содержание этилена в генераторном газе не превышает 1%.

§ 24. Теплотворная способность газа

Теплотворная способность газа определяется по аналогии с теплотворной способностью твердого топлива.

Низшая теплотворная способность газа при 0° и 760 мм р. с. определяется по формуле

$$Q_2 = 3045 \text{ CO} + 2580 \text{ } H_2 + 8590 \text{ } CH_4 + 14300 \text{ } C_2H_4 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3} \quad (24)$$

где: 3045, 2580, 8590 и 14300 означают теплотворные способности 1 м^3 газов CO, H_2 , CH_4 и C_2H_4 при 0° и 760 мм давления.

В табл. 28 приведена теплотворная способность различных газов, равно как их молекулярный и объемный веса.

Таблица 28

Молекулярные и объемные веса и теплотворная способность газов при 0° и 760 мм ртутного столба

Наименование газа	Хими-ческая формула	Число атомов	Молекулярный вес	Теплотворная способность				Вес газа в кг/м³	
				высшая		низшая			
				Кал.	Кал.	Кал.	Кал.		
				кг/моль	м³	кг/моль	м³		
Углекислота	CO ₂	3	44,00	44	—	—	—	1,964	
Кислород	O ₂	2	32,00	32	—	—	—	1,429	
Оксис углерода	CO	2	28,00	28	68 220	3 045	68 220	3 045 1,250	
Водород	H ₂	2	2,016	2	68 360	3 050	57 810	2 580 0,0895	
Метан	CH ₄	5	16,03	16	213 000	9 500	192 400	8 590 0,713	
Этилен	C ₂ H ₄	6	28,03	28	341 500	15 240	320 400	14 300 1,250	
Сернистый газ	SO ₂	3	64,07	64	69 800	3 115	69 800	3 115 2,857	
Сероводород	H ₂ S	3	34,09	34	134 290	6 000	123 740	5 525 1,518	
Азот	N ₂	2	28,016	28	—	—	—	1,250	
Воздух	O ₂ +N ₂	28,853	29	—	—	—	—	1,293	
Водяной пар	H ₂ O	3	18,016	18	—	—	—	0,803	

Приведение теплотворной способности газа к нормальным условиям. Теплотворная способность газа обычно подсчитывается на основании его горючих компонентов, полученных при анализе.

Анализ газа производится при определенных атмосферных условиях окружающей среды (давление и температура) на газоанализаторе „Норзэ“. Для приведения теплотворной способности газа, полученной при различных атмосферных условиях, к нормальным условиям производится пересчет. Нормальным состоянием газа считается его состояние при 760 мм давления ртутного столба и 0° Ц. Пересчет производится по формуле

$$Q_r^{\circ} = Q_r \frac{760}{B_6} \frac{T}{T_o} \text{ кал./м}^3 \dots \dots \dots (25)$$

где: Q_r° — теплотворная способность газа при 0° Ц и 760 мм давления,

Q_r — теплотворная способность газа при условиях окружающей среды,

B_6 — барометрическое давление окружающей среды в момент анализа,

T_o — абсолютная температура = 273° Ц,

T — абсолютная температура окружающей среды в момент анализа = 273° + t ° Ц.

Для перехода от нормальных условий к требуемым пересчет производится по формуле

$$Q_r = Q_o \frac{B_6}{760} \frac{T_o}{T} \text{ м}^3 \dots \dots \dots (26)$$

Таблица 29

Водяной пар (как газ)

°Ц	Теплосодержание кал.		Средняя теплоемкость кал./1°			Средняя теплоемкость кал./1°			°Ц	
	1 м³ 0° 760	1 кг	C _v	C ¹ _v	mC _v	C _p	C ¹ _p	mC _p		
0	0	0	0,276	0,342	6,18	0,365	0,453	8,17	0	
100	36,9	45,9	0,280	0,348	6,27	0,369	0,459	8,26	100	
200	74,4	92,6	0,283	0,352	6,35	0,372	0,463	8,34	200	
300	113	140	0,287	0,357	6,43	0,376	0,468	8,42	300	
400	152	188	0,290	0,360	6,50	0,379	0,471	8,49	400	
500	191	238	0,294	0,366	6,58	0,383	0,476	8,57	500	
600	232	288	0,298	0,370	6,66	0,387	0,480	8,65	600	
700	273	339	0,301	0,374	6,74	0,390	0,485	8,73	700	
800	315	391	0,305	0,377	6,82	0,394	0,489	8,81	800	
900	357	445	0,308	0,383	6,90	0,397	0,493	8,90	900	
1 000	401	499	0,312	0,388	6,90	0,401	0,499	8,98	1 000	
1 100	445	554	0,316	0,392	7,09	0,405	0,503	9,08	1 100	
1 200	491	610	0,321	0,398	7,19	0,409	0,508	9,17	1 200	
1 300	537	667	0,324	0,404	7,26	0,413	0,513	9,25	1 300	
1 400	585	727	0,329	0,410	7,37	0,418	0,520	9,36	1 400	
1 500	637	793	0,336	0,418	7,53	0,425	0,528	9,52	1 500	
1 600	692	859	0,343	0,427	7,68	0,432	0,538	9,66	1 600	
1 700	749	932	0,353	0,438	7,90	0,441	0,548	9,89	1 700	
1 800	810	1 007	0,361	0,449	8,09	0,450	0,559	10,08	1 800	
1 900	878	1 090	0,371	0,462	8,33	0,461	0,572	10,31	1 900	
2 000	937	1 165	0,380	0,472	8,52	0,469	0,583	10,51	2 000	
2 100	1 004	1 250	0,389	0,483	8,72	0,478	0,593	10,71	2 100	
2 200	1 075	1 337	0,399	0,496	8,95	0,488	0,606	10,93	2 200	
2 300	1 145	1 427	0,411	0,508	9,20	0,500	0,618	11,18	2 300	
2 400	1 221	1 519	0,420	0,522	9,41	0,509	0,632	11,40	2 400	
2 500	1 299	1 615	0,431	0,534	9,65	0,520	0,644	11,64	2 500	
2 600	1 379	1 715	0,422	0,549	9,90	0,531	0,659	11,89	2 600	
2 700	1 461	1 817	0,453	0,562	10,17	0,542	0,672	12,16	2 700	
2 800	1 564	1 920	0,463	0,575	10,38	0,552	0,685	12,38	2 800	
2 900	1 728	2 022	0,473	0,587	10,60	0,561	0,698	12,58	2 900	
3 000	1 718	5 132	0,482	0,599	10,80	0,571	0,710	12,80	3 000	

Пример. Определить теплотворную способность генераторного газа и привести к нормальным условиям, если дано:

$\text{CO}_2 = 10\%$, $\text{O}_2 = 0,2\%$, $\text{CO} = 20\%$, $\text{H}_2 = 15\%$, $\text{CH}_4 = 2\%$, $\text{C}_2\text{H}_4 = 0,5\%$, $\text{N}_2 = 52,3\%$.

Средняя температура и давление окружающей среды в момент анализа $t_k = 20^\circ \text{ Ц}$ и $B_6 = 750 \text{ мм}$

где t_k — комнатная температура.

Подставляя данные в формулу получим

$$Q_r = 3 045 \cdot 0,20 + 2 580 \cdot 0,15 + 8 590 \cdot 0,02 + 14 300 \cdot 0,005 = 1 239 \text{ кал./м}^3$$

Таблица 30

Углекислота

°Ц	Теплосодержание кал.		Средняя теплоемкость кал./1°			Средняя теплоемкость кал./1°			°Ц
			1 м³ 0° 760	1 кг	1 моль	1 м³ 0° 760	1 кг	1 моль	
			C_V	C_{V}^1	mC_V	C_p	C_p^1	mC_p	
0	0	0	0,298	0,152	6,68	0,387	0,197	8,67	0
100	41,0	20,9	0,322	0,164	7,21	0,410	0,209	9,19	100
200	86,0	43,8	0,342	0,174	7,65	0,430	0,219	9,64	200
300	134	68,1	0,357	0,182	8,02	0,447	0,227	10,01	300
400	185	93,6	0,372	0,189	8,33	0,472	0,234	10,32	400
500	236	120	0,384	0,195	8,59	0,477	0,240	10,58	500
600	289	147	0,393	0,200	8,80	0,482	0,245	10,79	600
700	342	175	0,401	0,204	8,97	0,489	0,249	10,96	700
800	396	202	0,406	0,207	9,09	0,495	0,252	11,08	800
900	453	231	0,414	0,211	9,28	0,503	0,256	11,27	900
1 000	511	260	0,422	0,215	9,45	0,511	0,263	11,41	1 000
1 100	570	290	0,428	0,218	9,60	0,517	0,263	11,5	1 100
1 200	630	321	0,436	0,222	9,76	0,525	0,267	11,75	1 200
1 300	690	352	0,442	0,225	9,90	0,531	0,270	11,89	1 300
1 400	753	384	0,449	0,229	10,08	0,538	0,274	12,07	1 400
1 500	817	416	0,456	0,232	10,21	0,545	0,277	12,20	1 500
1 600	882	449	0,462	0,235	10,35	0,551	0,280	12,34	1 600
1 700	949	483	0,468	0,239	10,50	0,557	0,284	12,49	1 700
1 800	1 016	517	0,475	0,242	10,65	0,564	0,287	12,64	1 800
1 900	1 085	552	0,482	0,246	10,80	0,571	0,290	12,79	1 900
2 000	1 154	588	0,488	0,248	10,95	0,577	0,298	12,94	2 000
2 100	1 226	624	0,495	0,252	11,10	0,584	0,297	13,09	2 100
2 200	1 298	661	0,502	0,255	11,25	0,591	0,300	13,24	2 200
2 300	1 372	700	0,508	0,259	11,40	0,597	0,304	13,39	2 300
2 400	1 447	736	0,514	0,262	11,52	0,603	0,307	13,51	2 400
2 500	1 523	776	0,520	0,265	11,65	0,609	0,310	13,64	2 500
2 600	1 601	817	0,527	0,269	11,81	0,616	0,314	13,80	2 600
2 700	1 679	855	0,533	0,272	11,95	0,622	0,317	13,94	2 700
2 800	1 758	895	0,539	0,275	12,09	0,628	0,320	14,08	2 800
2 900	1 839	936	0,546	0,278	12,22	0,635	0,323	14,21	2 900
3 000	1 922	980	0,552	0,281	12,38	0,641	0,326	14,37	3 000

Теплотворная способность газа при нормальных условиях определяется по формуле (25) при $t_k = 20^\circ$ и $B_6 = 750$ мм величиной

$$Q_g = 1239 \frac{760 \cdot 293}{750 \cdot 273} = 1331 \text{ кал.}$$

Разница в теплотворной способности для нормальных условий, по сравнению с замеренным, будет равна $\frac{1331 - 1239}{1331} \cdot 100 = 6,9\%$, т. е. представляет значительную величину, которой в практических условиях не следует пренебрегать.

Таблица 30

Азот и двухатомные газы (O_2 , CO , воздух)

°Ц	Теплосодержание кал.		Средняя теплоемкость кал./1°			Средняя теплоемкость кал./1°			°Ц	
			1 м³ 0° 760	1 кг	1 моль	1 м³ 0° 760	1 кг	1 моль		
			C_V	C_{V}^1	mC_V	C_p	C_p^1	mC_p		
0	0	0	0	0,223	0,172	4,99	0,312	0,240	6,98	0
100	31,3	24,1	0,224	0,173	5,02	0,313	0,241	7,01	100	
200	62,8	48,4	0,226	0,174	5,05	0,314	0,242	7,03	200	
300	94,5	72,9	0,227	0,175	5,07	0,315	0,243	7,06	300	
400	126	97,6	0,228	0,176	5,10	0,316	0,244	7,09	400	
500	158	122	0,229	0,177	5,13	0,317	0,245	7,11	500	
600	191	148	0,230	0,178	5,16	0,319	0,246	7,14	600	
700	224	173	0,232	0,179	5,20	0,321	0,247	7,19	700	
800	257	199	0,233	0,180	5,23	0,322	0,248	7,21	800	
900	293	227	0,236	0,183	5,28	0,325	0,251	7,28	900	
1 000	329	255	0,239	0,185	5,36	0,328	0,253	7,35	1 000	
1 100	363	281	0,241	0,186	5,40	0,330	0,254	7,39	1 100	
1 200	398	308	0,243	0,188	5,45	0,332	0,256	7,44	1 200	
1 300	438	335	0,245	0,189	5,49	0,334	0,257	7,48	1 300	
1 400	469	362	0,246	0,191	5,52	0,336	0,259	7,51	1 400	
1 500	505	390	0,248	0,192	5,56	0,337	0,260	7,55	1 500	
1 600	541	418	0,249	0,193	5,58	0,338	0,261	7,57	1 600	
1 700	577	446	0,251	0,194	5,62	0,340	0,262	7,61	1 700	
1 800	614	474	0,253	0,195	5,65	0,342	0,263	7,64	1 800	
1 900	651	503	0,255	0,196	5,70	0,341	0,264	7,69	1 900	
2 000	688	532	0,256	0,197	5,73	0,345	0,265	7,72	2 000	
2 100	726	561	0,257	0,199	5,76	0,346	0,267	7,75	2 100	
2 200	764	591	0,259	0,200	5,80	0,348	0,268	7,79	2 200	
2 300	803	621	0,260	0,201	5,83	0,349	0,269	7,82	2 300	
2 400	842	650	0,262	0,202	5,87	0,351	0,270	7,86	2 400	
2 500	881	681	0,264	0,204	5,90	0,353	0,271	7,88	2 500	
2 600	919	710	0,265	0,205	5,93	0,354	0,272	7,92	2 600	
2 700	959	741	0,267	0,206	5,97	0,356	0,274	7,96	2 700	
2 800	999	772	0,268	0,207	6,00	0,357	0,275	7,99	2 800	
2 900	1 040	804	0,270	0,209	6,04	0,359	0,277	8,03	2 900	
3 000	1 081	835	0,271	0,210	6,07	0,360	0,278	8,06	3 000	

Приведение объема газа к нормальным условиям. Объем газа измеряется при определенных условиях окружающей среды (давление и температура).

Для сравнения объема газа, замеренного при различных условиях, приводят газ к нормальным условиям, т. е. к 0°Ц и 760 мм давления.

Формула приведения имеет вид

$$V_o = \frac{V p T_o}{T p_o} M^3 \dots \dots \dots \quad (27)$$

где: V_0 — объем газа при 0°Ц и 760 мм давления,
 V — объем газа, замеренный в момент испытания,
 T_0 — абсолютная температура,
 T — абсолютная температура в момент испытания,
 p_0 — нормальное давление в мм ртутного столба.
Для перехода от нормальных условий к требуемым, пересчет производится по формуле

$$V = V_0 \frac{p_0 T}{\sigma T_0}$$

Пример. Определить объем газа при нормальных условиях, т. е. при 0°Ц и 760 мм давления, если объем его замеренный при 20°Ц и 760 мм равен 200 м^3 . Подставляя заданные значения в формулу (27) получим

$$V_0 = \frac{200 \cdot 273 \cdot 750}{293 \cdot 760} = 183 \text{ м}^3$$

§ 25. Теплоемкость газа

Объемная теплоемкость. Количество тепла, необходимое для нагревания 1 м^3 газа или водяного пара на 1°Ц при постоянном объеме, называется теплоемкостью при постоянном объеме и обозначается через C_V . Аналогично количество тепла, потребное для нагревания 1 м^3 газа на 1°Ц при постоянном давлении, обозначается через C_p . На основании опытов установлено, что $C_p > C_V$.

Весовая теплоемкость. Количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг или одной килограмм-молекулы данного газа на 1°Ц , называется весовой теплоемкостью.

В табл. 29, 30 и 31 приведены объемные и весовые теплоемкости различных газов и их теплосодержание.

§ 26. Определение весового содержания отдельных химических элементов в 1 м^3 газа

Генераторный газ представляет собой механическую смесь отдельных газов, как-то: CO_2 , O_2 , CO , H_2 , CH_4 , SO_2 , H_2S , N_2 .

Определение весового содержания в этом газе отдельных элементов будем вести, исходя из следующего:

1. Одна килограмм-молекула CO_2 весит 44 кг, содержит 12 кг С и 32 кг O_2 и занимает объем¹ при 0°Ц и 760 мм р. с. равный $22,4 \text{ м}^3$. Следовательно, в 1 м^3 CO_2 будет содержаться $\frac{12}{22,4} = 0,536 \text{ кг С}$ и $\frac{32}{22,4} = 1,429 \text{ кг O}_2$.

2. Одна килограмм-молекула CO весит 28 кг, содержит 12 кг С и 16 кг O_2 и занимает объем $22,4 \text{ м}^3$. Следовательно, в 1 м^3 CO будет содержаться $\frac{12}{22,4} = 0,536 \text{ кг С}$ и $\frac{16}{22,4} = \frac{32 \cdot 0,5}{22,4} = 0,5 \cdot 1,429 \text{ кг O}_2$.

¹ На основании закона Авогадро объем 1 килограмм-молекулы любого газа при 0°Ц и 760 мм р. с. равен $22,4 \text{ м}^3$, а при 15°Ц и 735,5 мм р. с. равен $24,4 \text{ м}^3$.

3. Одна килограмм-молекула CH_4 весит 16 кг, содержит 12 кг С и 4 кг H_2 . Следовательно, в 1 м^3 CH_4 будет содержаться $\frac{12}{22,4} = 0,536 \text{ кг С}$ и $\frac{4}{22,4} = 2 \cdot 0,0899 \text{ кг H}_2$.

4. Одна килограмм-молекула C_2H_4 весит 28 кг, содержит 24 кг С и 4 кг H_2 . Следовательно, в 1 м^3 C_2H_4 будет содержаться $\frac{24}{22,4} = 2 \cdot 0,536 \text{ кг С}$ и $\frac{4}{22,4} = 2 \cdot 0,0899 \text{ кг H}_2$.

5. Одна килограмм-молекула O_2 весит 32 кг и занимает объем $22,4 \text{ м}^3$. Следовательно, в 1 м^3 O_2 будет $\frac{32}{22,4} = 1,429 \text{ кг O}_2$.

6. Одна килограмм-молекула H_2 весит 2 кг и занимает объем $22,4$. Следовательно, в 1 м^3 H_2 будет $\frac{2}{22,4} = 0,0899 \text{ кг H}_2$.

7. Одна килограмм-молекула SO_2 весит 64 кг, содержит 32 кг S и 32 кг O_2 . Следовательно, в 1 м^3 SO_2 будет содержаться $\frac{32}{22,4} = 1,429 \text{ кг S}$ и $\frac{32}{22,4} = 1,429 \text{ кг O}_2$.

8. Одна килограмм-молекула H_2S весит 34 кг, содержит 32 кг S и 2 кг H_2 . Следовательно, в 1 м^3 H_2S будет содержаться $\frac{32}{22,4} = 1,429 \text{ кг S}_2$ и $\frac{2}{22,4} = 0,0899 \text{ кг H}_2$.

9. Одна килограмм-молекула N_2 весит 28 кг и занимает объем $22,4 \text{ м}^3$. Следовательно, в 1 м^3 N_2 будет $\frac{28}{22,4} = 1,251 \text{ кг N}_2$.

Весовое содержание отдельных элементов в 1 м^3 газа будет равно

углерода (С)	= 0,536	$(\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4)$ кг
кислорода (O)	= 1,429	$(\text{CO}_2 + \text{O}_2 + 0,5 \text{CO} + \text{SO}_2)$ кг
водорода (H)	= 0,0899	$(\text{H}_2 + 2\text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4)$ кг
серы (S)	= 1,429	$(\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S})$ кг
азота (N)	= 1,251	N_2 кг

Таким образом полный вес 1 м^3 сухого генераторного газа можно найти из суммы весовых содержаний отдельных элементов

$$\begin{aligned} G_2 = & \text{C} + \text{O} + \text{H} + \text{S} + \text{N} = 0,536 (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4) + \\ & + 1,429 (\text{CO}_2 + \text{O}_2 + 0,5\text{CO} + \text{SO}_2) + 0,0899 (\text{H}_2 + 2\text{CH}_4 + \\ & + 2\text{C}_2\text{H}_4) + 1,429 (\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S}) + 1,251 \text{N}_2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \dots \quad (28) \end{aligned}$$

§ 27. Определение выхода газа из 1 кг газифицируемого топлива

Выход газа из 1 кг газифицируемого топлива определяется на основании баланса углерода, поступившего в газогенератор в виде состава топлива C_p , и углерода, вышедшего из газогене-

ратора в виде компонентов генераторного газа CO_2 , CO , CH_4 и C_2H_4 , а также углерода в виде механических потерь в провале, шлаке и уносе, или по балансу азота, поступающего в газогенератор и выходящего из него.

Вывод формулы выхода газа по балансу углерода произведем на основе следующих соображений.

Одна килограмм-молекула CO_2 содержит 12 кг С и занимает объем при 0°C и 760 мм р. с. равный $22,4 \text{ м}^3$. Следовательно, в $1 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ содержится $\frac{12}{22,4} = 0,536$ кг С.

Одна килограмм-молекула CO содержит 12 кг С и занимает объем $22,4 \text{ м}^3$. Следовательно, в $1 \text{ м}^3 \text{ CO}$ будет содержаться $\frac{12}{22,4} = 0,536$ кг С.

Одна килограмм-молекула CH_4 содержит 12 кг С и занимает объем $22,4 \text{ м}^3$. Следовательно, в $1 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$ будет содержаться $\frac{12}{22,4} = 0,536$ кг С.

Одна килограмм-молекула C_2H_4 содержит 24 кг С и занимает объем $22,4 \text{ м}^3$. Следовательно, в $1 \text{ м}^3 \text{ C}_2\text{H}_4$ будет содержаться $\frac{24}{22,4} = 2 \cdot 0,536$ кг С.

Суммируя углерод, перешедший в генераторный газ в виде CO_2 , CO , CH_4 и C_2H_4 , получим для 1 м^3 следующее выражение: $0,536 (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4)$.

Умножая полученное значение на выход газа $V_r^c \text{ м}^3$ и приравнивая к углероду топлива, израсходованного на газификацию (с учетом углерода в провале, шлаке и уносе), получим равенство

$$0,536 (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4) V_r^c = C_p - (C_n + C_w + C_y)$$

Решая уравнение относительно V_r^c будем иметь

$$V_r^c = \frac{C_p - (C_n + C_w + C_y)}{0,536 (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4) \text{ кг}} \text{ или}$$

$$V_r^c = 1,86 \frac{C_p - (C_n + C_w + C_y)}{\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4 \text{ кг}} \text{ м}^3 \quad \dots \dots \dots \quad (29)$$

т. е. выход сухого газа V_r^c равен углероду, перешедшему в газ,деленному на содержание углерода, заключающегося в генераторном газе в виде компонентов CO_2 , CO , CH_4 и C_2H_4 .

При выводе данной формулы, приняты следующие обозначения: V_r^c — выход газа из 1 кг газифицируемого топлива в м^3 ,

C_p — весовое содержание углерода в 1 кг газифицируемого топлива,

CO_2 , CO , CH_4 , C_2H_4 — содержание компонентов генераторного газа в долях кубического метра,

C_n — потеря углерода в провале, под колосниковой решетку вместе с золой на 1 кг топлива,

C_w — потеря углерода в шлаке на 1 кг топлива,

C_y — потеря углерода в уносе вместе с газом в виде угольной мелочи и сажи на 1 кг топлива.

Выход формулы выхода газа по балансу азота производится на основании следующих соображений.

Количество азота, поступающего в газогенератор, как составная часть воздуха и азота, содержащегося в топливе, выражается следующим образом

$$\text{N}_2^B V_b + \frac{\text{N}_p^T}{1,251}$$

Количество азота, выходящего с другими газами из газогенератора, будет равно

$$\text{N}_2^r V_r^c$$

Приравнивая полученные значения между собой и решая уравнение относительно выхода газа V_r^c , будем иметь

$$V_r^c = \frac{\text{N}_2^B V_b + \frac{\text{N}_p^T}{1,251} \text{ м}^3}{\text{N}_2^r} \text{ кг} \quad \dots \dots \dots \quad (30)$$

где: N_2^B и N_2^r — объемное содержание азота воздуха и генераторного газа в долях кубического метра,

N_p^T — содержание азота в газифицируемом топливе в долях килограмма,

V_b — количество воздуха потребное для газификации 1 кг топлива в м^3 ,

1,251 — вес 1 м^3 азота при 0°C и 760 мм р. с.

Выход влажного газа определяется из следующей формулы

$$V_b^r = V_r^c + \frac{W}{\gamma} = V_r^c + \frac{9H_p + W_p - 0,806 V_r^c (\text{H}_2 + 2\text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_4)}{0,804} \quad (31)$$

где: V_b^r — выход сухого газа из 1 кг газифицируемого топлива, определяющегося по формуле (29 и 30),

γ — вес 1 м^3 водяных паров при 0°C и 760 мм р. с.,

H_p и W_p — содержание в 1 кг газифицируемого топлива водорода и влаги,

H_2 , CH_4 и C_2H_4 — содержание соответственных газов в 1 м^3 генераторного газа.

§ 28. Определение количества воздуха, потребного для газификации 1 кг топлива

Количество воздуха, поступающего в газогенератор, определяется по балансу азота, входящего в газогенератор, как составная часть воздуха и топлива

$$\text{N}_2^B V_b + \frac{\text{N}_p^T}{1,251} G_h N_e$$

и азота, выходящего из газогенератора, как компонент генераторного газа

$$N_2^r V_r^c G_h N_e$$

Приравнивая между собой приведенные выражения, получим следующее уравнение

$$N_2^b V_b + \frac{N_p^T}{1,251} G_h N_e = N_2^r V_r^c G_h N_e$$

Решая уравнение относительно V_b будем иметь

$$V_b = \frac{N_2^r V_r^c - \frac{N_p^T}{1,251}}{N_2^b} G_h N_e \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{\text{час}}$$

где: V_b — количество воздуха, поступающего в газогенератор, N_2^b и N_2^r — содержание азота в воздухе и газе в долях м^3 , N_p^T — содержание азота в газифицируемом топливе в долях кг,

V_r^c — выход сухого газа из 1 кг топлива, 1,251 — вес 1 м^3 азота,

G_h — расход топлива на 1 л. с./час,

N_e — эффективная мощность двигателя.

Потребное же количество воздуха для газификации одного кг топлива определяется по формуле

$$V_b = \frac{N_2^r V_r^c - \frac{N_p^T}{1,251}}{N_2^b} \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{1 \text{ кг топлива}} \dots \dots \dots \quad (32)$$

Пример. Вычислить необходимое количество воздуха для газификации 1 кг древесины.

I

$$\begin{aligned} C_p &= 40,0\% \\ H_p &= 4,82\% \\ W_p &= 20,0\% \\ A_p &= 0,8\% \\ O_p &= 33,9\% \\ N_p &= 0,48\% \end{aligned}$$

II

$$\begin{aligned} CO_2 &= 11,0\% \\ O_2 &= 0,2\% \\ CO &= 20,0\% \\ H_2 &= 12,0\% \\ CH_4 &= 2,0\% \\ C_2H_4 &= 0,3\% \\ N_2 &= 54,5\% \end{aligned}$$

III

$$\begin{aligned} C_y + C_n + C_w &= 3,0\% \\ \text{от углерода, т. е. от} \\ 40\% \text{ или } 1,2 \text{ от } 100\% \end{aligned}$$

Необходимое количество воздуха для газификации определяется по формуле

$$V_b = \frac{N_2^r V_r^c - \frac{N_p^T}{1,251}}{N_2^b}$$

где

$$V_r^c = 1,86 \frac{C_p - (C_y + C_w + C_n)}{CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_4} \frac{\text{м}^3 \text{ газа}}{1 \text{ кг топлива}}$$

Подставляя цифровые значения, получаем

$$V_r^c = 1,86 \frac{40 - 1,2}{11 + 20 + 2 + 2 \cdot 0,3} = 2,15 \frac{\text{м}^3 \text{ газа}}{1 \text{ кг топлива}}$$

Следовательно

$$V_b = \frac{54,5 \cdot 2,15 - 0,048}{79} = 1,457 \text{ м}^3$$

т. е. необходимое количество воздуха для газификации 1 кг древесины приведенного состава равно $V_b = 1,457 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$ при 0° и 760 мм р. с.

§ 29. Определение содержания влаги газа

Расчет влажности газа производится по балансу водорода, поступающего в газогенератор и выходящего из него, на основании следующих соображений.

Весовое содержание водорода в 1 кг газифицируемого топлива определяется из выражения

$$H_p + \frac{W_p}{9}$$

где: H_p — содержание водорода в топливе в долях кг,

W_p — содержание влаги в топливе в долях кг.

Весовое содержание водорода в 1 м^3 сухого газа выражается через

$$0,0895 (H_2 + 2CH_4 + 2C_2H_4)$$

где: H_2 , CH_4 и C_2H_4 — содержание водорода, метана и этилена в сухом газе в долях м^3 ,

0,0895 кг — вес 1 м^3 водорода в кг.

Принимая, что весь водород, химически связанный в топливе, а также водород влаги переходят в водяной пар, допускаем, что смелообразования не будет и следовательно

$$H_p + \frac{W_p}{9} = V_r^c 0,0895 (H_2 + 2CH_4 + 2C_2H_4) + \frac{W}{9}$$

где: V_r^c — выход газа из 1 кг газифицируемого топлива в м^3 , W — весовое содержание влаги в газе на 1 кг газифицируемого топлива.

Решая уравнение относительно W , получим

$$W = 9H_p + W_p - V_r^c 0,806 (H_2 + 2CH_4 + 2C_2H_4) \frac{\text{кг влаги}}{1 \text{ кг топлива}} \quad (33)$$

Уравнение (33) не учитывает водорода влаги воздуха, а также подводимых водяных паров (водяной пар подводится в генераторах, работающих на высококалорийных топливах, как-то: древесный уголь, кокс, антрацит и другие каменные угли).

Упругость водяных паров и влажность газа при насыщении его водяными парами

Таблица 32

Температура в ° Ц в мм р. с.	Влагосодержание в г				Температура в ° Ц	Упругость насыщенного пара в мм р. с.	Влагосодержание в г					
	В 1 м³ газа		На 1 нормальный м³ сухого газа				В 1 м³ газа		На 1 нормальный м³ сухого газа			
	При температуре ° Ц	При 0° Ц и 760 мм р. с.	При температуре ° Ц	При 0° Ц и 760 мм р. с.			При температуре ° Ц	При 0° Ц и 760 мм р. с.	При температуре ° Ц	При 0° Ц и 760 мм р. с.		
0	4,58	4,8	4,8	4,9	51	97,20	86,6	103	118			
1	4,93	5,2	5,2	5,2	52	102,1	90,7	108	125			
2	5,29	5,6	5,6	5,6	53	107,2	94,9	113	132			
3	5,69	6,0	6,0	6,1	54	112,5	99,3	119	140			
4	6,10	6,4	6,4	6,5	55	118,0	104	125	148			
5	6,54	6,8	6,9	7,0	56	123,8	109	131	156			
6	7,01	7,3	7,4	7,5	57	129,8	114	137	166			
7	7,51	7,7	7,9	8,0	58	136,1	119	144	175			
8	8,05	8,3	8,5	8,6	59	142,6	124	151	186			
9	8,61	8,8	9,1	9,2	60	149,4	130	158	197			
10	9,21	9,4	9,7	9,9	61	156,4	135	165	208			
11	9,84	10,0	10,4	10,5	62	163,8	141	173	221			
12	10,52	10,7	11,1	11,3	63	171,4	147	181	234			
13	11,23	11,3	11,9	12,1	64	179,3	154	190	248			
14	11,99	12,0	12,7	12,9	65	187,5	160	198	263			
15	12,79	12,8	13,5	13,8	66	196,1	167	207	280			
16	13,63	13,6	14,4	14,7	67	205,0	174	217	297			
17	14,53	14,5	15,4	15,7	68	214,2	181	226	315			
18	15,48	15,4	16,4	16,7	69	223,7	189	236	335			
19	16,48	16,3	17,4	17,8	70	233,7	197	247	357			
20	17,54	17,3	18,5	19,0	71	243,9	205	258	380			
21	18,65	18,3	19,7	20,2	72	254,6	213	269	405			
22	19,83	19,4	21,8	21,5	73	265,7	222	281	432			
23	21,07	20,5	22,3	22,9	74	277,2	231	293	461			
24	22,38	21,8	23,7	24,4	75	289,1	240	306	493			
25	23,76	23,0	25,1	26,0	76	301,4	249	319	528			
26	25,21	24,3	26,7	27,6	77	314,1	259	332	566			
27	26,74	25,7	28,3	29,3	78	327,3	269	346	608			
28	28,35	27,2	30,0	31,1	79	341,0	280	361	654			
29	30,04	28,7	31,8	33,1	80	355,1	290	375	705			
30	31,82	30,3	33,6	35,1	81	369,7	301	391	761			
31	33,70	32,0	35,6	37,3	82	384,9	313	407	825			
32	35,66	33,7	37,7	39,6	83	400,6	325	424	896			
33	37,73	35,6	39,9	42,0	84	416,8	337	441	976			
34	39,90	37,5	42,2	44,5	85	433,6	350	458	1 070			
35	42,18	39,5	44,6	47,3	86	450,9	363	477	1 170			
36	44,56	41,6	47,1	50,1	87	468,7	376	496	1 290			
37	47,07	43,8	49,8	53,1	88	487,1	389	515	1 440			
38	49,69	46,1	52,5	56,2	89	506,1	404	535	1 600			
39	52,44	48,5	55,4	59,6	90	525,8	418	556	1 800			
40	55,32	51,0	58,5	63,1	91	546,1	433	577	2 050			
41	58,34	53,6	61,7	66,8	92	567,0	448	600	2 360			
42	61,50	56,4	65,0	70,8	93	588,6	464	622	2 760			
43	64,80	59,2	68,5	74,9	94	610,9	480	646	3 290			
44	68,26	62,2	72,2	79,3	95	633,9	497	670	4 040			
45	71,88	65,2	76,0	84,0	96	657,6	514	695	5 160			
46	75,65	68,5	80,0	88,8	97	682,1	532	721	7 040			
47	79,60	71,8	84,2	94,0	98	707,3	550	748	10 800			
48	83,71	75,3	88,5	99,5	99	733,2	569	775	22 000			
49	88,02	78,9	93,1	105	100	760,0	588	804				
50	92,51	82,7	97,8	111								

Поэтому нужно ввести в уравнение (33) поправку на указанные величины и тогда выражение для влажности газа будет иметь следующий вид:

$$W = 9H_p + W_p + W_n + W_v - V_g^c 0,806 (H_2 + 2CH_4 + 2C_2H_6) \frac{\text{кг влаги}}{1 \text{ кг топлива}} \quad (34)$$

где: W_n — влага пара, подводимого в газогенератор, в кг,
 W_v — влага воздуха, поступающего в газогенератор.

Уравнение (34) применимо для газогенераторов, работающих по обращенному процессу, а также для топлив, не содержащих смолы. В случае же газификации топлив, содержащих смолу, в газогенераторах, работающих по прямому процессу, следует внести поправку на водород, переходящий в смолу.

Тогда уравнение (34) примет следующий вид:

$$W = 9H_p + W_p + W_n + W_v - V_g^c 0,806 (H_2 + 2CH_4 + 2C_2H_6) - H_c \frac{\text{кг влаги}}{1 \text{ кг топлива}}$$

где H_c — содержание водорода в смоле $\frac{\text{кг}}{1 \text{ кг топлива}}$.

Содержание влаги в м^3 на 1 кг газифицируемого топлива определяется следующей формулой

$$W_1 = \frac{W}{\gamma} \frac{\text{м}^3 \text{ влаги}}{1 \text{ кг топлива}} \quad (35)$$

где γ — вес 1 м^3 водяных паров при 0° и 760 мм р. с.

Влажность на 1 м^3 газа определяется из выражения

$$W_g = \frac{W_1}{V_g^c + W_1} \frac{\text{м}^3 \text{ влаги}}{1 \text{ м}^3 \text{ газа}} \quad (36)$$

Так как при расчетах газогенератора, равно как при испытаниях газогенераторов приходится определять влажность газа, то в табл. 32 приведены упругость водяных паров и влажность газа при температурах в интервале от 0° до 100° .

§ 30. Факторы, влияющие на процесс генерации

1. Влияние конструкции газогенератора. Среди современных газогенераторов, осуществляющих обращенный и прямой процесс, встречаются следующие разновидности подвода воздуха в генератор:

а) Газогенераторы с центральным подводом воздуха в топливник, без подогрева и с подогревом.

б) Газогенераторы с подводом воздуха в топливник по периферии посредством фурм или щелей, как с подогревом, так и без подогрева.

в) Газогенераторы с комбинированным подводом воздуха, т. е. с центральным и по периферии.

По виду применяемых внутренних форм топливника газогенераторы бывают: цилиндрические, конусные, диаболообразные, четырехугольные.

В качестве материала для топливников употребляют: шамотный кирпич, шамотные кольца, жароупорные металлы, нежароупорные металлы.

Конструкция генератора оказывает огромное влияние на калорийность газа и на устойчивый режим работы двигателя. Основные требования, предъявляемые к газогенератору, сводятся к следующему:

газогенератор должен обеспечить бесперебойную работу двигателя при различных его нагрузках, для чего необходимо генерировать высококалорийный газ;

газогенератор должен работать без чистки от 50 до 75 часов; газогенератор должен быть долговечен в работе.

2. Влияние подогрева воздуха и топлива. Интенсивный подогрев воздуха и топлива, поступающего в генератор, за счет отходящего газа, повышает температуру в активной зоне, вследствие чего увеличивается выход горючих компонентов газа и повышается коэффициент полезного действия генератора.

Опытами НАТИ установлено, что подогрев воздуха и топлива, находящегося в бункере, дает возможность увеличить мощность двигателя на 8—12%.

3. Влияние влажности топлива. Опытами установлено, что влажность газифицируемого топлива в генераторах обращенного процесса не должна превышать 20—25%.

В газогенераторах, работающих по прямому процессу, влажность газифицируемого топлива может быть увеличена до 40—50%. Возможность газификации топлив с повышенной влажностью в генераторах прямого процесса производится за счет использования физического тепла газа, полученного им в нижних слоях генератора. С целью получения газа наилучшего качества, необходимо обеспечить достаточную высоту генератора или произвести измельчение топлива. В обоих случаях температура выходящего газа должна быть не выше 120° и не ниже 105°. Если температура отходящего газа будет ниже 100°, то водяные пары и смола будут в верхней части генератора конденсироваться, что поведет к нарушению режима генератора. В случае отвода газа с более высокой температурой, физической теплоты газа будет недостаточно для полного испарения влаги из топлива. Поэтому активная зона будет уменьшаться, а количество неразложенной углекислоты будет увеличиваться, в результате чего уменьшается теплотворная способность газа.

4. Влияние размера кусков топлива. В настоящее время эксплуатационной практикой газогенераторов твердо установлено, что размеры кусков топлива имеют громадное значение на устойчивый режим генератора и на качество газа.

Крупные куски топлива, имеющие малую поверхность соприкосновения с воздухом, газифицируются медленно, а мелкие быстрее. Поэтому при выборе размера кусков топлива следует исходить из закона Венцеля, который установил, что, чем больше будет развита удельная поверхность соприкосновения фаз, участвующих в процессе, тем выше будет скорость процесса, или иначе чем больше поверхность газифицируемого топлива, тем большее число частиц газа может принять участие в реакции. Мелкий размер топлива имеет большую поверхность, но использование его не всегда возможно, ввиду трудности равномерного распределения воздуха по всему сечению топливника, а также и ввиду большого уноса вместе с газом. Поэтому, выбор размера кусков топлива определяется конструкцией генератора, т. е. высотой активной зоны, диаметром топливника, способом и скоростью подвода воздуха, а также и физическими свойствами топлива.

5. Влияние зольности топлива. В зависимости от рода топлива содержание золы и ее температура плавления, бывают различные. Зольность древесины и древесного угля не превышает 2—3%. Температура плавления древесной золы лежит в пределах 1200—1400°. Поэтому газификация древесины и древесного угля может производиться при любых температурах без опасения получить защелкование генератора.

Громадное большинство каменных углей дает легкоплавкую золу, которая плавится при температурах 800—1000°. В этих случаях зола заливает куски топлива, образуя большие комья и тем самым вызывая неравномерное распределение воздуха и газа по сечению генератора. Кроме того зола приваривается к футеровке и разъедает ее.

Причиной образования спекшейся золы (шлака) является высокая температура; поэтому со шлакованием борются путем понижения температуры в активной зоне и при помощи шурочки.

Понижение температуры активной зоны достигается примешиванием водяного пара к подаваемому воздуху в таком количестве, чтобы наивысшая температура в генераторе была ниже температуры плавления золы. Понижение температуры может быть произведено также за счет уменьшения форсировки генератора. Шурочка генератора производится обычно вручную специальными штангами. При подводе водяного пара в генератор шлак делается рыхлым и мягким, а поэтому его легко убирать. Следует иметь в виду, что введение большого количества водяного пара в генератор понижает температуру активной зоны и ухудшает процесс газификации, т. е. теплотворная способность газа снижается.

Применение водяного охлаждения шахты генератора исключает прилипание шлаков к стенкам топливника.

6. Влияние колосниковой решетки. К колосниковой решетке газогенераторов предъявляются следующие требования. Она должна противостоять тепловым и механическим напряже-

ниям, равномерно распределить воздух, поступающий в топливник газогенератора прямого процесса, или равномерно распределить отбор газа отсасываемого из генератора обращенного процесса. Провал углерода топлива через колосниковую решетку должен быть незначительным.

Для удовлетворения приведенных требований необходим выбор соответствующего материала для колосниковой решетки, равно как надлежащего профилирования и расчета ее живого сечения.

Под живым сечением решетки принято понимать отношение свободной поверхности колосниковой решетки для прохода воздуха ко всей ее поверхности. Живое сечение устанавливается в соответствии с надлежащим типом процесса и родом газифицируемого топлива (кокс, древесина, древесный уголь и т. д.) и размерами его кусков.

В практике рекомендуют выбирать живое сечение колосниковой решетки независимо от рода топлива в пределах от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$. Высший предел ($\frac{1}{2}$) следует брать для топлив в крупных кусках, а низший ($\frac{1}{3}$) для топлив в мелких кусках.

Ширина зазоров между колосниками определяется величиной кусков газифицируемого топлива (топливо не должно проваливаться сквозь зазоры) и количеством золы (если топливо многозольно, то зазоры для удобства чистки должны быть шире).

Ширину зазоров для газогенераторов, работающих по прямому процессу, с топливом в мелких кусках (5×5 мм до 20×20 мм) можно принять от 5 до 10 мм, а для крупных кусков топлива от 8 до 16 мм. Низший предел (5 и 8 мм) следует брать для топлив малозольных (зольность не выше 5%), а высший (10—16 мм) для многозольных топлив.

Ширину зазоров для газогенераторов, работающих по обращенному процессу можно рекомендовать от 15 до 25 мм.

Тепловое напряжение¹ колосниковой решетки для газогенераторов, работающих по прямому процессу, принимается в количестве от 500 000 до 1500 000 кал. Низший предел напряжения берут для топлив с низкой температурой плавления золы (1000°C), а высший с высокой температурой плавления золы (выше 1000°C), или в случае образования жидкого шлака.

Положительной стороной малого напряжения колосниковой решетки является продолжительность службы колосников и отсутствие спекания шлака, вследствие невысокой температуры на колосниках. Сплавление шлака зависит от температуры плавления золы и теплового напряжения колосниковой решетки.

Наиболее высокая температура на колосниках получается при газификации кокса и антрацита в небольших кусках. Для предохранения колосников от расплавления на них предварительно насыпают или накапливают (путем кратковременной незначитель-

¹ Тепловым напряжением колосниковой решетки называется количество тепла, выделяемого на 1 m^2 поверхности колосниковой решетки в течение одного часа.

ной форсировки) слой золы толщиной в 10—20 мм. Толщина предварительного слоя шлака не только обеспечивает срок службы колосников, но и подогревает несколько воздух, поступающий в газогенератор в целях способствования более полному горению.

Колосниковая решетка должна изготавляться из отдельных колосников для того, чтобы облегчить замену выбывающих из работы частей колосниковой решетки новыми.

Колосники изготавливаются из чугуна, так как он выдерживает высокие температуры.

Во избежание засорения или забивания зазоров золой и угольной мелочью поперечное сечение колосников изготавливают в виде трапеции с узким основанием книзу.

Длина и толщина колосника определяется весом топливного слоя и величиной температур на колосниках.

7. Влияние топлива при нагревании. Топливо, находящееся в верхней части генератора, нагревается отходящими газами без доступа воздуха, вследствие чего из него выделяются продукты сухой перегонки: углекислый газ, окись углерода, водород, метан, тяжелые углеводороды, пары смол, кислоты, водяные пары и др. В остатке получается твердый кокс, состоящий из углерода, незначительного количества водорода и золы.

Образующийся кокс некоторых топлив спекается, т. е. размягчается, сливаясь в отдельные комья или образуя сплошную корку. При сильном спекании кокса процесс газификации нарушается, образуются каналы и местные очаги горения топлива и вместо восстановительного процесса получается окислительный, т. е. происходит полное сгорание топлива. Для уничтожения прогаров и спекания производят тщательную шуровку.

Некоторые топлива при нагревании растрескиваются, образуя мелочь, которая создает большое сопротивление прохождению газов или же уносится из генератора.

§ 31. Материальный и тепловой баланс генератора

Количественное использование тепла в любом тепловом агрегате характеризуется его коэффициентом полезного действия. Величина коэффициента полезного действия теплового агрегата может быть определена на основании расчета приходно-расходных статей тепла.

Составление теплового баланса дает возможность выяснить количество введенного тепла в генератор и распределение этого тепла по отдельным статьям. Прежде, чем приступить к составлению теплового баланса, необходимо свести материальный баланс, так как величинами последнего пользуются в тепловом балансе. Под материальным балансом понимают учет весовых количеств различных веществ, вводимых в генератор и отводимых из него. Приходными статьями в материальном балансе

являются газифицируемое топливо, воздух и водяной пар при мокром процессе, а расходными считаются генераторный газ, угольная мелочь, сажа, смола, зола и шлак. Расчет баланса производится на 1 кг газифицируемого топлива.

А. Материальный баланс генератора на 1 кг древесины

Приходные статьи. Приходными статьями материального баланса при газификации древесины без подвода водяного пара являются вес топлива и воздуха.

1. Элементарный состав газифицируемой древесины на беззольную и абсолютно сухую массу принимаем

$$\begin{aligned} C_0 &= 50,5\% & O_0 &= 42,8\% \\ H_0 &= 6,1\% & N_0 &= 0,6\% \end{aligned}$$

Влажность древесины принимаем $W_p = 20\%$, зольность $A_p = 0,8\%$.

Элементарный состав на рабочую массу топлива определяется по следующим формулам

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{C_0(100 - W_p - A_p)}{100} = \frac{50,5(100 - 20 - 0,8)}{100} = 40\% \\ H_p &= \frac{H_0(100 - W_p - A_p)}{100} = \frac{6,1(100 - 20 - 0,8)}{100} = 4,82\% \\ O_p &= \frac{O_0(100 - W_p - A_p)}{100} = \frac{42,8(100 - 20 - 0,8)}{100} = 33,9\% \\ N_p &= \frac{N_0(100 - W_p - A_p)}{100} = \frac{0,6(100 - 20 - 0,8)}{100} = 0,48\% \end{aligned}$$

Следовательно состав поступающего в генератор топлива будет следующий:

в процентах	в граммах
$C_p = 40,0$	$C_p = 400,0$
$H_p = 4,82$	$H_p = 48,2$
$A_p = 0,8$	$A_p = 8,0$
$W_p = 20,0$	$W_p = 200$
$O_p = 33,9$	$O_p = 339,0$
$N_p = 0,48$	$N_p = 4,8$
$\Sigma = 100$	$\Sigma = 1000$

Влага топлива содержит $\frac{200}{9} = 22,2$ г водорода (H) и $200 - 22,2 = 177,8$ г кислорода (O).

Средний состав сухого генераторного газа при 0° и 760 мм р. с. принимаем

в процентах	в долях куб. метра
$CO_2 = 11,0$	$CO_2 = 0,110$
$O_2 = 0,2$	$O_2 = 0,002$
$CO = 20,0$	$CO = 0,200$
$H_2 = 12,0$	$H_2 = 0,120$
$CH_4 = 2,0$	$CH_4 = 0,020$
$C_2H_4 = 0,3$	$C_2H_4 = 0,003$
$N_2 = 54,5$	$N_2 = 0,545$
$\Sigma = 100$	$\Sigma = 1$

2. Потребное количество воздуха для газификации 1 кг топлива определяется по формуле

$$V_b = \frac{N_2^r V_r^c - \frac{N_p^T}{1,251}}{N_2^b} \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{1 \text{ кг древесины}}$$

где: N^r , N_p^T , N^b — содержание азота в газе, в газифицируемом топливе и в воздухе,

1,251 — вес 1 м³ азота 0° и 760 мм р. с.,

V_r^c — выход газа из 1 кг газифицируемого топлива.

Выход газа определяется по формуле

$$\begin{aligned} V_r^c &= \frac{C_p - (C_y + C_n + C_w)}{0,536 (CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_4)} = \\ &= \frac{0,40 - 0,012}{0,536 (0,11 + 0,20 + 0,02 + 2 \cdot 0,003)} = 2,15 \frac{\text{м}^3 \text{ газа}}{1 \text{ кг древесины}} \end{aligned}$$

где: $C_y + C_n + C_w$ — потеря углерода в уносе, провале и шлаке, которую принимаем равной 3% от углерода,

CO_2 , CO , CH_4 и C_2H_4 — содержание компонентов генераторного газа в долях кубического метра.

Подставляя приведенные значения в уравнение, получим

$$V_b = \frac{0,545 \cdot 2,15 - \frac{0,048}{1,251}}{0,79} = 1,48 \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{1 \text{ кг древесины}}$$

В весовых единицах расход воздуха определяется из формулы

$$G_b = 1,48 \delta_b = 1,48 \cdot 1,293 = 1,91 \frac{\text{кг воздуха}}{1 \text{ кг древесины}}$$

где δ_b — вес 1 м³ воздуха при 0° и 760 мм р. с. = 1,293 кг.

Следовательно для газификации 1 кг древесины требуется

$$1,91 \cdot 0,768 = 1,467 \text{ кг } N_2$$

и

$$1,91 \cdot 0,232 = 0,443 \text{ кг } O_2$$

где: 0,768 и 0,232 — весовые содержания азота и кислорода в 1 м³ воздуха.

В сводной табл. 33 дано распределение приходных составных частей топлива и воздуха по химическим элементам в граммах.

Расходные статьи. Расходными статьями материального баланса являются: веса газа, влаги, угольной мелочи и золы.

Весовое количество элементов, содержащихся в газе на 1 кг топлива. Весовое содержание влаги и химических элементов в газе С, Н, О определяется по формулам

Распределение приходных составных частей топлива
и воздуха по химическим элементам

Таблица 33

Наименование химических элементов	Общее количество грамм			
	в сухом топливе	во влаге топлива	в воздухе	всего
Углерод (C_p)	400	—	—	400
Водород (H_p)	48,2	22,2	—	400
Кислород (O_p)	339	177,8	443	70,4
Азот (N_p)	4,8	—	1467	959,8
Зола (A_p)	8	—	—	1471,8
	800 г	200 г	1910 г	2910 г

1. Весовое содержание углерода

$$C_r = 536(CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_4) V_r^c = 536(0,11 + 0,20 + 0,02 + 2 \cdot 0,003) 2,15 = 388 \text{ г}$$

2. Весовое содержание водорода

$$H_r = 89,5(H_2 + 2CH_4 + 2C_2H_4) V_r^c = 89,5(0,12 + 2 \cdot 0,02 + 2 \cdot 0,003) = 32,3 \text{ г}$$

3. Весовое содержание кислорода

$$O_r = 1429(CO_2 + O_2 + 0,5 CO) V_r^c = 1429(0,11 + 0,002 + 0,5 \cdot 0,2) 2,15 = 651,2 \text{ г}$$

4. Весовое содержание азота

$$N_r = 1251 N_2 V_r^c = 1251 \cdot 0,545 \cdot 2,15 = 1465 \text{ г}$$

Вес сухого газа на 1 кг газифицируемого топлива равен

$$G_r = 388 + 32,3 + 651,2 + 1465 = 2536,5 \text{ г}$$

5. Весовое содержание влаги

$$W_r = 9H_p + W_p - V_r^c 806(H_2 + 2CH_4 + 2C_2H_4) = 9 \cdot 48,2 + 200 - 2,15 \cdot 806(0,12 + 2 \cdot 0,02 + 2 \cdot 0,003) = 355,5 \text{ г}$$

Содержание водорода во влаге газа будет

$$355,5 : 9 = 39,5 \text{ г}$$

а содержание кислорода будет

$$355,5 - 39,5 = 316 \text{ г}$$

Вес влажного газа из 1 кг газифицируемого топлива равен

$$G_r^w = 388 + 32,3 + 651,2 + 1465 + 355,5 = 2892 \text{ г}$$

В сводной табл. 34 представлено распределение расходных статей газа по химическим элементам.

Таблица 34

Распределение расходных составных частей газа по химическим элементам

Наименование химических элементов	Общее количество граммов				
	в сухом газе	во влаге газа	унос и провал	зола	всего
Углерод (C_r)	388,0	—	12	—	400
Водород (H_r)	32,3	39,5	—	—	71,8
Кислород (O_r)	651,2	316	—	—	967,2
Азот (N_r)	1486	—	—	—	1486
Зола (A_r)	—	—	—	8	8
	2547,5	355,5	12	8	2922,0

Из сводных табл. 33 и 34 видно, что расхождение, полученное по отдельным элементам, не превышает 1%, т. е. лежит в пределах точности подсчета.

Тепловой баланс генератора

Приходные статьи. Приходными статьями теплового баланса являются: теплотворная способность топлива, теплосодержание топлива и теплосодержание воздуха.

Теплотворная способность топлива определяется по формуле

$$Q_h = 8137 C_p + 24600 H_p - 2600 O_p - 600 \cdot W_p = 8140 \cdot 0,4 + 24600 \cdot 0,048 - 2600 \cdot 0,339 - 600 \cdot 0,2 = 3330 \text{ кал.}$$

Теплосодержание топлива определяется по формуле

$$Q_t = G_t C_t t_t = 1 \cdot 0,6 \cdot 20 = 12 \text{ кал.}$$

где: $G_t = 1 \text{ кг}$ — вес древесины,

$C_t = 0,6 \frac{\text{кал.}}{\text{кг}}$ — теплоемкость древесины,

$t_t = 20^\circ \text{Ц}$ — температура древесины, поступающей в генератор.

Теплосодержание воздуха определяется по формуле

$$Q_v = V_v C_v t_v = 1,48 \cdot 0,24 \cdot 75 = 28 \text{ кал.}$$

где: $V_v = 1,48 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ — весовое количество воздуха, потребное для газификации 1 кг древесины,

$C_v = 0,24 \frac{\text{кал.}}{\text{кг}}$ — теплоемкость 1 кг воздуха,

$t_v = 75^\circ \text{Ц}$ — температура воздуха, поступающего в генератор.

Общий приход тепла

$$Q_{\Sigma} = Q_n + Q_t + Q_v = 3330 + 12 + 27 \cong 3370 \frac{\text{кал.}}{\text{кг}}$$

Расходные статьи. Расходными статьями теплового баланса являются: химическая теплота газа, физическая теплота газа, химическая теплота, содержащаяся в уносе, теплосодержание уноса (угольная мелочь, сажа), потеря тепла от охлаждения генератора.

Химическая теплота газа, получающаяся из 1 кг газифицируемой древесины, определяется по формуле

$$\begin{aligned} Q_r^{kr} &= Q_r V_r^c = (3045 \text{ CO} + 2580 \text{ H}_2 + 8590 \text{ CH}_4 + \\ &+ 14300 \text{ C}_2\text{H}_4) V_r^c = (3045 \cdot 0,20 + 2580 \cdot 0,12 + 8590 \cdot 0,02 + \\ &+ 14300 \cdot 0,003) 2,15 = 2440 \frac{\text{кал.}}{\text{кг}} \end{aligned}$$

Физическая теплота газа при температуре выхода $t_r = 600^\circ$ и средней теплоемкости газа $C_r' = 0,33$, влаги $C_w = 0,4$ будет равна

$$Q_r = C_r' V_r^c t_r + W_r C_w t_r = 0,33 \cdot 2,15 \cdot 600 + 0,355 \cdot 0,4 \cdot 600 = 510 \frac{\text{кал.}}{\text{кг}}$$

Химическая теплота уноса. Содержание углерода в уносе принято равным 12 г; следовательно, химическая потеря при теплотворной способности в $8137 \frac{\text{кал.}}{\text{кг}}$ составит

$$Q_n = 8137 \cdot 0,012 \cong 100 \text{ кал.}$$

Теплосодержание уноса при температуре в 600° и теплоемкости 0,2 будет равно

$$Q_t = 0,012 \cdot 0,2 \cdot 600 = 2 \text{ кал.}$$

Потеря тепла от охлаждения генератора (в окружающую среду) определяется как разность приходных статей и учтенных расходных

$$Q_o = Q_{\Sigma} - (Q_r^{kr} + Q_r + Q_n + Q_t) = 3370 - (2440 + 510 + 100 + 2) = 318 \text{ кал.}$$

Химический коэффициент полезного действия генератора будет

$$\eta_r = \frac{2440}{3330} \cdot 100 \cong 73\%$$

В табл. 35 сведены результаты подсчета теплового баланса генератора.

Сводная таблица теплового баланса показывает, что значительные потери тепла получаются за счет высокой температуры отходящего газа, а также за счет повышенной теплоотдачи генератора в окружающую среду.

Таблица 35

Сводная таблица теплового баланса процесса газификации на 1 кг древесины

№№ по пор.	Наименование статей баланса	Кал.	%
Приход			
1.	Теплотворная способность древесины	3330	98,80
2.	Теплосодержание древесины	12	0,35
3.	Теплосодержание воздуха	28	0,85
	Итого в приходе	3370	100,0
Расход			
4.	Химическая теплота газа	2440	72,2
5.	Физическая теплота газа	510	15,2
6.	Химическая теплота уноса	100	3,0
7.	Физическая теплота уноса	2	
8.	Потеря тепла от охлаждения генератора (в окружающую среду) и другие неучтенные потери	318	9,6
	Итого в расходе	3370	100,0

Б. Материальный баланс генератора на 1 кг антрацита

Приходные статьи. Приходными статьями в материальном балансе являются: газифицируемое топливо, воздух, поступающий в генератор, и водяной пар, подводимый в генератор.

Расходными статьями материального баланса являются: генераторный газ, влага, угольная мелочь, сажа, зола, шлак.

Расчет баланса будем производить на 1 кг газифицируемого антрацита.

1. Состав поступающего в генератор топлива на рабочую массу принимаем

в процентах	в граммах
$C_p = 84$	$C_p = 840$
$H_p = 2$	$H_p = 20$
$O_p = 2$	$O_p = 20$
$N_p = 1$	$N_p = 10$
$S_p = 3$	$S_p = 30$
$A_p = 4$	$A_p = 40$
$W_p = 4$	$W_p = 40$
<hr/>	
$\Sigma = 100$	$\Sigma = 1000$

Влага топлива содержит $\frac{40}{9} = 4,4$ г водорода (H) и $40 - 4,4 = 35,6$ г кислорода (O).

Минимальное количество подводимого водяного пара в генератор, согласно приведенному ниже расчету, составило 202 г. Содержится водорода в нем $202:9 = 22,4$ г и кислорода $202 - 22,4 = 179,6$ г.

2. Средний состав сухого генераторного газа при 0° и 760 мм р. с. принимаем

в процентах	в долях куб. метра
$\text{CO}_2 = 5,0$	$\text{CO}_2 = 0,05$
$\text{O}_2 = 0,3$	$\text{O}_2 = 0,003$
$\text{CO} = 28,0$	$\text{CO} = 0,28$
$\text{H}_2 = 12,0$	$\text{H}_2 = 0,12$
$\text{CH}_4 = 1,0$	$\text{CH}_4 = 0,01$
$\text{H}_2\text{S} = 0,7$	$\text{H}_2\text{S} = 0,007$
$\text{N}_2 = 53,0$	$\text{N}_2 = 0,530$
$\Sigma = 100$	$\Sigma = 1$

3. Потребное количество воздуха для газификации 1 кг антрацита определяется по формуле

$$V_v = \frac{N_2^r V_g^c - N_p^r}{1,251} \text{ м}^3/\text{кг}$$

где: N_2^r , N_p^r , N_2^b — содержание азота в газе, газифицируемом топливе и воздухе,

1,251 — вес 1 м³ азота при 0° и 760 мм р. с.,

V_g^c — выход газа из 1 кг газифицируемого топлива.

Выход газа определяется по формуле

$$V_g^c = \frac{C_p - (C_y + C_n + C_{sh})}{0,536(\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4)} = \frac{84 - 2}{0,536(5 + 28 + 1)} = 4,5 \text{ м}^3/\text{кг}$$

где: $C_y + C_n + C_{sh}$ — потери углерода в уносе C_y , провале C_n , шлаке C_{sh} , принимаем равным 2%, CO_2 , CO и CH_4 — содержание компонентов генераторного газа в долях куб. метра.

Подставляя принятые значения в формулу, получим

$$V_v = \frac{53,0 \cdot 4,5 - 0,01}{79} = 3,0 \text{ м}^3/\text{кг}$$

В весовых единицах расход воздуха определяется из формулы

$$g_v = V_v \delta_v = 3,0 \cdot 1,293 = 3,88 \text{ кг/кг}$$

где: $\delta_v = 1,293$ — вес 1 м³ воздуха при 0° и 760 мм р. с.

Следовательно, для газификации 1 кг антрацита требуется

$$3,88 \cdot 0,768 = 2,980 \text{ кг } \text{N}_2 \text{ и}$$

$$3,88 \cdot 0,232 = 0,900 \text{ кг } \text{O}_2$$

где: 0,768 и 0,232 — весовое содержание азота и кислорода в 1 м³ воздуха.

В сводной табл. 36 представлено распределение приходных составных частей топлива и воздуха по химическим элементам.

Таблица 36

Распределение приходных составных частей топлива и воздуха по химическим элементам

Наименование химических элементов	Общее количество грамм				
	в сухом топливе	во влаге топлива	в водяном паре	в воздухе	всего
Углерод (C_p)	840	—	—	—	840
Водород (H_p)	20	4,4	22,4	—	46,8
Кислород (O_p)	20	35,6	179,6	900	1135,2
Азот (N_p)	10	—	—	2980	2990
Сера (S_p)	30	—	—	—	30
Зола (A_p)	40	—	—	—	40
	960	40,0	202,0	3880	5082

Расходные статьи. Расходными статьями материального баланса являются: газ, влага, угольная мелочь и зола.

Весовое количество элементов, содержащихся в газе на 1 кг топлива. Весовое содержание химических элементов C, H, O, S и влаги в газе определяется по соответствующим формулам

Весовое содержание углерода

$$\text{C}_r = 536(\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4) V_g^c = 536(0,05 + 0,28 + 0,01) \cdot 4,5 = 579 \text{ г}$$

Весовое содержание водорода

$$\text{H}_r = 89,5(\text{H}_2 + 2\text{CH}_4) V_g^c = 89,5(0,12 + 2 \cdot 0,01) \cdot 4,5 = 56,4 \text{ г}$$

Весовое содержание кислорода

$$\text{O}_r = 1429(\text{CO}_2 + \text{O}_2 + 0,5\text{CO}) V_g^c = 1429(0,05 + 0,003 + 0,5 \cdot 0,28) 4,5 = 1241,1 \text{ г}$$

Весовое содержание азота

$$\text{N}_r = 1251 \text{ N}_2 V_g^c = 1251 \cdot 0,537 \cdot 4,5 = 3023,7 \text{ г}$$

Весовое содержание серы

$$\text{S}_r = 1429 \text{ H}_2\text{S} V_g^c = 1429 \cdot 0,007 \cdot 4,5 = 44 \text{ г}$$

Вес сухого газа из 1 кг газифицируемого топлива равен

$$g_r = 579 + 56,4 + 1241,1 + 3023,7 + 44 = 4944,2 \text{ г}$$

Весовое содержание влаги

$$W_r = 9H_p + W_p - V_r^c \cdot 806(H_2 + 2CH_4) = 9,20 + \\ + 40 - 4,5 \cdot 806(0,12 + 2 \cdot 0,01) = -202 \text{ г}$$

Полученная величина с отрицательным знаком показывает, что для получения принятого состава газа из антрацита требуется вводить 202 г водяных паров на 1 кг газифицируемого антрацита. Действительное количество подводимого водяного пара в генератор определяется на основании экспериментальных данных.

В сводной табл. 37 представлено распределение статей газа по химическим элементам.

Из сводных табл. 36 и 37 видно, что неувязка, полученная по отдельным элементам, не превышает 1%, т. е. лежит в допустимых пределах.

Таблица 37
Распределение расходных составных элементов газа по химическим элементам

Наименование химических элементов	Общее количество граммов				
	в сухом газе	во влаге газа	унос, провал, шлак	зола	всего
Углерод (C_r)	579,0	—	16,8	—	595,8
Водород (H_r)	56,4	—	—	—	56,4
Кислород (O_r)	1 241,1	—	—	—	1 241,1
Азот (N_r)	3 023,7	—	—	—	3 023,7
Сера (S_r)	44,0	—	—	—	44,0
Зола (A_p)	—	—	—	40	40
	4 944,2	—	16,8	40	5 001

Тепловой баланс генератора

Приходные статьи. Приходными статьями теплового баланса являются: теплотворная способность топлива, теплосодержание топлива и теплосодержание воздуха.

Теплотворная способность топлива определяется по следующей формуле

$$Q_p^k = 8137 C_p + 24600 H_p - 2600 O_p - 600 W_p = 8137 \cdot 0,84 + \\ + 24600 \cdot 0,02 - 2600 \cdot 0,02 - 600 \cdot 0,04 = 7254 \text{ кал/кг.}$$

Теплосодержание топлива определяется по формуле

$$Q_t = g_t C_t t_t = 1 \cdot 0,3 \cdot 20 = 6 \text{ кал.}$$

где: $g_t = 1 \text{ кг}$ — вес антрацита,
 $C_t = 0,3 \text{ кал/кг}$ — теплоемкость антрацита,
 $t_t = 20^\circ \text{Ц}$ — температура антрацита, поступающего в генератор.

Теплосодержание воздуха определяется по формуле

$$Q_v = g_v C_v t_v = 3,88 \cdot 0,24 \cdot 50 = 47 \text{ кал.}$$

где: $g_v = 3,8 \text{ кг/кг}$ — весовое количество воздуха, потребное для газификации 1 кг антрацита,
 $C_v = 0,24 \text{ кал./кг}$ — теплоемкость 1 кг воздуха,
 $t_v = 50^\circ \text{Ц}$ — температура воздуха, поступающего в генератор.

Теплосодержание поступающего в генератор водяного пара определяется из следующей формулы

$$Q_n = (q + C_n t_n) g_n = (600 + 0,48 \cdot 50) \cdot 0,202 = 126 \text{ кал.}$$

где: $C_n = 0,48$ — теплоемкость водяного пара,
 $t_n = 50^\circ$ — температура водяного пара,
 $g_n = 0,202 \text{ г}$ — вес водяного пара.

Общий приход тепла

$$Q_{\Sigma} = Q_h^p + Q_t + Q_v + Q_n = 7254 + 6 + 47 + 126 = 7433 \text{ кал.}$$

Расходные статьи. Расходными статьями теплового баланса являются: химическая теплота газа, физическая теплота газа, химическая теплота, содержащаяся в уносе, теплосодержание уноса (угольная мелочь, сажа), потеря тепла от охлаждения генератора.

Химическая теплота газа, получающаяся из 1 кг газифицируемой древесины, определяется по формуле

$$Q_p^k = Q_r V_r^c = (3045 CO + 2580 H_2 + 8590 CH_4) V_r^c = \\ = (3045 \cdot 0,28 + 2580 \cdot 0,12 + 8590 \cdot 0,1) 4,5 = 5603 \text{ кал./кг}$$

Физическая теплота газа при температуре выхода $t_r = 600^\circ$ и средней теплоемкости газа $C_r = 0,33$ будет равна

$$Q'_r = C_r V_r^c t_r = 0,33 \cdot 4,5 \cdot 600 = 894 \text{ кал./кг}$$

Содержание влаги в газе принимаем равным нулю.

Химическая теплота уноса. Содержание углерода в уносе, провале и шлаке нами принято равным 17 г, следовательно, химическая потеря при теплотворной способности 8137 кал./час составляет

$$Q_y = 8137 \cdot 0,017 = 138 \text{ кал.}$$

Теплосодержание уноса при температуре в 600° и теплоемкости $C = 0,2$ будет равно

$$Q_t = 0,017 \cdot 0,2 \cdot 600 = 2 \text{ кал.}$$

Тепло, затрачиваемое на получение водяного пара в кожухе генератора. Теоретически потребное количество водяного пара, подводимого в генератор, равно $1 \cdot 0,202 = 0,202 \text{ кг}$

Тепло, затраченное на получение этого количества пара в кожухе генератора при температуре питательной воды в 15° и температуре пара в 110° , составляет

$$Q_n = (600 + 0,48 \cdot 110) 0,202 - 0,202 \cdot 15 = 130 \text{ кал.}$$

Потеря тепла от охлаждения генератора (в окружающую среду) определяется как разность приходных статей и учтенных расходных

$$Q_0 = 7433 - (5603 + 894 + 138 + 2 + 130) = 666 \text{ кал.}$$

Химический коэффициент полезного действия генератора определяется из выражения

$$\eta_r^x = \frac{Q_r^k}{Q_h^p} = \frac{5603}{7254} = 0,77$$

или $\eta_r^x = 77\%$.

В табл. 38 даны приходо-расходные статьи теплового баланса.

Таблица 38

Сводная таблица теплового баланса процесса газификации на 1 кг антрацита

Приход		Расход	
Наименование статьи	Количество	Наименование статьи	Количество
Теплотворная способность топлива	7254	Химическая теплота газа	5603
Теплосодержание топлива	6	Физическая теплота газа	894
Теплосодержание воздуха	47	Химическая теплота уноса	138
Теплосодержание водяного пара	126	Теплосодержание уноса	2
		Тепло, затрачиваемое на получение водяного пара в кожухе генератора	130
		Потеря тепла в окружающую среду	666
Всего	7433	Всего	7433

Глава IV

КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ГАЗОГЕНЕРАТОРА

§ 32. Конструктивный расчет газогенератора обращенного процесса

Конструктивный расчет газогенератора состоит из следующих частей:

1. Определение производительности газогенератора.
2. Определение размеров бункера.
3. Определение высоты активной зоны.
4. Определение поперечного сечения топливника.
5. Определение диаметра фирм, подводящих воздух в топливник.
6. Определение диаметра газопроводов.

1. Определение производительности газогенератора. Газопроизводительность генератора определяется в зависимости от мощности двигателя, для питания которого он предназначен. Мощность же двигателя определяется основными его размерами при неизменных остальных его параметрах. Обозначим основные параметры двигателя через:

d — диаметр цилиндров в м,

s — ход поршня в м,

i — число цилиндров,

η_v — коэффициент наполнения двигателя,

n — число оборотов коленчатого вала в минуту,

m — коэффициент тактности (для четырехтактных двигателей $m = \frac{1}{2}$).

Объемное количество газовой смеси, поступающей в цилиндры двигателя при 0°C и 760 мм р. с. за один час его работы, определяется по формуле

$$L_{cm} = \frac{\pi d^2}{4} s i \eta_v n 60 m \frac{m^3}{час}$$

или

$$L_{cm} = 23,55 d^2 s i \eta_v n \frac{m^3}{час} \dots \dots \dots \quad (37)$$

Потребляемое количество газа двигателем в 1 час при 0°C и 760 мм р. с. определится по формуле

$$L_f = \frac{L_{cm}}{1 + \alpha L_0} = \frac{L_{cm}}{1 + L} \frac{m^3}{час} \dots \dots \dots \quad (38)$$

где: L_0 — теоретически необходимое количество воздуха сжигания 1 м³ газа, определяется по формуле

$$L_0 = \frac{1}{0,21 \cdot 100} 0,5 (\text{CO} + \text{H}_2) + 2\text{CH}_4 + 3\text{C}_2\text{H}_4 - \text{O}_2^{\frac{\text{M}^3 \text{ воздуха}}{1 \text{ M}^3 \text{ газа}}}$$

CO_2 , H_2 , C_2H_4 и O_2 — процентное содержание данных компонентов в генераторном газе,

L — действительное количество воздуха, требное для сжигания 1 м³ газа,

$\alpha = \frac{L}{L_0}$ — коэффициент избытка воздуха для газогенераторных двигателей, который считают равным $\alpha = 1,05 - 1,1$.

Весовое количество газифицируемого топлива в генераторе в 1 час определяется по формуле

$$G = \frac{L_r}{V_r^c} \frac{\kappa r}{\text{час}} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (39)$$

где: $V_r^c = \frac{C_p - (C_y + C_n + C_w)}{0,536(CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_4)} \text{ м}^3$ — выход сухого газа на 1 кг газифицируемого топлива,
 C_p — содержание углерода в одном кг топлива,
 C_y , C_n , и C_w — содержание углерода в уносе, провале и шлаке.

2. Определение размеров бункера. Основные размеры бункера (высота и диаметр) зависят от рода газифицируемого топлива, мощности двигателя и принимаемого запаса топлива в бункере.

Обозначая производительность газогенератора через $G \frac{\text{кг}}{\text{час}}$, запас топлива в бункере в часах через τ и вес 1 м³ топлива через $\delta \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, объем бункера можно определить из следующей формулы

$$V_{\hat{b}} = \frac{G \tau}{\hat{b}} M^3 \quad \dots \quad (40)$$

где: τ — запас топлива в бункере (принимается от 1 до 3 часов),
 δ — насыпной вес.

Задаваясь диаметром бункера d , можно подсчитать его высоту H из уравнения

$$H = \frac{V_0}{0.785 d^2} M \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (41)$$

3. Определение высоты активной зоны. Высотой активной зоны называется расстояние от уровня подвода воздуха в топливник до нижнего края топливника.

Высота активной зоны зависит от конфигурации топливника, рода, размера и влажности газифицируемого топлива и от друг-
96

тих факторов. Высота активной зоны обычно не рассчитывается, а принимается на основании опытных данных. Обычно ее принимают равной от d до $1,5d$, где d ... диаметр топливника.

Таблица 39

Насыпной вес различных топлив

Род топлива	Насыпной вес кг/м³	Влажность в %	Приблизительные размеры в мм
Древесные чурки:			
Сосна	220		
Ель	230		
Береза	270		
Бук	275	12	40 × 50 × 60
Дуб	290		
Антрацит	850		
Бурый уголь	650—700		
Каменный уголь	700—750		
Карбонит	700—800		
Кокс газовый	300—400		
Торф сухой	300—350		
" сырой	400—500		
" брикетированный (низинный)	470	16	60 × 60 × 30
Торфяной кокс	310	6	50 × 40 × 40
мусор (прессованный)	200—250		
Торф брикет (орешек)	422	17	Овал. 35 × 20
Древесный уголь:			
Еловый	130		
Сосновый	150	6—8	
Березовый	190		

4. Определение диаметра топливника. Диаметр топливника на уровне подвода воздуха определяется из формулы

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{G}{q}$$

откуда

где: G — весовое количество топлива в кг, газифицируемое в час,
 q — тепловое напряжение топливника на уровне подвода
 воздуха в $\text{кг}/\text{м}^3/\text{час}$.

Тепловым напряжением называется количество сжигаемого топлива в кг на 1 м² площади сечения в месте подвода воздуха в течение 1 часа.

Тепловое напряжение имеет решающее влияние на образующиеся в топливнике температуры, а следовательно, и на качество газа. В табл. 40 приведены средние тепловые напряжения топливников для различных топлив.

Тепловая напряженность топливников

Таблица 40

Род топлива	Средняя тепло-творная способность газифицируемого топлива Q кал. кг	Тепловое напряжение топливника на уровне подвода воздуха		Весовое количество подводимого пара в % на 1 кг газифицируемого топлива	Температура плавления золы
		q кг м²/час	q кал м²/час		
Кокс.....	7 000	100—300	700 000—2 100 000	25—40	
Антрацит.....	5 500	100—200	550 000—1 100 000	20—30	
Древесный уголь.....					
Рядовой каменный уголь.....					
Кокс, антрацит и неспекающийся каменный уголь (генераторы с выпуском жидкого шлака)....	7 000	300—1 000	2 100 000—7 000 000	—	
Древесина (в газогенераторах прямого процесса).....	3 700	200—400	740 000—1 480 000	10—20	
Торф.....	3 900	150—300	585 000—1 170 000	10—20	
Древесина (в газогенераторах обращенного процесса).....	3 700	500—800	1 850 000—2 960 000	—	
					Температура плавления золы для различных топлив сильно колеблется и в среднем лежит в пределах 900—1 400°. Чем зола туго-плавча, тем лучше газифицируется топливо. Чем легко-плавче зола и чем интенсивнее работает генератор, тем больше следует вдувать пара.

5. Определение диаметра фурм. Диаметр фурм определяется на основании количества воздуха, поступающего в генератор, числа фурм и скорости воздуха в фурмах.

Количество воздуха, поступающего в генератор, определяется по балансу азота, входящего в генератор,

$$V_b N_2^b + \frac{N_p^t}{1,251} G$$

и выходящего из генератора $N_2^r L_r$,

где: V_b — количество воздуха, поступающего в генератор в течение 1 часа при 0° и 760 мм р. с.,

N_2^b — содержание азота в воздухе = 0,79,

N_p^t — содержание азота в 1 кг газифицируемого топлива, G — весовое количество газифицируемого топлива в час, $1,251$ — вес 1 м³ азота,

N_2^r — содержание азота в 1 м³ генераторного газа, L_r — количество газа, выходящего из генератора в течение 1 часа.

Приравнивая приведенные значения, получим следующее уравнение

$$V_b N_2^b + \frac{N_p^t}{1,251} G = N_2^r L_r$$

Заменяя в уравнении L_r равный величиной GV_r^c и решая его относительно V_b , будем иметь

$$V_b = \frac{N_2^r V_r^c - \frac{N_p^t}{1,251}}{N_2^b} G \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

где V_r^c — выход газа из 1 кг газифицируемого топлива.

При условии подогрева воздуха, поступающего в генератор, до температуры t° , действительный объем его будет равен

$$V_b^t = V_b \frac{T \cdot 760}{T_0 p_\Phi}$$

где: T — абсолютная температура воздуха, поступающего в газогенератор,

p_Φ — давление воздуха в фурмах в мм р. с.

Зная количество воздуха, поступающего в газогенератор, и задаваясь числом фурм n , их диаметром d_Φ и скоростью в фурмах v_Φ , можем написать следующее уравнение

$$V_b^t = \frac{\pi d_\Phi^2}{4} n v_\Phi 3 600 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

или

$$V_b \frac{T \cdot 760}{T_0 p_\Phi} = \frac{\pi d_\Phi^2}{4} n v_\Phi 3 600 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Решая полученное уравнение относительно d_Φ , получим

$$d_\Phi = 0,0315 \sqrt{\frac{V_b T}{n v_\Phi p_\Phi}} \text{ м} \quad \dots \dots \dots (43)$$

где: v_Φ — скорость воздуха в фурмах принимается от 20 до 40 м в секунду,

n — число фурм принимают от 8 до 16.

6. Определение диаметра газопроводов. Средняя скорость течения газа и смеси по газопроводу принимается из расчета средней скорости поршня, которая достигает $20—30 \frac{\text{м}}{\text{сек.}}$ при длинных газопроводах скорость следует принимать не выше $15—20 \frac{\text{м}}{\text{сек.}}$.

Необходимо также обратить внимание на уменьшение потерь скоростного напора, вызываемого резкими поворотами газопроводов.

Сечение газопроводов рассчитывается по величине расхода газа, которые в свою очередь определяются мощностью двигателя.

а) Определение диаметра газопровода до смесителя. Диаметр газопровода до смесителя при заданной скорости течения газа зависит от температуры газа. Обозначая количество потребляемого газа двигателем при 0°C и 760 mm p. c. через $L_r \frac{\text{m}^3}{\text{час}}$, температуру газа в данном месте газопровода через t° , скорость газа через $v_r \frac{\text{м}}{\text{сек}}$, давление в газопроводе через p_r и диаметр искомого газопровода через d_r , можем составить следующее уравнение:

$$\frac{\pi d_r^2}{4} v_r 3600 = L_r \frac{T_r 760}{T_0 p_r} \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Решая уравнение относительно d_r , будем иметь

$$d_r = 0,0315 \sqrt{\frac{L_r T_r}{v_r p_r}} \text{ м} \dots \dots \dots \quad (44)$$

Температура в выходном патрубке генераторов, работающих по обращенному процессу, лежит в пределах $500-700^\circ$, а температура после скрубберов обычно выше температуры охлаждающей воды на $2-5^\circ$ и в среднем для расчета может быть принята в пределах от 15 до 25°C .

Давление в газопроводе, измеренное в выходном патрубке генератора, обычно меньше атмосферного на $50-150\text{ mm в. ст.}$, а давление, измеренное в газопроводе после сухого очистителя, ниже атмосферного на $200-500\text{ mm в. ст.}$

б) Определение диаметра газопровода после смесителя. При определении диаметра газопроводов после смесителя средняя скорость протекания смеси принимается равной $20-25 \frac{\text{м}}{\text{сек.}}$.

Обозначая объемное количество газовой смеси, поступающей в цилиндры двигателя при 0° и 760 mm p. c. , за один час, через $L_{cm} = L_r + \alpha L_o L_r$, температуру через t° , скорость через v_{cm} и давление в газопроводе через p_{cm} , а диаметр газопровода через d_{cm} , можем написать следующее уравнение

$$\frac{\pi d_{cm}^2}{4} v_{cm} 3600 = L_r (1 + \alpha L_o) \frac{T_{cm} 760}{T_0 p_{cm}} \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Решая уравнение относительно d_{cm} будем иметь

$$d_{cm} = 0,0315 \sqrt{\frac{L_r (1 + \alpha L_o) T_{cm}}{v_{cm} p_{cm}}} \text{ м} \dots \dots \dots \quad (45)$$

где: α — коэффициент избытка воздуха,
 L_o — теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 m^3 газа,

L_r — объемное количество газа, поступающего в двигатель в час при 0° и 760 mm p. c.

§ 33. Пример расчета древесного газогенератора для двигателя ЧТЗ-60

Для расчета примем следующие значения:

1) Средний состав древесины на рабочую массу

$$\begin{aligned} C_p &= 0,40 \text{ кг} & W_p &= 0,20 \text{ кг} \\ H_p &= 0,0482 \text{ кг} & O_p &= 0,339 \text{ кг} \\ A_p &= 0,008 \text{ кг} & N_p &= 0,0048 \text{ кг} \end{aligned}$$

2) Средний состав генераторного газа

$$\begin{aligned} CO_2 &= 0,11 \text{ м}^3 & CH_4 &= 0,02 \text{ м}^3 \\ O_2 &= 0,002 \text{ м}^3 & CH_4 &= 0,003 \text{ м}^3 \\ CO &= 0,20 \text{ м}^3 & N_2 &= 0,545 \text{ м}^3 \\ H_2 &= 0,12 \text{ м}^3 & Q_r &= 1130 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3} \end{aligned}$$

3) Количество воздуха, необходимое для сжигания 1 m^3 данного состава газа, определяется по формуле

$$L_d = \alpha L_o = \alpha \frac{1}{0,21} \left[0,5 (CO + H_2) + 2CH_4 + 3C_2H_4 - O_2^2 \right] \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{1 \text{ м}^3 \text{ газа}}$$

Подставляя цифровые значения CO , H_2 , CH_4 , C_2H_4 и принимая коэффициент избытка воздуха равным $1,1$, будем иметь

$$L_d = 1,1 \frac{1}{0,21} \left[0,5 (0,2 + 0,12) + 2 \cdot 0,02 + 3 \cdot 0,003 - 0,002 \right] = 1,07 \frac{\text{м}^3}{1 \text{ м}^3 \text{ газа}}$$

4. Выход газа из 1 кг газифицируемой древесины определяется по формуле

$$V_r^c = \frac{C_p - (C_y + C_n + C_w)}{0,536 (CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_4)} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Принимая содержание углерода в уносе C_y , провале C_n и шлаке C_w равным 3% на 1 кг газифицируемой древесины и подставляя в формулу выхода принятые выше значения, будем иметь

$$V_r^c = \frac{0,40 - 0,012}{0,536 (0,11 + 0,20 + 0,02 + 2 \cdot 0,003)} = 2,15 \frac{\text{м}^3 \text{ газа}}{1 \text{ кг древесины}}$$

I. Производительность газогенератора. Производительность генератора определяется основными размерами заданного типа двигателя, т. е. диаметром его цилиндров, ходом поршня, числом цилиндров, коэффициентом подачи, числом оборотов, коленчатого вала и коэффициентом тактности.

Основные размеры двигателя ЧТЗ следующие:

$$\begin{aligned} \text{диаметр цилиндров} &= 0,165 \text{ м}; \\ \text{ход поршня} &= 0,216 \text{ м}; \\ \text{число цилиндров} &= i = 4; \\ \text{коэффициент наполнения} &= \eta_V = 0,85; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{число оборотов коленчатого вала} &= n = 650; \\ \text{коэффициент тактности} &= m = \frac{1}{2}. \end{aligned}$$

Объемное количество газовой смеси, поступающей в цилиндры двигателя при 0° и 760 мм р. с. за один час, определяется по формуле:

$$L_{\text{см}} = \frac{\pi d^3}{4} s i \eta_V n 60 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Подставляя значения основных размеров двигателя, получаем

$$L_{\text{см}} = \frac{3,14 \cdot 0,165}{4} \cdot 0,216 \cdot 4 \cdot 0,085 \cdot 650 \cdot 60 \cdot 0,5 = 285 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Потребляемое количество газа двигателем в час при 0° и 760 мм р. с. определяется по формуле

$$L_r = \frac{L_{\text{см}}}{1 + \alpha L_0} \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Подставляя вычисленные значения $L_{\text{см}} = 285 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$ и $\alpha L_0 = L_d = 1,07 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$, будем иметь

$$L_r = \frac{285}{1 + 1,07} = 138 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Весовое количество газифицируемой древесины в 1 час определяется по формуле

$$G = \frac{L_r}{V_r} = \frac{138}{2,15} = 65 \frac{\text{кг}}{\text{час}}$$

2. Определение размеров бункера. Объем бункера определяется по формуле

$$V_b = \frac{G \tau}{\delta} \text{ м}^3$$

где: G — весовое количество газифицируемой древесины в 1 час; для нашего случая $G = 65 \frac{\text{кг}}{\text{час}}$, τ — запас топлива в бункере в часах принимаем равным 2, δ — вес 1 м^3 чурок принимаем равным $250 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Подставляя в формулу принятые значения, получим объем бункера

$$V_b = \frac{65 \cdot 2}{250} = 0,502 \text{ м}^3.$$

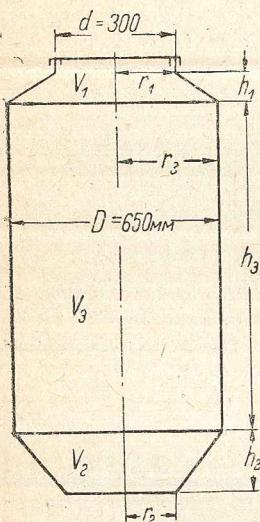


Рис. 19. Бункер.

Останавливаясь на форме бункера и подставляя значения, рис. 19, а именно: $h_1 = 100 \text{ мм}$, $h_2 = 200 \text{ мм}$, $r_1 = 150 \text{ мм}$, $r_2 = 200 \text{ мм}$, $r_3 = 325 \text{ мм}$, получаем возможность подсчитать высоту цилиндрической части бункера h_3 из следующих уравнений

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi h_1 (r_1^2 + r_3^2 + r_1 r_3) \text{ м}^3$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi h_2 (r_2^2 + r_3^2 + r_2 r_3) \text{ м}^3$$

$$V_3 = V_b - (V_1 + V_2) \text{ м}^3$$

$$h_3 = \frac{V_3}{\frac{\pi d^2}{4}} \text{ м}$$

Подставляя принятые значения, получаем

$$V_1 = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,1 (0,15^2 + 0,325^2 + 0,15 \cdot 0,325) = 0,019 \text{ м}^3$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,2 (0,20^2 + 0,325^2 + 0,20 \cdot 0,325) = 0,044 \text{ м}^3$$

$$V_3 = 0,502 - (0,019 + 0,044) = 0,44 \text{ м}^3$$

$$h_3 = \frac{0,44}{0,331} = 1,33 \text{ м}$$

Суммарная высота бункера

$$H = h_1 + h_2 + h_3 = 100 + 200 + 1330 = 1630 \text{ мм}$$

3. Определение высоты активной зоны. Высоту активной зоны на основании опытных данных примем равной

$$H = 500 \text{ мм}$$

4. Определение диаметра топливника. Диаметр топливника на уровне фурм определяется из следующего уравнения

$$F = \frac{G}{q} \text{ м}^2$$

где: F — сечение топливника на уровне подвода воздуха $= \frac{\pi d^2}{4}$,

q — термическое напряжение топливника, которое принимаем равным $600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2/\text{час}}$,

G — весовое количество газифицируемой древесины в 1 час, для нашего случая $G = 65 \text{ кг}$.

Решая уравнение относительно d (диаметр топливника на уровне фурм) и подставляя цифровые значения, будем иметь

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{G}{q}} = 1,13 \sqrt{\frac{65}{600}} \cong 0,375 \text{ м}$$

5. Определение диаметра фурм. Количество воздуха, поступающего в генератор при температуре T° и давлении p_Φ мм р. с., определяется по формуле

$$V_b = \frac{N_2^r V_r^c - \frac{N_p^t}{1,251}}{N_2^b} G \frac{T p_0}{T_0 p_\Phi} \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

где: $N_2 = 0,545$ — содержание азота в 1 м^3 газа,

$V_r^c = 2,15 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$ — выход газа из 1 кг газифицируемой древесины,

$N_p^t = 0,0048$ — содержание азота в 1 кг древесины,

1,251 — вес 1 м^3 азота,

$N_2^b = 0,79$ — содержание азота в воздухе,

$G = 65 \text{ кг}$ — количество газифицируемой древесины в час.

Подставляя в формулу приведенные значения, получаем

$$V_b = \frac{0,545 \cdot 2,15 - \frac{0,0048}{1,251}}{0,79} \cdot 65 \cdot \frac{348}{273} \cdot \frac{760}{755} = 96 \text{ м}^3/\text{час}$$

Диаметр фурм определяется из формулы

$$d_\Phi = 0,0315 \sqrt{\frac{V_b T}{n v_\Phi P_\Phi}} \text{ м}$$

где: $V_b = 96 \frac{m^3}{час}$ — количество воздуха, поступающего в генератор,
 $T = 348^\circ$ — абсолютная температура воздуха, поступающего в фурмы,
 n — число фурм принимаем равным 12,
 v_ϕ — скорость воздуха в фурмах; принимаем ее равной 30 м/сек.,
 p_ϕ — давление в фурмах; принимаем его равным 755 мм р. с.

Подставляя принятые значения в формулу, получаем

$$d_\phi = 0,0315 \sqrt{\frac{96 \cdot 348}{12 \cdot 30 \cdot 755}} \approx 0,011 \text{ м}$$

т. е. диаметр фурм равен $d_\phi = 11$ мм.

6. Определение диаметра выходного патрубка генератора и входного патрубка скруббера. Диаметр выходного патрубка генератора определяется из выражения

$$d_t = 0,0315 \sqrt{\frac{L_t T_t}{V_t p_t}} \text{ м}$$

где: $L_t = 138 \frac{m^3}{час}$ — объем газа, поступающего в цилиндры двигателя при 0° и 760 мм р. с.,

$T_t = 873^\circ$ — абсолютная температура газа в выходном патрубке генератора,

v_t — скорость газа в выходном патрубке генератора, которую принимаем равной 20 м/сек.,

p_t — давление газа в выходном патрубке генератора; принимаем его равным 755 мм р. с.

Подставляя принятые значения в формулу, будем иметь

$$d_t = 0,0315 \sqrt{\frac{138 \cdot 873}{20 \cdot 755}} = 0,09 \text{ м}$$

Примем диаметр выходного патрубка генератора и диаметр входного патрубка скруббера одинаковыми и равными $d = 100$ мм.

7. Определение диаметра выходного патрубка скруббера. Диаметр газопровода, соединяющий скруббер с очистителем, определяется из формулы

$$d_n = 0,0315 \sqrt{\frac{L_n T_n}{V_n p_n}} \text{ м}$$

где: d_n — диаметр газопровода после скруббера,

$T_n = 293^\circ$ — абсолютная температура в выходном патрубке скруббера,

v_n — скорость газа в газопроводе принимаем равной 20 м/сек.,

p_n — давление газа в газопроводе принимаем равным 750 мм р. с.

Подставляя принятые значения в формулу, получаем

$$d_n = 0,0315 \sqrt{\frac{138 \cdot 293}{20 \cdot 750}} \approx 0,050 \text{ м}$$

т. е. диаметр газопровода $d_n \approx 50$ мм.

8. Определение диаметра газопровода после очистителя. Диаметр газопровода, соединяющий очиститель со смесителем, определяется также по формуле

$$d_{oc} = 0,0315 \sqrt{\frac{L_{oc} T_{oc}}{v_{oc} p_{oc}}} \text{ м}$$

где: T_{oc} — абсолютная температура,

v_{oc} — скорость газа,

p_{oc} — давление газа в газопроводе.

Численное значение которых принимаем: $T_{oc} = 293^\circ$, $v_{oc} = 20$ м/сек. и $p_{oc} = 745$ мм р. с.

Подставляя принятые значения в формулу, будем иметь

$$d_{oc} = 0,0315 \sqrt{\frac{138 \cdot 293}{20 \cdot 745}} = 0,050 \text{ м}$$

Принимаем диаметр газопровода от очистителя до смесителя равным $d_{oc} = 50$ мм.

9. Определение диаметра газопровода после смесителя. Диаметр газопровода после смесителя определяется по формуле

$$d_{cm} = 0,0315 \sqrt{\frac{L_{cm} (1 + \alpha L_{cm}) T_{cm}}{v_{cm} p_{cm}}} \text{ м}$$

где: $\alpha L_{cm} = 1,07 \frac{m^3 \text{ воздуха}}{1 m^3 \text{ газа}}$ — действительное количество воздуха, потребное для сжигания 1 м³ газа,

v_{cm} , T_{cm} , p_{cm} — скорость, абсолютная температура и давление смеси в газопроводе после смесителя; принимаем значения их равными:

$$v_{cm} = 25 \frac{\text{м}}{\text{сек.}}, \quad T_{cm} = 293^\circ, \quad p_{cm} = 710 \text{ мм р. с.}$$

Подставляя принятые значения в формулу, будем иметь

$$d_{cm} = 0,0315 \sqrt{\frac{138(1 + 1,07)293}{25 \cdot 710}} = 0,049 \text{ м}$$

Принимаем диаметр газопровода после смесителя равным 50 мм. В табл. 41 приведены конструктивные и расчетные величины генератора.

Таблица 41

Сводная таблица расчетных и конструктивных величин генератора

Наименование величин	Единица измерения	Величины
Диаметр газогенератора по бункеру	мм	650
" " " шахте	"	650
" " " зольнику	"	650
Высота бункера	"	1630
" шахты	"	650
" зольника	"	250
Диаметр топливного люка	m^3	300
Объем бункера	час	0,502
Периодичность загрузки топлива в бункер	мм	2
Диаметр топливника на уровне фурм	"	375
Высота активной зоны	"	500
Диаметр фурм	"	11
Диаметр выходного патрубка генератора	"	100
" входного патрубка скруббера	"	100
" выходного и входного патрубка очистителя	"	50
Термическое напряжение топливника на уровне фурм	$kg/m^2/\text{час}$	600
Скорость воздуха в патрубке генератора	м/сек.	10

Наименование величины	Единица измерения	Величина
Скорость воздуха в фурмах	м/сек.	30
газа в выходном патрубке генератора	"	20
" в входном патрубке скруббера	"	20
" в выходном патрубке скруббера	"	20
" в выходном патрубке очистителя	"	20
" в выходном патрубке очистителя	"	20
" в газопроводе после смесителя	"	20
Температура воздуха, поступающего в топливник	° Ц	25
газа в выходном патрубке генератора	"	75
" в входном патрубке скруббера	"	600
" в выходном патрубке скруббера	"	600
" перед смесителем	"	20
" после смесителя	"	20
Разрежение в выходном патрубке генератора	мм водяного столба	20
" скруббера	"	68
" очистителя	"	136
" после смесителя	"	205
Действительное количество воздуха, поступающего в смеситель на 1 м ³ газа	м ³	680
Выход газа из 1 кг древесины	м ³	1,07
Количество смеси, потребляемой двигателем в час	"	2,15
Количество газа, потребляемого двигателем в час	"	285
Весовое количество газифицируемой древесины в час	кг	138
Количество воздуха, поступающего в топливник при 0° Ц и 760 мм давления	м ³	65
		96

§ 34. Пример расчета антрацитового газогенератора для двигателя мощностью в 240 л. с.

Для расчета принимаем следующие данные:

1. Средний состав антрацита на рабочую массу

$$\begin{aligned} C_p &= 84\% \\ H_p &= 2\% \\ N_p &= 1\% \\ O_p &= 2\% \end{aligned} \quad \begin{aligned} S_p &= 3\% \\ A_p &= 4\% \\ W_p &= 4\% \end{aligned}$$

2. Средний состав генераторного газа

$$\begin{aligned} CO_2 &= 5\% \\ O_2 &= 0,3\% \\ CO &= 28,0\% \\ N_2 &= 53,0\% \end{aligned} \quad \begin{aligned} H_2 &= 12\% \\ CH_4 &= 1\% \\ H_2S &= 0,7\% \end{aligned}$$

3. Выход сухого газа из 1 кг антрацита определяется по формуле

$$V_g^c = \frac{C_p - (C_{sh} + C_n + C_y)}{0,536 (CO_2 + CO + CH_4)} \text{ м}^3/\text{кг}$$

Принимая содержание углерода в уносе C_y , в провале C_n и в шлаке C_{sh} равным 2% и подставляя в формулу выхода принятые значения, получаем

$$V_g^c = \frac{84 - 2}{0,536 (5 + 28 + 1)} = 4,5 \text{ м}^3/\text{кг}$$

4. Низшая теплотворная способность газа определяется по формуле

$$Q_g = 3045 CO + 2580 H_2 + 8590 CH_4 \text{ кал./м}^3$$

Подставляя принятые значения CO, H₂ и CH₄, получаем

$$Q_g = 3045 \cdot 0,28 + 2580 \cdot 0,12 + 8590 \cdot 0,01 = 1245 \text{ кал./м}^3$$

5. Эффективная мощность двигателя на газе = 240 л. с.

1. Производительность газогенератора. Производительность газогенератора определяется по количеству газа, вырабатываемого в 1 час, или по количеству газифицируемого топлива за это же время.

Производительность газогенератора по газу определяется по формуле

$$L_g = \frac{632}{\eta_e Q_g} N_e \text{ м}^3/\text{час}$$

где: L_g — объем газа, потребляемого двигателем в 1 час (0° и 760 мм),

η_e — эффективный к. п. д., который принимаем равным 25%,

Q_g — низшая теплотворная способность генераторного газа = 1245 кал./м³,

N_e — эффективная мощность двигателя; принимаем ее равной 240 л. с.

Подставляя в формулу принятые значения, будем иметь

$$L_g = \frac{632}{0,25 \cdot 1245} \cdot 240 = 490 \text{ м}^3/\text{час}$$

Производительность генератора по топливу определяется по формуле

$$G = \frac{L_g}{V_g^c} = \frac{490}{4,5} = 110 \text{ кг/час}$$

Расход антрацита на эффективную силу/час

$$g = \frac{G}{N_e} = \frac{110}{240} = 0,45 \text{ кг}$$

2. Определение диаметра топливника. Топливник от колосников ковой решетки до направляющего конуса принимаем цилиндрической формы. Это расстояние в дальнейшем будем называть рабочей частью генератора.

Диаметр топливника определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\pi q}} \text{ м}$$

где $q = 200 \text{ кг/м}^2/\text{час}$ — напряжение топливника.

Подставляя числовые значения, получаем

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 100}{3,14 \cdot 200}} = 0,84 \text{ м}$$

или $d = 840 \text{ мм}$.

3. Определение высоты топливника. Высоту топливника принимаем равной на основании опытных и конструктивных данных

$$H = 780 \text{ мм}$$

4. Определение объема бункера. Принимая форму бункера в виде конуса с размерами $h = 340 \text{ мм}$, $r_1 = 395 \text{ мм}$ и $r_2 = 275 \text{ мм}$, получаем объем его

$$V_b = \frac{1}{3} \pi h (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2) \text{ м}^3$$

Подставляя принятые значения, получаем

$$V_6 = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,340 (0,395^2 + 0,275^2 + 0,395 \cdot 0,275) = 0,13 \text{ м}^3.$$

Запас антрацита в бункере в часах определится из формулы

$$\tau = \frac{V_6}{G} \text{ час.}$$

где: $V_6 = 0,13 \text{ м}^3$ — объем бункера,

$\delta = 850 \text{ кг/м}^3$ — вес 1 м³ антрацита,

$G = 110 \text{ кг}$ — вес газифицируемого антрацита за один час.

Подставляя принятые значения в формулу, будем иметь

$$\tau = \frac{0,13 \cdot 850}{110} \cong 1 \text{ час}$$

т. е. периодичность загрузки топлива в генератор равна 1 часу.

5. Определение объема загрузочного аппарата. Исходя из конструктивных соображений, форму загрузочного аппарата принимаем цилиндрической с размерами $D = 380 \text{ мм}$, $h = 400 \text{ мм}$.

Объем его определится из формулы

$$V_u = \frac{\pi D^2}{4} h \text{ м}^3$$

Подставляя принятые значения, получаем

$$V_u = 0,785 \cdot 0,4^2 \cdot 0,4 = 0,05 \text{ м}^3$$

Вес вмешаемого антрацита в загрузочном аппарате

$$g_a = 0,05 \cdot 850 = 42,5 \text{ кг}$$

6. Определение диаметра выходного патрубка генератора. Диаметр выходного патрубка генератора определяется из формулы

$$d_m = 0,0315 \sqrt{\frac{L_r T_t}{v_r P_t}} \text{ м}$$

где: $T_t = 873^\circ$ — абсолютная температура газа в выходном патрубке генератора, $v_r = 25 \text{ м/сек.}$ — скорость газа в выходном патрубке генератора, $P_t = 755 \text{ мм}$ — давление газа в выходном патрубке генератора.

Подставляя в формулу принятые числовые значения, получаем

$$d_t = 0,0315 \sqrt{\frac{490 \cdot 873}{25 \cdot 755}} = 0,148 \text{ м}$$

Принимаем диаметр выходного патрубка генератора равным $d_t = 150 \text{ мм}$.

7. Определение диаметра выходного патрубка скруббера. Диаметр выходного патрубка скруббера определяется из формулы

$$d_n = 0,0315 \sqrt{\frac{L_r T_n}{v_n P_n}} \text{ м,}$$

где: $T_n = 293^\circ$ — абсолютная температура газа в выходном патрубке скруббера,

$v_n = 25 \text{ м/сек.}$ — скорость газа в выходном патрубке скруббера,

$P_n = 750 \text{ мм}$ — давление газа в выходном патрубке скруббера.

Подставляя в формулу принятые цифровые значения, получаем

$$d_n = 0,0315 \sqrt{\frac{490 \cdot 293}{25 \cdot 750}} = 0,087 \text{ м}$$

Принимаем диаметр выходного патрубка скруббера равным 100 мм.

Диаметр газопровода от скруббера к очистителю и от очистителя к рециркуляции принимаем также равным 100 мм.

§ 35. Очистка и охлаждение газа

Выходящий из газогенератора газ с температурой, колеблющейся между 500° и 800°, содержит твердые и газообразные вредные примеси.

В целях увеличения весового количества засасываемой рабочей смеси в цилиндры двигателя необходимо охлаждать газ до температуры окружающего воздуха, а на газоходах до температуры охлаждающей воды, т. е. 10—15°.

Очистка генераторного газа от твердых частиц (золы и угольной пыли), а также от смолистых веществ имеет первостепенное значение при использовании генераторного газа в двигателях внутреннего сгорания.

Повышенная температура рабочей смеси ведет к понижению мощности двигателя, а повышенное содержание примесей твердых частиц вызывает усиленный износ коренных и шатунных подшипников, а также поршневых колец и втулок цилиндров.

Несмотря на то, что содержащаяся в газе смола при сгорании выделяет тепло, все же ее не желательно иметь в качестве примеси, так как частицы смолы загрязняют газопровод, а при поступлении в двигатель оседают на деталях всасывающих клапанов и на поршневых кольцах, что приводит к временным остановкам двигателя.

Поэтому генераторный газ охлаждают до температуры 10—15° и тщательно очищают от твердых и жидких частиц перед поступлением его в цилиндры двигателя.

В зависимости от рода топлива и типа процесса (обращенный или прямой) применяются различные схемы охладительно-очистительных устройств.

В основном типы охладительно-очистительных устройств разделяются на два класса: охладители для бессырьевой газов и охладители для газов, содержащих смолу.

Классической схемой охлаждения и очистки бессырьевой газа является схема, предложенная Доусоном в конце прошлого столетия и сохранившаяся в основном до настоящего времени.

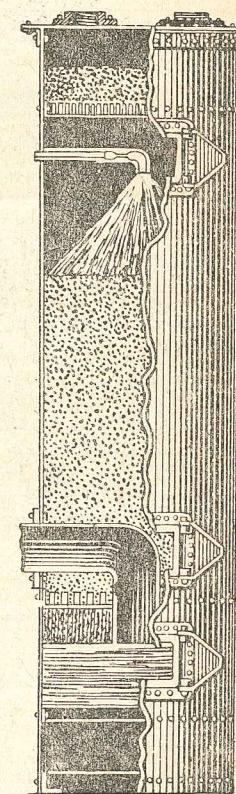


Рис. 20. Скруббер.

На рис. 20 показан предложенный Доусоном скруббер. Скруббер представляет собой сосуд, сваренный из листового железа в виде цилиндра и заполненный коксом для получения большей поверхности соприкосновения охлаждающей воды с горячим и грязным газом. Входя в нижнюю часть скруббера, газ движется вверх, навстречу падающим сверху струям воды.

Вода вводится в скруббер сверху через продырявленные газовые трубы или через специальное брызгало, а отводится из скруббера внизу через отводящий патрубок. Противоположные потоки газа и воды осуществляют охлаждение и очистку газов от сажи и золы.

Объем скруббера в стационарных силовых установках принимается равным 20–30 л на 1 л. с., а расход воды принимают равным 5 л на 1 м³ газа, или 12–15 л на 1 л. с./час.

Объем скруббера, предназначенного для газоходов, принимают равным от 2 до 5 л на 1 л. с., а расход воды от 30 до 60 л на 1 л. с./час.

Для того чтобы задержать взвешенную влагу, уносимую из скруббера, над разбрызгивателем устанавливают небольшую камеру, заполненную коксом (см. рис. 20).

Весьма компактная схема очистителя и охладителя изображена на рис. 21; ее можно успешно применять на генераторных установках для катеров.

Использование скрубберов с коксовой насадкой для охлаждения и очистки газа, содержащего смолу, связано с целым рядом производственных неполадок, вследствие быстрого загрязнения кокса. Поэтому применяют обычно в качестве первичного очистителя и охладителя простой промыватель без насадки, в котором вода не только охлаждает газ, но также смывает смолу со стенок. Однако, следует отметить, что далеко не вся смола осаждается в подобного рода устройствах, вследствие чего для окончательной очистки газа от смолистых веществ прибегают к помощи центробежных или электрических очистителей.

На рис. 22 и 23 даны два типа промывателей.

Электрический способ очистки газов (способ Котреля). Принцип работы электрической очистки газов состоит в том, что газ, содержащий взвешенные твердые или жидкые частицы, пропускают между двумя электродами через электрическое поле высокого напряжения. Работа электрофильтра основана на принципе «электрического ветра», т. е. на истечении электрических

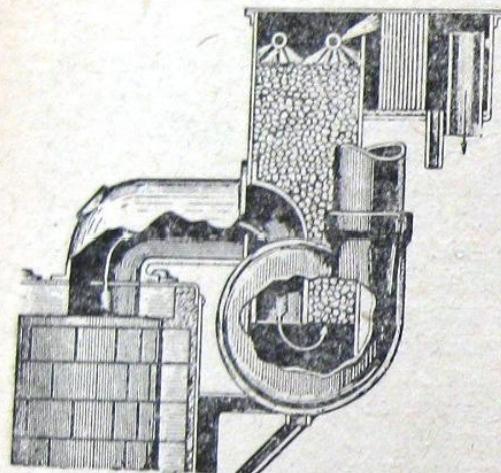


Рис. 21. Скруббер.

зарядов из проводника с высоким потенциалом. При истечении электрических зарядов происходит отбрасывание взвешенных частиц от поверхности одного электрода на поверхность другого.

Таким образом, в электрофильтре имеются два электрода: один активный, заряжающий частицы, и другой пассивный, собирающий их. В конструктивном оформлении активный электрод может быть проволокой, а пассивный — трубой, по геометрической оси которой проходит эта проволока; электродами могут быть также пластины. Выделенные частицы пыли при достаточном их накапливании либо сами отпадают от электрода и попадают в сборник, или же их отделяют при помощи встряхивающего механизма.

Выходящий из электрофильтра газ совершен-но очищен от взвешенных частиц смолы, угольной пыли и золы.

На рис. 24 дано устройство пластинчатого электрофильтра.

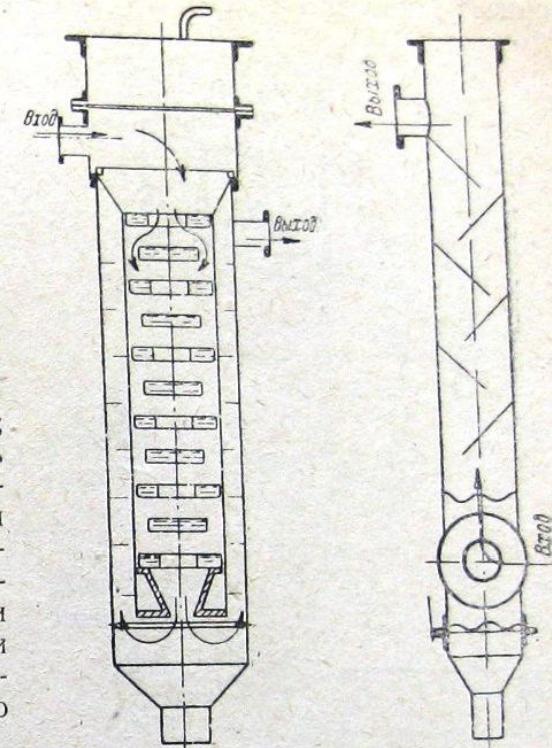


Рис. 22 и 23. Промыватель.

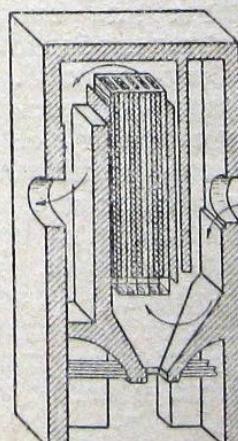


Рис. 24. Пластинчатый электрофильтр.

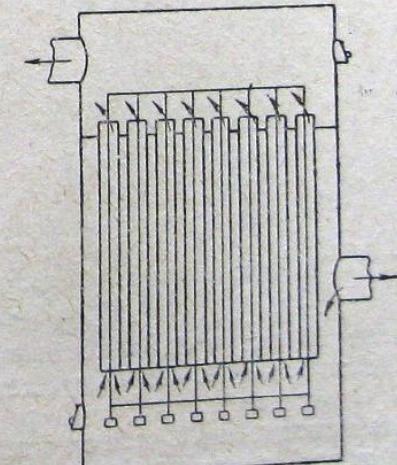


Рис. 25. Трубчатый электрофильтр.

Для очистки газа лучше применять постоянный ток высокого напряжения (от 20 000 до 100 000 вольт при силе тока 1/1000 ампера), который можно получить из переменного тока. На рис. 25 показан трубчатый электрофильтр.

Дезинтеграторы.

Для очистки газа от смолы применяют также и механические очистители, так называемые, дезинтеграторы.

Действие всех центробежных дезинтеграторов состоит в том, что „смоляной туман“, благодаря действию воды и центробежной силы, собирается в тяжелые капельки, которые уже поддаются влиянию силы тяжести и выпадают из газового потока.

На рис. 26 и 27 изображен дезинтегратор Тейзена, который является одним из лучших. Очищаемый газ входит в дезинтегратор через полости 1 в торец аппарата, в конус 2, а промывная жидкость (вода или смола) подается свободной струей в воронки 3. Вследствие быстрого вращения ротора 4 жидкость и газ интенсивно перемешиваются и отбрасываются на периферию кожуха, откуда промывная жидкость стекает в специальный отстойник, а газ под некоторым давлением поступает через улиткообразную коробку дезинтегратора к месту потребления.

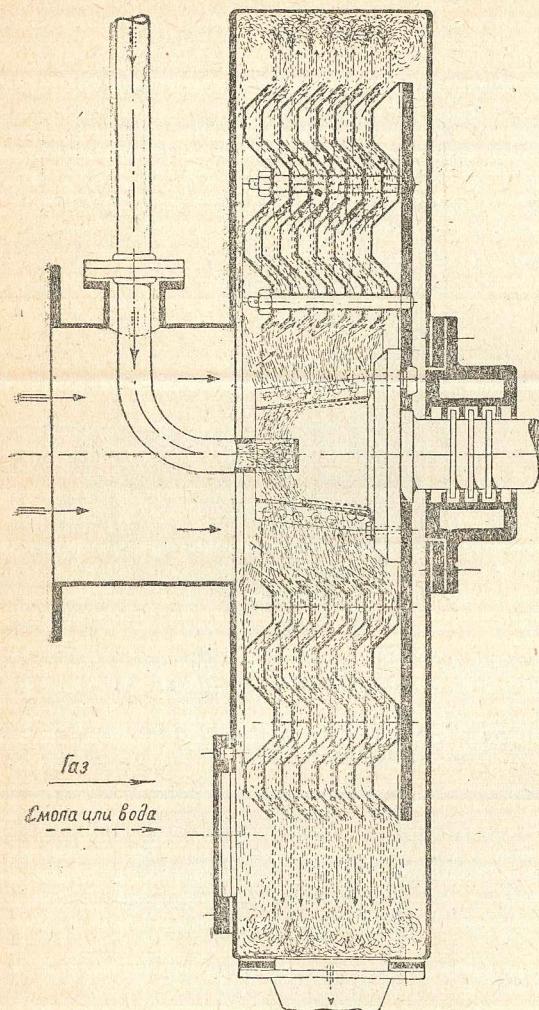


Рис. 26. Дезинтегратор Тейзена.

отстойник, а газ под некоторым давлением поступает через улиткообразную коробку дезинтегратора к месту потребления.

Сухие очистители. Сухие очистители могут быть подразделены на три типа: динамические (инерционные и центробежные), матерчатые и поверхностные.

Инерционные очистители выполняются в виде цилиндров или прямоугольников с рядом продырявленных пластин, сквозь которые проходит газ. Отверстия в пластинах располагаются в шахматном порядке количеством до 1500—2000 шт., диаметр которых постепенно уменьшается от пластины к пластине в направлении движения газа. Расстояния между отдельными дисками или пластинками определяются высотой проложенных между ними трубок или стержней.

Газ проходит через отверстия дисков со скоростью в 15—20 м/сек. После выхода из отверстия скорость газа понижается до 2—3 м/сек., а твердые частицы, содержащиеся в газе, как более тяжелые, продолжают двигаться по инерции с прежней скоростью и, ударяясь о стенку следующей пластины, выпадают из газа и опускаются на дно. На рис. 28 приведен инерционный очиститель. Инерционные очистители обычно производят грубую очистку газа, поэтому за ними устанавливают еще и фильтры.

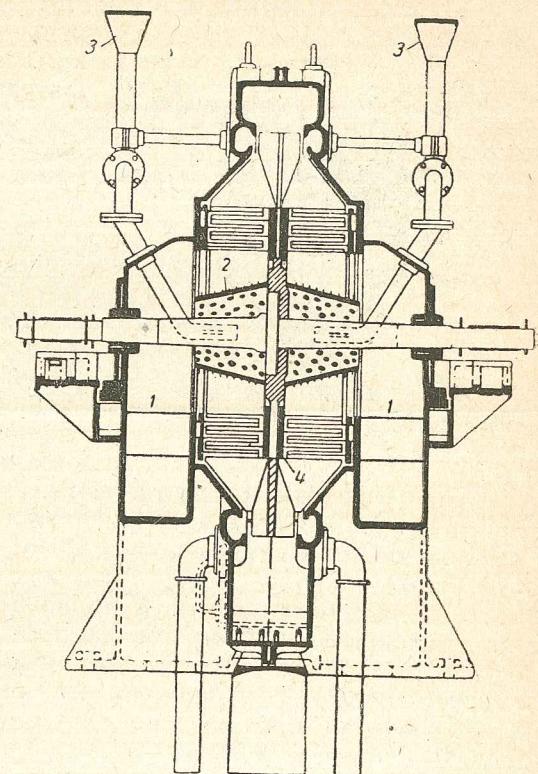


Рис. 27. Дезинтегратор Тейзена.

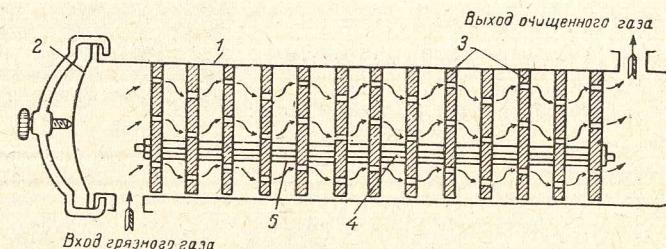


Рис. 28. — Схема инерционного очистителя.

1 — кожух очистителя; 2 — крышка очистителя; 3 — пластины; 4 — стержень; 5 — распорные втулки.

Центробежные очистители. В центробежных очистителях газу придается вращательное движение.

На рис. 29 приведена схема центробежного очистителя. Газ входит через патрубок 4 в очиститель, далее поступает между крыльчатки 1, где получает вращательное движение. Центробежная сила отбрасывает частицы пыли, как более тяжелые, к наружным стенкам кожуха 2, откуда они, потеряв свою скорость, опускаются на дно очистителя. Очищенный газ отбирается через патрубок 3.

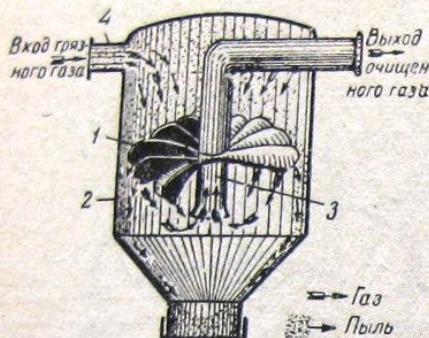


Рис. 29. Схема центробежного очистителя.

Матерчатые очистители. Более тонкая очистка газа достигается наиболее совершенными, которые возможно применять только при условии прохождения через них сухого газа (без влаги). Установка их за мокрым очистителем (скрубером) не рекомендуется, так как материя покрывается влажной угольной пылью, которая быстро закупоривает ее поры, вследствие чего сильно возрастает сопротивление очистителя и мощность двигателя падает. Также нельзя устанавливать матерчатые фильтры непосредственно за генератором, вследствие возможного прожога материи. Поэтому при использовании матерчатых очистителей следует находить такое место в системе газогенераторной установки, где устанавливается температура газа не ниже 100° и не выше той температуры, при которой происходит разрушение материи.

Очистители этого типа обычно изготавливают из одного или нескольких дырячих цилиндров, покрываемых фланелью. На рис. 30 показан очиститель генератора „Рекс“.

Поверхностные очистители изготавливаются в виде цилиндров или прямоугольных сосудов с свободно закрывающи-

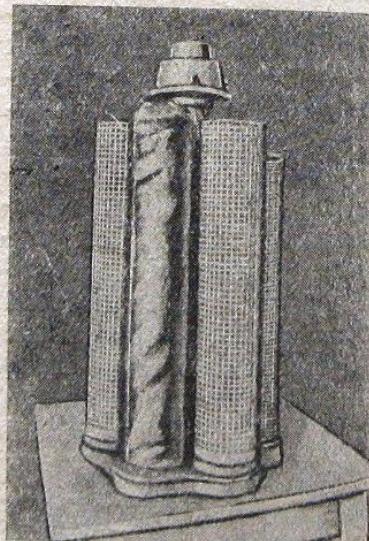


Рис. 30. Схема матерчатого очистителя.

мися крышками для очистки. Эти сосуды свободно заполняются соответствующей очищающей массой (металлический волос, стружка, растительное волокно, древесные опилки, пробки, кольца Рашига, кокс и т. п.).

Кольца Рашига представляют собой цилиндрические металлические или фарфоровые трубы диаметром в 2—7 см, длиной в 2—10 см и толщиной стенки в 0,1—1,5 см.

На рис. 31 изображено несколько типов поверхностных очистителей, а на рис. 32 показаны кольца Рашига.

В судовых газогенераторных установках этот тип очистителей нашел себе широкое применение. Неудобством этих очистителей являются их большие габариты, вызываемые необходимостью создавать большие очищающие поверхности.

Вопрос о необходимой степени очистки газа в настоящее время окончательно не решен. Проф. Гиттис и Балдин считают, что для бесперебойной работы двигателя 1 m^3 очищенного газа не должен содержать более 0,33 г механических примесей.

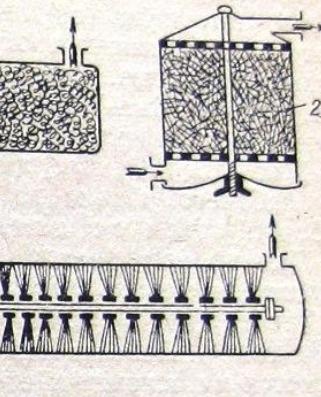


Рис. 31. Схема поверхностного очистителя.

1 — железные стружки; 2 — металлический волос; 3 — кольцевые проволочные щетки-ершки.

Для двигателей, работающих на доменном газе, практика установила содержание механических примесей не более 0,005 г на 1 m^3 газа.



Рис. 32. Кольца Рашига.

допускающие не более 0,0001 г механических примесей на 1 m^3 очищенного воздуха, что для газогенераторных установок считается недостижимым.

Содержание смолы в количестве, превышающем 0,1 г на 1 m^3 газа, Балдин считает недопустимым, так как оно вызывает остановку двигателя.

Притщательной очистке содержание смолы доходит до 0,01 г/ m^3 .

Объем поверхностного очистителя принимают от 5 до 15 л на 1 л. с. В целях лучшей очистки газа желательно иметь максимально возможный объем поверхностного очистителя.

§ 36. Расчет очистителя и скруббера

Расчет очистителя. Расчет очистителей в настоящее время ведется на основании эмпирических соображений, так как для исчерпывающего теоретического расчета нужно было бы определить огромное количество коэффициентов опытным путем.

Во избежание уноса вместе с газом легковесного очищающего материала (опилки, мелкая древесная стружка и др.), поток газа должен проходить через этот материал с возможно малой скоростью. Следовательно площадь сечения для прохода газа должна быть тем больше, чем мельче и чем плотнее очищающий материал.

Для стационарных двигателей рекомендуют брать не менее 5 л рабочего объема на 1 л. с. двигателя. Иной раз доводят рабочий объем очистителя до 10 и 15 л на 1 л. с. двигателя.

При проектировании судовых очистителей рабочий объем очистителя можно брать в пределах от 2 до 3-х литров на 1 л. с.

Расчет скруббера (по схеме НАТИ). 1. Определение высоты слоя кокса. Поверхность кокса, заложенного в скруббер определяется на основании следующих соображений.

Допустим, что куски кокса имеют шарообразную форму одинакового диаметра.

Отношение объема кокса без воздушных промежутков между отдельными кусками к действительно занимаемому объему на основании вычисления равно $\varphi = 0,525$.

Прямые, соединяющие центры равных шаров в одной плоскости, дают ромб, а в пространстве — ромбоэдр.

1) Тогда поверхность шаров F , отнесенная к объему занимаемому этими шарами, будет равна отношению поверхности шара к объему ромбоэдра, т. е.

$$\frac{F}{V_k} = \frac{\pi d^2}{4 V_{\text{ромб}}} = \mu \quad \dots \dots \dots \quad (46)$$

отсюда рабочая поверхность шаров, или общая поверхность кокса равна

$$F = \mu V_k \text{ м}^2 \quad \dots \dots \dots \quad (47)$$

где: V_k — объем, занимаемый коксом,

$$\mu = \frac{\pi}{d^2}$$

d — диаметр шара или в нашем случае размер кусков кокса.

Далее мы определяем необходимые величины для расчета скруббера в следующем порядке.

2) Средняя температура газа в межкоксовых воздушных промежутках определяется по формуле

$$t_{cp} = \frac{t_1 - t_2}{2,3 \lg \frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0}} + t_0 \quad \dots \dots \dots \quad (48)$$

где: t_1 — температура газа, поступающего в межкоксовое пространство,
 t_2 — температура газа, выходящая из межкоксового пространства,
 t_0 — температура воды, поступающей в скруббер.

3) Секундный расход газа в условиях работы скруббера определяется по формуле

$$V = V_0 \frac{(273 + t_{cp})p}{3600 \cdot 273(p - p_1)} \text{ м}^3 \text{ сек.} \quad \dots \dots \dots \quad (49)$$

где: V_0 — часовой расход сухого газа,
 t_{cp} — средняя температура в межкоксовом пространстве,
 p — барометрическое давление,
 p_1 — разрежение газа в межкоксовом пространстве.

4) Время пребывания газа в межкоксовом пространстве определяется по формуле

$$\tau = \frac{(1 - \varphi)V_k}{V} \text{ сек.} \quad \dots \dots \dots \quad (50)$$

где: φ — отношение объема кокса (без межкоксового пространства) к объему, действительно занимаемому коксом; на основании теоретических выкладок принимаем его равным $\varphi = \frac{\pi}{6} = 0,525$,

V_k — объем, занимаемый коксом,

V — секундный расход газа,

$(1 - \varphi)V_k$ — объем межкоксового пространства.

5) Средняя скорость газа в межкоксовом пространстве определяется по формуле

$$C = \frac{s}{\tau} \frac{\text{м}}{\text{сек.}} \quad \dots \dots \dots \quad (51)$$

где: τ — время пребывания газа в межкоксовом пространстве,
 s — путь газа в межкоксовом пространстве принимается равным высоте слоя кокса в скруббере H , умноженной на постоянный множитель $\rho = 1,065$; ρ — учитывает траекторию движения газа в межкоксовом пространстве.

6) Коэффициент теплопередачи от газа к быстро возобновляющейся водной поверхности (в нашем случае орошающей куски кокса), согласно Hausbrand'у, определяется из уравнения

$$K = 2 + 18 \sqrt{C} \frac{\text{кал}}{\text{м}^3 \text{час.}} \quad \dots \dots \dots \quad (52)$$

7) Часовой расход сухого газа в килограмм-молекулах определяется из следующего выражения

$$m = \frac{V_0}{22,4} \text{ кг-мол/час.} \quad \dots \dots \dots \quad (53)$$

8) Средняя молекулярная теплоемкость газа определится из следующего выражения

$$C = 7,1 + 0,00095 t \text{ кал./кг-мол.}$$

где: t — температура газа, поступающего в межкоксовое пространство.

9) Постоянный множитель K_1 выражается через

$$K_1 = \frac{K \mu \pi D^2}{4m C_p} \dots \dots \dots \quad (54)$$

где: K — коэффициент теплопередачи от газа к быстровозобновляющейся водяной поверхности,

μ — отношение поверхности кокса к занимаемому им объему,

D — диаметр скруббера,

m — расход сухого газа в килограмм-молекулах в час,

C_p — средняя молекулярная теплоемкость газа.

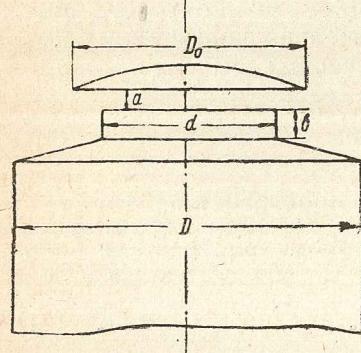


Рис. 33. Отражатель.

10) Температура газа, выходящего из межкоксового пространства, определится из уравнения

$$t = (t_1 - t_0)e^{-K_1 H} + t_0$$

где: t_1 — температура газа, входящего в межкоксовое пространство,

t_0 — температура воды, поступающей в скруббер,

K_1 — коэффициент теплопередачи от газа к водяной поверхности кокса,

H — высота слоя кокса в скруббере,

$e = 2,718$ — основание натуральных логарифмов.

2. Определение основных размеров отражателя (рис. 33). D — диаметр скруббера; d — диаметр горловины; D_0 — диаметр сферической крышки; b — высота горловины; a — ширина щели для прохода газа.

При определении конструктивных размеров отражателя рекомендуется брать следующие соотношения от диаметра скруббера:

Диаметр горловины $d = 0,3 D$.

Высота горловины $b =$ от $1/3 d$ до $1/2 d$.

Диаметр сферической крышки при $d < 12$ см; $D_0 = d + 2,4$ см, а при $d > 12$ см; $D_0 = 1,2 d$.

Радиус сферической крышки (рис. 34) необходимо выбрать таким, чтобы угол падения капли, в предположении ее прямого

линейного движения по касательной AB , проведенной к краю крышки, не был больше 75° . 5

Таким образом будем иметь треугольник ONC , в котором угол против большого катета будет равен α , следовательно из прямоугольного треугольника мы сможем найти величину гипotenузы ON (принимая $\alpha = 75^\circ$), которая и будет радиусом сферической части крышки.

Таким образом

$$ON = R = \frac{CN}{\cos \alpha} = \frac{D_0}{2 \cos \alpha} = \frac{D_0}{2 \cos 75^\circ} = 1,93 D_0$$

Величина щели не должна быть меньше 3—4 мм.

Скорость газа в щели отражателя будет равна общему расходу газа в сек., деленному на площадь кольцевой щели.

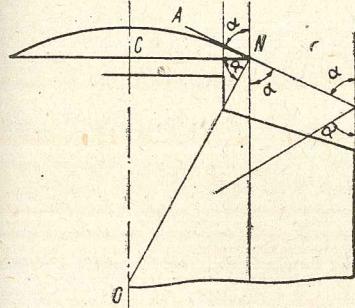


Рис. 34. Отражатель.

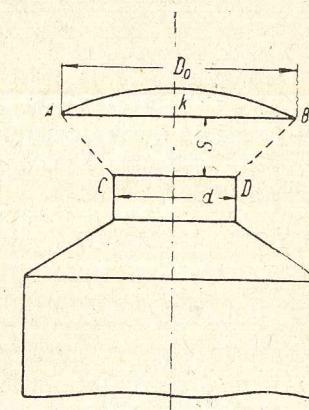


Рис. 35. Отражатель.

Площадь кольцевой щели (рис. 35) будет представлять поверхность усеченного конуса $ABCD$ и будет равняться

$$F = \pi s (r_1 + r_2)$$

где: s — ширина щели,

r_1 — радиус меньшего основания,

r_2 — радиус большего основания,

$$r_2 = \frac{AB}{2} = \frac{D_0}{2}$$

$$r_1 = \frac{CD}{2} = \frac{d}{2}$$

$$\text{Площадь щели } F = \pi s \left(\frac{D_0}{2} + \frac{d}{2} \right) \text{ м}^2$$

$$\text{Скорость газа в щели отражателя } v_{cp} = \frac{G}{3600 F} \text{ м/сек.}$$

где: G — расход газа в час,

F — площадь щели.

Скорость газа в щели отражателя рекомендуется брать равной 8—10 м/сек. Имея конструктивные размеры диаметров сферической крышки и горловины, высоту щели можно определить из заданной скорости газа.

3. Определение расхода воды на охлаждение генераторного газа. Охлаждение газа в скруббере, работающем по принципу противотока, может быть доведено до температуры забортной воды.

Расход воды для судовых скруберов НАТИ рекомендуется выбирать в таком количестве, чтобы нагрев ее в процессе охлаждения газа не превышал 12—18°.

Количество тепла, выделяемое в скруббере при охлаждении газа, складывается из теплоты сухого газа, теплоты водяного пара и теплоты конденсации водяного пара.

1) Теплота охлаждения сухого газа определяется по формуле

$$Q_1 = V_0 C_r (t_2 - t_1) \text{ кал./час} \quad (55)$$

где: V_0 — производительность газогенератора по сухому газу при 0° и 760 мм р. с.,

C_r — теплоемкость сухого газа,

t_2 — температура газа, поступающего в скруббер,

t_1 — температура газа, выходящего из скруббера.

2) Теплота охлаждения водяных паров газа определяется по формуле

$$Q_2 = V_0 C_n (t_2 - 100) \lambda_s \text{ кал./час} \quad (56)$$

где: C_n — теплоемкость перегретого пара,

λ_s — начальное влагосодержание газа кг/м³.

3) Теплота конденсации определяется по формуле

$$Q^3 = Gq + G(100 - t_b) \text{ кал./час} \quad (57)$$

где: $G = V_0 (\lambda_s - \lambda_n)$ кг/час — количество выделившегося конденсата,

λ_n — влагосодержание отходящего газа из скруббера,

q — теплота конденсации пара,

t_b — температура воды, уходящей из скруббера.

Общее физическое тепло газа и водяного пара, выделяющееся в скруббере

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (58)$$

4) Потребный расход воды в час для охлаждения газа определяется из уравнения

$$W = \frac{Q}{t_b - t_n} \text{ л/час} \quad (59)$$

где t_n — температура воды, поступающей в скруббер.

5) Расход воды на 1 л. с./час определяется из следующего выражения

$$W' = \frac{W}{N_e \text{ л. с./час}} \quad (60)$$

Габариты судовых скруберов в настоящее время окончательно не установлены. Объем скрублера стационарного типа принимается равным от 25 до 35 л на 1 л. с. мощности двигателя или 1% расходуемого в час газа. Следует иметь в виду, что газ в скрублере помимо охлаждения очищается также и от твердых частиц (золы и угольная мелочь), поэтому желательно иметь максимальный габарит.

4. Определение диаметра трубы, подводящей воду в скруббер. Диаметр трубы, подводящей воду в скрублер, определяется из уравнения непрерывности потока

$$W = Fv 3600 \text{ л/час} \quad (61)$$

где: W — часовой расход воды в л,

$F = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь сечения трубы,

v — скорость воды в трубе, которая принимается равной 2 м/сек.

Решая уравнение (61) относительно d , получаем

$$d = \sqrt{\frac{4W}{\pi v 3600}} \text{ м} \quad (62)$$

5. Определение диаметра трубы, отводящей воду из скруббера. Учитывая неразрывность струи в трубе и принимая разность уровней воды в скрублере и за бортом, равной h , определим среднюю скорость воды в отводящей трубе из уравнения

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{2}} \text{ м/сек.} \quad (63)$$

Диаметр трубы определяется из уравнения

$$W = Fv 3600 \text{ л/час}$$

откуда

$$d = \sqrt{\frac{4W}{\pi v 3600}} \quad (64)$$

где: h — принимается равным 500 мм,

$F = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь трубы.

§ 37. Пример расчета скрублера (по схеме НАТИ)

Определение (проверка) высоты кокса в скрублере.

Для расчета принимаем следующие данные

1. Объем сухого газа, поступающего в скрублер в час при 0° и 760 мм р. с.	311	м³
2. Температура газа, поступающего в скрублер	540°	

2. Температура газа, поступающего в скрублер

3. Температура газа, поступающего в межкоксовое пространство	300°
4. Температура газа, выходящего из межкоксового пространства	20°
5. Температура воды, поступающей в скруббер	15°
6. Внутренний диаметр скруббера	$D = 600$ мм
7. Высота кокса в скруббере	$H = 1000$ мм
8. Размер кусков кокса	30 мм
9. Разрежение в скруббере	130 мм в. с. или 9,6 мм р. с.
10. Барометрическое давление	760 мм р. с.
11. Средний состав сухого генераторного газа	
$\text{CO}_2 = 11,0\%$	$\text{CH}_4 = 2,0\%$
$\text{O}_2 = 0,2\%$	$\text{C}_2\text{H}_4 = 0,3\%$
$\text{CO} = 20,0\%$	$\text{N}_2 = 54,5\%$
$\text{H}_2 = 12,0\%$	

1. Поверхность кокса, заложенного в скруббер, и поверхность охлаждения и очистки генераторного газа

$$F = \mu V_k = \frac{\pi D^2 H}{d^4} = \frac{3,14 \cdot 3,14 \cdot 0,6^2 \cdot 1,0}{0,03 \cdot 4} = 30 \text{ м}^2$$

2. Средняя температура газа в межкоксовом пространстве будет равна

$$t_{cp} = \frac{t_1 - t_2}{2,3 \lg \frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0}} + t_0 = \frac{300 - 20}{2,3 \lg \frac{300 - 15}{20 - 15}} + 15 = 85^\circ.$$

3. Секундный расход газа в условиях работы скруббера будет

$$V = V_0 \frac{(273 + t_{cp}) p}{3600 \cdot 273 (p - p_1)} = 311 \frac{(273 + 85) 760}{3600 \cdot 273 (760 - 9,6)} = 0,112 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

4. Время пребывания газа в межкоксовом пространстве

$$\tau = \frac{(1 - \varphi) V_k}{v} = \frac{(1 - 0,525) \cdot 3,14 \cdot (0,6)^2 \cdot 1,0}{0,112 \cdot 4} = 1,13 \text{ сек.}$$

5. Средняя скорость в межкоксовом пространстве

$$C = \frac{s}{\tau} = \frac{H_p}{\tau} = \frac{1 \cdot 1,065}{1,13} = 0,94 \text{ м/сек.}$$

6. Коэффициент теплопередачи от газа к быстрообновляющейся водяной поверхности

$$K = 2 + 18 \sqrt{C} = 2 + 18 \sqrt{0,94} \cong 19,45 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^2/\text{час.}}$$

7. Часовой расход сухого газа в килограмм-молекулах

$$m = \frac{v_0}{22,4} \frac{311}{22,4} = 13,9 \text{ моля}$$

8. Средняя молекулярная теплоемкость сухого газа

$$\begin{aligned} C_{cp}^{\text{CO}_2} &= 0,11 (8,7 + 0,0026t) = 0,95 + 0,00029t \\ C_{cp}^{\text{CO}, \text{H}_2, \text{O}_2, \text{N}_2} &= 0,867 (6,83 + 0,006t) = 5,93 + 0,00052t \\ C_{cp}^{\text{CH}_4} &= 0,02 (9,78 + 0,006t) = 1,19 + 0,00012t \\ C_{cp}^{\text{C}_2\text{H}_4} &= 0,003 (8,51 + 0,006t) = 0,03 + 0,00002t \end{aligned}$$

$$\text{Средняя теплоемкость } C_{cp} = 7,1 + 0,00095t$$

или средняя теплоемкость $C_{cp} = 7,1 + 0,00095 \cdot 300 = 7,39$.

9. Постоянный множитель

$$K_1 = \frac{K \mu \pi D^2}{4m C_{cp}} = \frac{K \pi D^2}{4m C_{cp} d} = \frac{19,45 \cdot 3,14 \cdot 3,14 \cdot 0,6^2}{4 \cdot 13,9 \cdot 7,39 \cdot 0,03} = 9,56$$

где $d = 30$ мм — диаметр кусков кокса.

10. Температура газа, выходящего из межкоксового пространства

$$t = (t_1 - t_0) e^{-K_1 H} + t_0 = (300 - 15) e^{-9,56 \cdot 1,0} + 15$$

$$t = 285 e^{-9,56} + 15 \quad \text{или} \quad t - 15 = 285 e^{-9,56}$$

$$\lg(t - 15) = \lg 285 - 9,56 \lg e$$

$$\lg(t - 15) = 2,45484 - 9,56 \cdot 0,43429 = 2,45484 - 4,15181 = -1,69697$$

$$t \cong 15^\circ.$$

Полученная посредством расчета температура отходящего газа из межкоксового пространства и равная 15° показывает, что взятая толщина слоя и размер кокса вполне обеспечивает охлаждение газа.

Пример расчета отражателя. Для расчета отражателя имеем:

Диаметр скруббера $D = 600$ мм.

Расход влажного газа в час при $20^\circ = 314 \text{ м}^3/\text{час.}$

Диаметр горловины $d = 0,3D = 0,3 \times 600 = 180$ мм.

Высота горловины $b = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \times 180 = 90$ мм.

Так как у нас $d > 12$ см, то $D_0 = 1,2d = 1,2 \times 180 = 216$ мм.

Радиус сферической части крышки $R = 1,93D_0 = 1,93 \times 216 = 416$ мм.

Расстояние A принимаем = 100 мм.

Определим высоту щели.

$$\text{Площадь щели } F = \pi s \left(\frac{D_0}{2} + \frac{d}{2} \right) = 3,14s \left(\frac{0,216}{2} + \frac{0,180}{2} \right) = 0,615s \text{ м}^2.$$

Скорость газа в щели отражателя принимаем равной 10 м/сек., тогда

$$v_{cp} = \frac{G}{3600F}; \quad 10 = \frac{314}{360 \times 0,615s}$$

откуда

$$s = \frac{314}{3600 \times 0,615 \times 10} = 0,0142 \text{ м} \cong 14 \text{ мм}$$

Ширина щели = 14 мм.

Пример расчета скоростей протекания газа в патрубках скруббера на 110 л. с. Для расчета имеем:

Объем сухого газа, выходящего из скруббера, при 0° и 760 мм р. с. = $290 \text{ м}^3/\text{час.}$

Объем влажного газа, поступающего в скруббер, при 0° и 760 мм р. с. = $340 \text{ м}^3/\text{час.}$

Температура газа, поступающего в скруббер, $t = 650^\circ$.

Температура газа, выходящего из скруббера, $t = 20^\circ$.

Диаметр входного газового патрубка 125 мм.

Диаметр выходного газового патрубка 75 мм.

Диаметр скруббера 600 мм.

Общая высота скруббера 1250 мм.

Скорость газа в входном газовом патрубке с диаметром в 125 мм.

Объем влажного газа, поступающего в скруббер, при $t_{bx} = 650^\circ$ подсчитываем по формуле

$$v_1 = v_g^b \frac{273 + t_{bx}^o}{273} = 340 \frac{273 + 650}{273} = 1150 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Площадь сечения входного патрубка при диаметре в 125 мм будет равна

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,125^2}{4} = 0,0123 \text{ м}^2.$$

$$\text{Скорость газа в входном патрубке } \frac{1150}{0,0123 \cdot 3600} \approx 26 \text{ м/сек.}$$

Скорость газа в выходном газовом патрубке с диаметром в 75 мм подсчитана следующим образом.

Объем сухого газа выходящего из скруббера при 0° и 760 мм р. с. = $290 \text{ м}^3/\text{час.}$

Температура газа выходящего из скруббера $t = 20^\circ, 0$.

Содержание влаги (пара) в газе при температуре $t = 20^\circ, 0$ находим из таблиц равным 0,019 кг пара.

Всего в час будем иметь пара в газе $= 0,019 \cdot 290 = 6,5 \text{ кг.}$

$$\text{Объем пара при } 20^\circ = \frac{22,4 \cdot 6,5(273 + 20)}{18 \cdot 273} \approx 15 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Объем сухого газа при 20° будет равен

$$\frac{290(273 + 20)}{273} = 305 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Фактический объем влажного газа при $20^\circ = 305 + 15 = 320 \text{ м}^3/\text{час.}$

Площадь сечения патрубка с диаметром в 75 мм

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,075^2}{4} = 0,0044 \text{ м}^2.$$

Следовательно скорость газа в выходном газовом патрубке равна

$$\frac{320,1}{0,0044 \cdot 3600} \approx 27 \text{ м/сек.}$$

Пример определения расхода воды на охлаждение генераторного газа. Количество тепла, выделяемое в скруббере при охлаждении газа, складывается из теплоты сухого газа, теплоты водяного пара и теплоты конденсации.

1) Теплота охлаждения сухого газа определяется и по формуле

$$Q_1 = V_0 C_r (t_2 - t_1) \text{ кал./час}$$

где: $V_0 = 490 \text{ м}^3/\text{час}$ — производительность генератора по сухому газу при 0° и 760 мм р. с.,

$C_r = 0,33$ — средняя теплоемкость газа,

$t_2 = 600^\circ$ — температура газа, поступающего в скруббер,

$t_1 = 20^\circ$ — температура газа, выходящего из скруббера.

Подставляя в формулу принятые значения, получаем

$$Q_1 = 490 \cdot 0,33 (600 - 20) = 94000 \text{ кал./час.}$$

2) Теплота охлаждения водяных паров газа до 100° определяется по формуле

$$Q_2 = V_0 C_p (t_2 - 100) \lambda_s \text{ кал./час}$$

где: $C_p = 0,48 \text{ кал./кг}$ — теплоемкость перегретого пара,

λ_s — влагосодержание газа.

В нашем случае λ_s принимаем равной 0, следовательно и $Q_2 = 0$.

3) Теплота конденсации определяется по формуле:

$$Q_3 = G_1 q + G_1 (100 - t_b) \text{ кал./час}$$

где: $G_1 = V_0 (\lambda_s - \lambda_n)$ кал./час — количество выделившегося конденсата,

$\lambda_n = 0,019 \text{ кг}/\text{м}^3$

— влагосодержание газа, отходящего из скруббера

при $t = 20^\circ$,

— теплота конденсации пара,

— температура воды, уходящей из скруббера.

Подставляя принятые значения, получаем количество выделившегося конденсата

$$G_1 = 490 (0,0 - 0,019) = - 9,3$$

и теплота конденсации

$$Q_3 = - [9,3 \cdot 538 + 9,3 (100 - 25)] = - 5500 \text{ кал./час.}$$

Общее физическое тепло газа и водяного пара, выделяемое в скруббере,

$$Q = Q_1 + Q_2 - Q_3$$

или

$$Q = 94000 - 5500 = 88500 \text{ кал.}$$

4) Потребный расход воды в час для охлаждения газа определяется из уравнения

$$W = \frac{Q}{t_b - t_n}$$

где: $t_b = 25^\circ$ — температура воды, уходящей из скруббера,
 $t_n = 15^\circ$ — температура воды, поступающей в скруббер.

Подставляя принятые значения, получаем

$$W = \frac{88500}{25 - 15} = 8850 \text{ л/час.}$$

5) Расход воды на 1 л. с./час определен из выражения

$$W' = \frac{8850}{240} \approx 35,0 \text{ л/л. с. час.}$$

Пример определения диаметра трубопровода, подводящего воду в скруббер. Диаметр трубы, подводящей воду в скруббер, определяется из следующего уравнения:

$$d = \sqrt{\frac{4W}{\pi v 3600}} \text{ м}$$

где: $W = 8850$ — часовой расход воды в м^3 ,
 $v = 2 \text{ м/сек.}$ — скорость воды в трубе.

Подставляя принятые значения, получаем

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 8850}{3,14 \cdot 2 \cdot 3600}} \approx 0,040 \text{ м}$$

или $d = 40 \text{ мм.}$

§ 38. Смесители газа и воздуха

Перед поступлением в цилиндры двигателя генераторный газ смешивается с определенным количеством воздуха в целях образования рабочей смеси. Смешение газа с необходимым количеством воздуха производится в, так называемых, смесителях. Качество газовой смеси определяется соотношением между количеством воздуха и газа. Наивыгоднейшим составом газовой смеси следует считать тот, при котором количество подводимого воздуха близко к теоретическому. Смесь, содержащая воздуха меньше теоретического, называется богатой смесью. При богатой смеси, часть газа в цилиндре двигателя не сгорает из-за недостатка кислорода, вследствие чего происходит падение мощности двигателя.

Таблица 42

Коэффициент избытка воздуха

Тип двигателя	Коэффициент избытка воздуха
Газогенераторные двигатели	1,05—1,1
Бензиновые двигатели	0,9—1,1
Керосиновые двигатели	1,1—1,9
Газовые двигатели	1,1—1,5
Дизели компрессорные	1,7—2,0
Дизели бескомпрессорные	1,6—2,1
Нефтяные двигатели	2,0—3,0

теля и увеличение удельного расхода газа. Следовательно, работу двигателя на богатой смеси не следует допускать. Работу на богатой смеси можно распознать по черному цвету выхлопных газов.

Смесь, содержащая количество воздуха больше теоретического, называется бедной смесью. Горение бедной смеси протекает настолько медленно, что может закончиться в начале впуска свежей рабочей смеси, которая воспламеняется от соприкосновения с горящими еще выпускными газами и дает обратные вспышки (хлопки) в карбюратор.

При бедной смеси, так же как и при богатой, происходит падение мощности и увеличение удельного расхода газа, что вызывает перегрев двигателя. Во избежание таких последствий надо обеспечить исправное смешивание газа с воздухом.

Коэффициент избытка воздуха. Так как полного сгорания топлива в присутствии теоретически необходимого количества воздуха достичь почти невозможно, то для обеспечения лучшего горения топлива в цилиндры двигателя вводят некоторый избыток воздуха.

Коэффициент, показывающий во сколько раз приходится вводить больше воздуха, называется коэффициентом избытка воздуха и выражается формулой:

$$\alpha = \frac{L_d}{L_o}$$

где: α — коэффициент избытка воздуха,

L_o — теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива или 1 м³ газа,

L_d — действительное количество воздуха, потребное для сжигания 1 кг топлива или 1 м³ газа.

Действительно потребное количество воздуха для сгорания жидкого или газообразного топлива определяется типом двигателя и конструкцией смесителя.

Чем меньше коэффициент избытка воздуха, тем меньше воздуха требует двигатель, тем больше может быть сожжено топлива в двигателе при данных размерах цилиндра и тем, следовательно, больше удельная мощность двигателя. Таким образом, коэффициент избытка воздуха характеризует степень совершенства перемешивания топлива и воздуха в цилиндре.

В табл. 42 приведены значения коэффициента избытка воздуха для разных типов двигателя.

Действительное вводимое количество воздуха определяется для жидкого топлива по следующей формуле

$$L = \alpha L_o = \frac{2,67C + 8H + S - O_2}{23,2 \cdot 1,293} \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{\text{1 кг топлива}}$$

а для газообразного топлива по формуле

$$L = \alpha L_o = \alpha \frac{1}{0,21} [0,5(CO + H_2) + 2CH_4 + 3C_2H_6 - O_2] \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{\text{1 м}^3 \text{ газа}} \quad (65)$$

Определение коэффициента избытка воздуха. Объем азота, поступающего в двигатель с воздухом при сгорании 1 кг жидкого топлива или 1 м³ газа, определяется из выражения:

$$N_2 = 0,79 \alpha L_o \text{ м}^3 \quad (66)$$

где: 0,79 — отношение объема азота к объему воздуха,

L_o — объем воздуха, теоретически необходимого для сгорания 1 кг жидкого топлива или 1 м³ газа,

α — коэффициент избытка воздуха.

Объем кислорода, поступающего в двигатель, равен $0,21 \alpha L_o \text{ м}^3$.

Из полного количества кислорода, введенного в двигатель для нужд горения, необходимо будет только $0,21 L_o \text{ м}^3$; поэтому объем свободного кислорода в продуктах сгорания равен

$$O_2 = 0,21 \alpha L_o - 0,21 L_o = 0,21 L_o (\alpha - 1) \text{ м}^3$$

Разделив почленно равенство первое на второе, найдем

$$\frac{N_2}{O_2} = \frac{0,79}{0,21} \cdot \frac{\alpha}{\alpha - 1}$$

откуда

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,76 \frac{O_2}{N_2}} \quad (67)$$

Зная состав продуктов сгорания, т. е. CO₂ и N₂, можно определить α .

В случае неполного сгорания для определения коэффициента пользуются формулой

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,76 \frac{O_2 - \frac{CO}{2}}{N_2}} \quad (68)$$

Теплотворная способность рабочих смесей. Так как в двигатель засасывается не одно только топливо, но и воздух, обеспечивающий полное горение топлива, то практически количество тепла, выделяющегося за один рабочий цикл, оказы-

вает влияние не теплотворная способность самого топлива, а теплотворная способность его, отнесенная к единице объема рабочей смеси.

Если на 1 м^3 газа для его сгорания необходимо затратить $L_0 \text{ м}^3$ воздуха, то теплотворная способность смеси будет:

$$Q_{\text{см}}^r = \frac{Q_r}{1 + \alpha L_0} \quad \dots \dots \dots \quad (69)$$

где: Q_r — теплотворная способность газа,
 α — коэффициент избытка воздуха,

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

$Q_{\text{см}}^r$ — теплотворная способность газовой смеси.

Для жидкого топлива теплотворная способность рабочей смеси выражается через

$$Q_{\text{см}}^j = \frac{Q_j}{\alpha L_0}$$

где: Q_j — теплотворная способность жидкого топлива,
 α — коэффициент избытка воздуха.

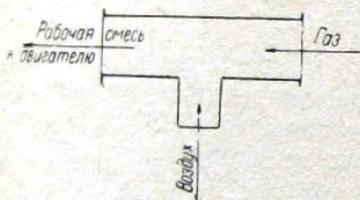


Рис. 36. Принципиальная схема смесителя.

заслонка, служащая для регулировки количества засасываемой в цилиндр смеси, а для регулировки качества засасываемой в цилиндр смеси устанавливается дроссельная заслонка.

Принципиальная схема смесителя изображена на рис. 36. К смесителю предъявляются следующие основные требования:
1) хорошее перемешивание генераторного газа с воздухом,
2) незначительная потеря давления (разрежение),
3) незначительная чувствительность к колебаниям нагрузки двигателя и
4) простая и надежная регулировка качества и количества смеси.

Все современные конструкции смесителей по способу образования рабочей смеси можно разбить на следующие три основных типа:

смесители с параллельными потоками газа и воздуха,
смесители с пересекающимися потоками газа и воздуха,
вихревые (турбулентные) смесители.

Смесители с параллельным потоком газа и воздуха. Смесители с параллельными потоками газа и воздуха изготавливаются эжекционными и струйными смесителями. На рис. 37 показан эжекционный тип смесителя.

Характерной особенностью этого типа смесителя является центральный подвод газа во внутрь смесительной камеры по-

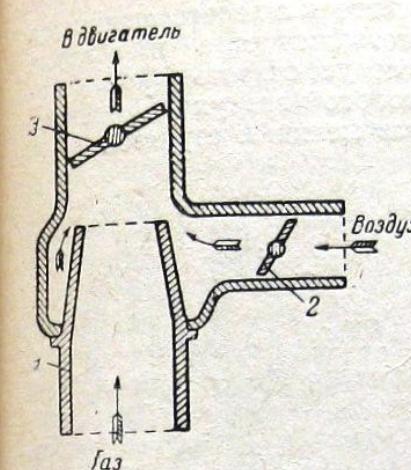


Рис. 37. Схема эжекционного смесителя.

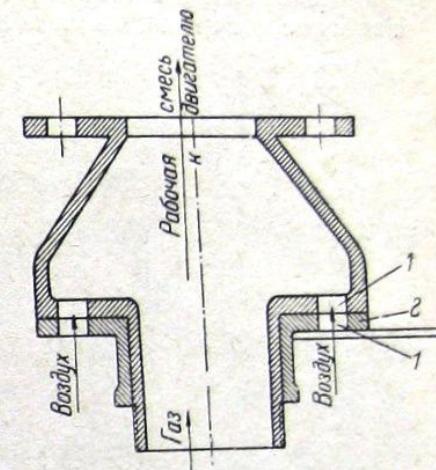


Рис. 38. Схема струйного смесителя.

средством сопла 1, а воздуха через кольцевую щель, образуемую внешней стенкой сопла и внутренней стенкой смесительной камеры. Воздух, поступающий в смеситель, регулируется воздушной заслонкой 2, а количество рабочей смеси, поступающей в двигатель, регулируется газовым дросселем 3.

В настоящее время данный тип смесителя устанавливается на газогенераторных двигателях ЧТЗ, ХТЗ, СТЗ и ГАЗ.

Схематический чертеж струйного смесителя с параллельным потоком газа и воздуха показан на рис. 38. В струйных смесителях воздух подводится не сплошной струей, а мелкими струйками, что обеспечивает хорошее перемешивание газа и воздуха. Воздух в смеситель всасывается через восемь отверстий 1, регулируемых кольцом 2 с отверстиями 1.

Смесители с пересекающимися потоками газа и воздуха. Смесители с пересекающимися потоками газа и воздуха изготавливаются двуструйные и многоструйные.

Схема двуструйного смесителя представлена на рис. 39.

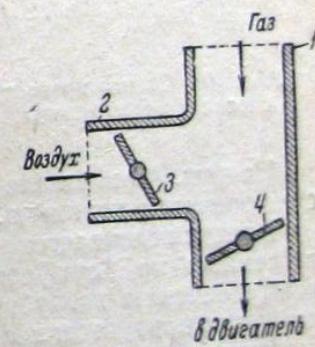


Рис. 39. Схема двуструйного смесителя.

Через патрубок 1 всасывается генераторный газ, а через патрубок 2, наклоненный под углом в 90° , подводится атмосферный воздух. Количество воздуха, поступающего в смеситель, регулируется воздушной заслонкой 3, а количество рабочей смеси, поступающей в цилиндр двигателя, регулируется газовым дросселем 4. Этот тип смесителя не обеспечивает надлежащего перемешивания газа с воздухом.

Наиболее совершенным типом смесителя с пересекающимися потоками газа и воздуха следует считать такой, у которого воздух пересекает газ мелкими струями.

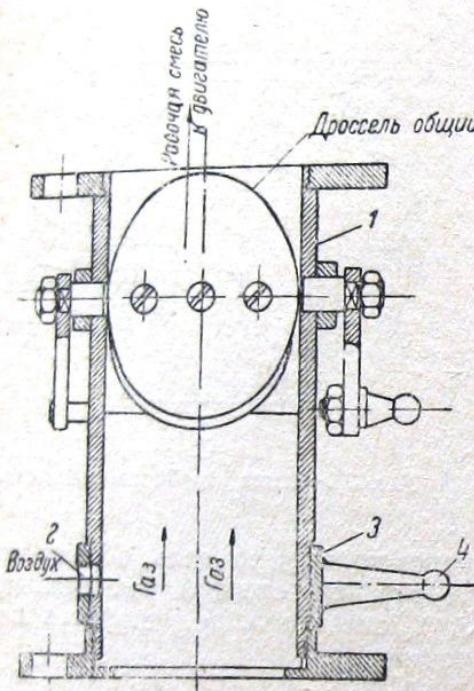


Рис. 40. Схема многоструйного смесителя с пересекающимися потоками.

На рис. 40 показана схема многоструйного смесителя с пересекающимися потоками.

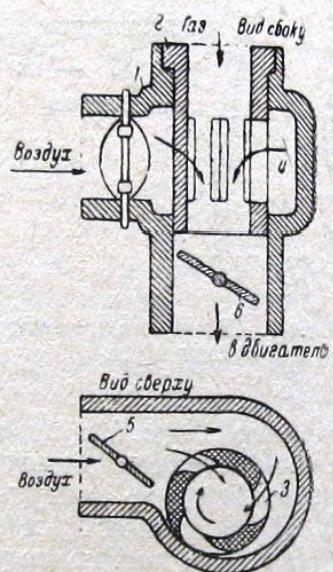


Рис. 41. Схема вихревого смесителя.

На рис. 40 показана схема многоструйного смесителя с пересекающимися потоками.

Воздух всасывается через ряд отверстий или прорезей, расположенных по периферии стенки корпуса 1, а газ поступает по всему сечению патрубка. Количество подводимого воздуха регулируется поворотом кольца 3, имеющего отверстия 2, при помощи рычажка 4.

Вихревые смесители. В вихревых или турбулентных смесителях перемешивание газа с воздухом происходит вследствие вращательного движения газа или воздуха, что обеспечивает хорошее перемешивание.

На рис. 41 показана примерная схема вихревого смесителя. Смеситель выполнен в виде тройника 1, во внутрь которого вставлен цилиндр 2, с косыми прорезами 3. Воздух всасывается

через патрубок 1, в улиткообразную камеру 4 и через косые прорези 3 вступает во внутрь цилиндра 2, по которому протекает генераторный газ. Вступающий внутрь цилиндра воздух будет приводить во вращательное движение газ и энергично с ним перемешиваться. Количество воздуха, всасываемого в смеситель, регулируется воздушной заслонкой 5, а количество газовой смеси, поступающей в цилиндр двигателя, регулируется воздушной заслонкой 6.

В качестве примера осуществленных конструкций ниже описываются смесители отечественного производства.

Стандартный смеситель для двигателей ХТЗ и СТЗ. Смеситель работает по принципу эжекционного смешения. Из рис. 42 видно, что смеситель состоит из чугунной камеры смешения 1, соединяемой фланцем 2 с всасывающим коллектором двигателя и газового чугунного коленчатого патрубка 3, вставленного в камеру смешения и соединенного с камерой при помощи круглого фланца 4. Колено газового патрубка 3 соединяется с газопроводом установки при помощи резинового шланга.

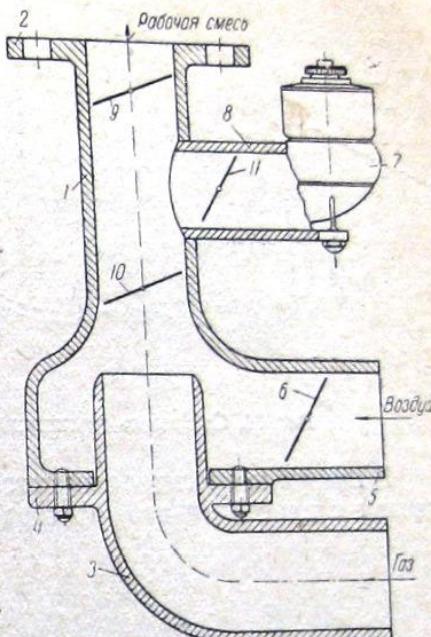


Рис. 42. Стандартный смеситель для двигателей СТЗ и ХТЗ.

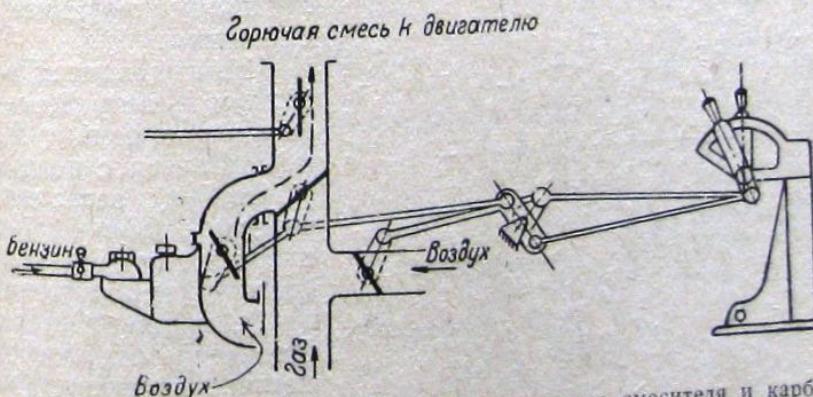


Рис. 43. Схема расположения рычагов управления смесителя и карбюратора.

Камера смешения имеет патрубок 5, подводящий воздух по катетной к образующей камере, в котором установлена заслонка 6 для регулирования воздуха при образовании рабочей смеси.

Для пуска двигателя имеется карбюратор 7, который соединен со смесителем через патрубок 8.

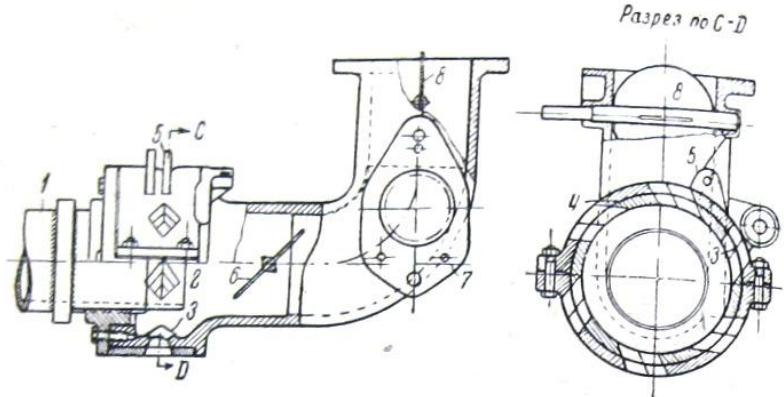


Рис. 44. Смеситель московской судостроительной верфи.

В патрубке смесителя имеются два дросселя 9 и 10; дроссель 10 связан с дросселем карбюратора 11. Схема расположения рычагов дросселей и воздушных заслонок показана на рис. 43.

Смеситель московской судостроительной верфи. Смеситель московской судостроительной верфи показан на рис. 44 и 45.

Смеситель работает по принципу эжекционного смешения.

Газ подводится по патрубку 1, вступает в смесительную камеру 2, где смешивается с воздухом.

Воздух засасывается через подвижное кольцо 4 с аналогичными прорезями 3, расположенными по периферии корпуса смесителя, окружающего смесительную камеру 2, и входит в камеру, приводя во вращательное движение поток газа. Количество засасываемого воздуха регулируется кольцом 4 при поворачивании кольца 4 его прорези

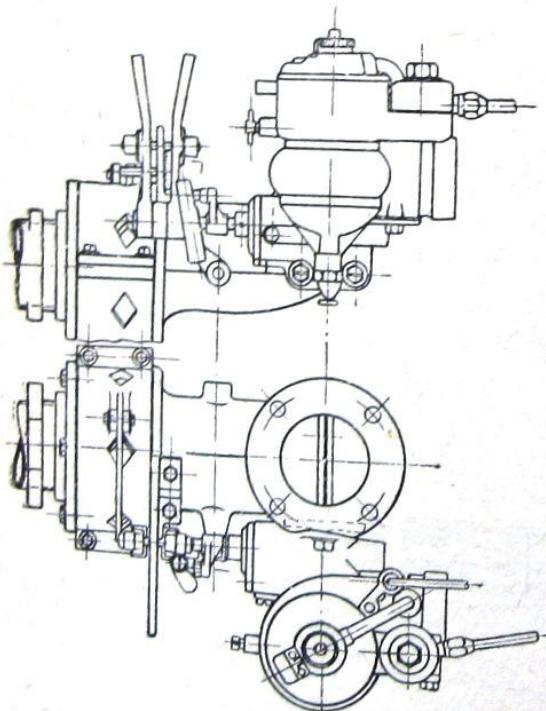


Рис. 45. Смеситель московской судостроительной верфи.

будут в большей или меньшей степени прикрывать прорези в патрубке 2 и тем самым обогащать или обеднять рабочую смесь. Количество газовой смеси, поступающей в цилиндры двигателя, регулируется дроссельной заслонкой 6.

Для пуска двигателя в ход имеется карбюратор, который соединен со смесителем при помощи патрубка 7. Запуск двигателя в ход производится при закрытом газовом дросселе 6 и открытом бензиновом дросселе.

Стандартный смеситель для двигателя ЧТЗ. В настоящее время Челябинским тракторным заводом выпускается смеситель, показанный на рис. 46.

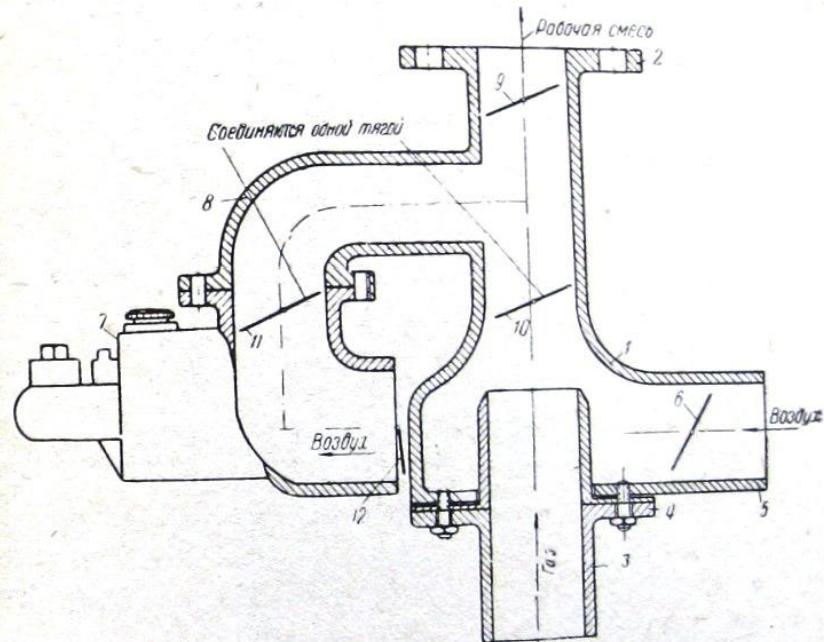


Рис. 46. Стандартный смеситель для двигателя ЧТЗ.

Смеситель работает по принципу эжекционного смешения и состоит из чугунной камеры смешения 1, присоединяемой фланцем 2 к всасывающему коллектору двигателя и газового чугунного патрубка 3, вставленного в камеру смешения и соединенного с камерой при помощи круглого фланца 4.

Камера смешения 1 имеет патрубок 5, в котором установлена заслонка 6 для регулирования количества воздуха.

Для пуска двигателя имеется карбюратор 7, который соединен со смесителем через патрубок 8. В патрубке смесителя предусмотрены два дросселя 9 и 10, из которых дроссель 10 связан с бензиновым дросселем карбюратора 11. Дроссельные заслонки 10 и 11, связанные общим рычажком, служат для переключения

двигателя с жидкого топлива на генераторный газ или для питания двигателя одновременно бензиновой и газовой смесями.

Запуск двигателя в ход производится при закрытом газовом дросселе 10 и открытом бензиновом дросселе 11. Воздух проходит через открытую заслонку 12, где насыщается бензином, поступающим из карбюратора 7, и засасывается в коллектор двигателя через открытые дроссели 11 и 9. При питании двигателя газовой смесью дроссель 10 открывается, а связанный с ним бензиновый дроссель 11 закрывается, вследствие чего действие карбюратора прекращается. При переводе двигателя с бензина на газ воздушная заслонка должна быть частично открыта.

При частичном открытии газовых дросселей 10 и 11 двигатель будет питаться и газовой и бензиновой смесями.

Глава V

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СУДОВЫЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

§ 39. Судовая газогенераторная установка ЦНИИВТ-3 для газоходов мощностью в 60 л. с.

Схема действия газогенераторной установки. Воздух в генератор поступает по двум трубам (рис. 47), далее входит в про-

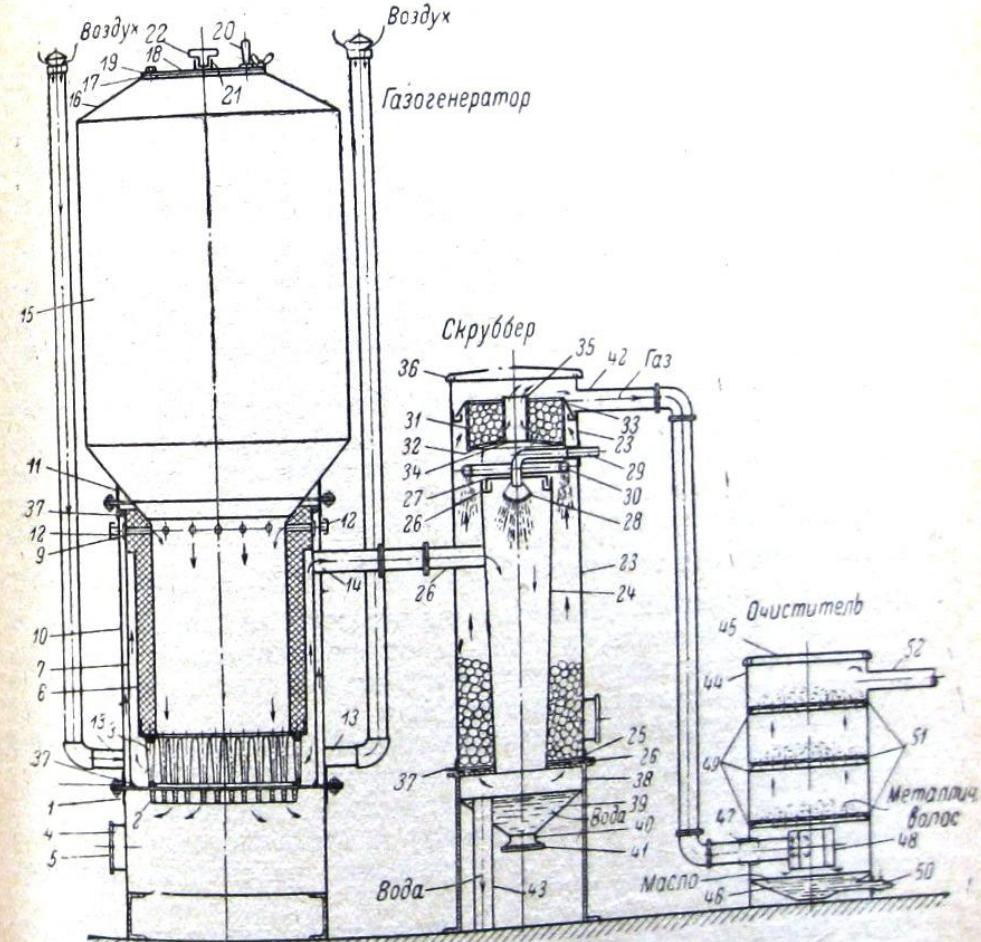


Рис. 47. Схема газогенераторной установки ЦНИИВТ-3.

странство между наружным 10 и средним 7 кожухом, где частично подогревается и вступает через двенадцать фурм 9 в шахту генератора.

От уровня фурм и до колосниковой решетки происходит образование генераторного газа.

Полученный генераторный газ проходит через живое сечение вертикальной и горизонтальной колосниковой решетки, откуда поступает в пространство между внутренним 6 и средним кожухом шахты 7, поднимается вверх.

В целях наиболее равномерного отбора газ входит в два патрубка 14 (на рис. показан лишь один патрубок) и далее подводится через патрубок 25 к внутреннему цилиндру скруббера 24.

Поступив во внутренний конус 24, генераторный газ, в целях его первичного охлаждения и очистки (при входе в скруббер генераторный газ имеет температуру 400—600°), смачивается водой из разбрзгивателя 28 и перемешавшись поступает вместе с ней в нижнюю часть скруббера. Из нижней части скруббера газ поступает в пространство между конусом 24 и внешним цилиндром скруббера 23.

Поднимаясь вверх, он встречает на своем пути кокс (размером 30×30 мм), смачиваемый водой из кольца разбрзгивателя 30. Таким образом, окончательное охлаждение газа происходит от противотока воды и газа и температура газа снижается до 20—30°. Для очистки связанной с ним влаги газ проходит через кокс размером 30×30 мм, помещенный в дырчатом цилиндре 31, далее проходит в дырчатый патрубок 35 и выходит из скруббера через патрубок 42.

Из скруббера газ поступает в сухой очиститель по концентрическому патрубку 48 и, выходя из него, ударяется о поверхность масла, на которой осаждаются твердые примеси (угольная мелочь и зола, не выделившиеся из скруббера), и далее поднимается вверх, встречая на своем пути смоченный маслом металлический волос (проволока толщиной 1— $1\frac{1}{2}$ мм), расположенный на трех дырчатых дисках 49. Далее газ из очистителя по патрубку 52 поступает в смеситель, в котором он смешивается с необходимым количеством воздуха, и уже в виде рабочей газовой смеси поступает оттуда в цилиндр двигателя.

Описание устройства газогенераторной установки ЦНИИВТ-3

1. Газогенераторная установка конструкции ЦНИИВТа состоит из газогенератора, скруббера, очистителя и смесителя. Устройство газогенератора. Газогенератор работает по обращенному процессу на древесине различной породы и состоит из следующих частей.

Зольник. Нижняя часть газогенератора имеет цилиндрическую форму и изготовлена из листового железа толщиной в 2 мм, днище зольника также изготовлено из листового железа в 2 мм. В верхней части зольника приварен фланец 1 с отверстиями для сболчивания его с фланцем кожуха шахты.

Горизонтальная 2 и вертикальная 3 колосниковые решетки изготовлены из чугуна с живым сечением, равным 50%.

Горизонтальная колосниковая решетка 2 крепится на шарнирах и двух стопорных болтах, при отдаче которых она может быть спущена на дно генератора в целях очистки газогенератора от топлива.

Зольник служит для сбора золы и угольной мелочи, которая по истечении 24—36 часов работы двигателя выгребается через зольниковой люк 4, герметически закрываемый крышкой 5. К фланцу зольника 1 приболачиваются четыре опоры, посредством которых газогенератор может быть укреплен на месте монтажа.

Топливник имеет цилиндрическую форму и выполнен из стандартного жароупорного кирпича (шамотовый кирпич).

Кирпичем обкладывается внутренний кожух 6, основанием для которого служит вертикальная решетка 3.

Кожух шахты. Внутренний кожух 6 приваривается к среднему кожуху 7, который в свою очередь приварен к кольцу. К среднему кожуху 7 приварены фурмы 9 в количестве двадцати штук, через которые воздух поступает в топливник генератора. К наружному кожуху шахты 10 привариваются фланцы 11 в целях укрепления всей шахты (вместе с кожухом) с зольником и бункером.

На поверхности наружного кожуха шахты 10 имеется двадцать лючков 12 для наблюдения за состоянием воздушных фурм 9. Кроме указанных лючков, на поверхности наружного кожуха приварены еще два воздушных патрубка 13 диаметром в 50 мм и два газоотборных патрубка 14.

Бункер 15 имеет цилиндрическую форму и изготовлен из листового железа толщиной в 2 мм.

В верхней части бункера имеется конус 16, к которому приваривается обработанное кольцо 17. К кольцу 17 под шабровку пригоняется крышка загрузочного люка 18, которая открывается путем поворота на оси 19 рукоятки 20. В центре топливного люка имеется люк 21, закрываемый пробкой 22, служащий для поддержания процесса во время остановки двигателя.

Устройство скруббера. Скруббер состоит из двух кожухов: внешнего 23 и внутреннего 24, имеющего конусную форму.

Внешний конус 23 изготовлен из листового железа толщиной в 1,5 мм и имеет цилиндрическую форму. К внешней части кожуха 23 и внутреннему конусу 24 приварен газоподводящий патрубок.

Внутренний конус скруббера 24 изготовлен из листового железа толщиной в 1,5 мм, к нижней части которого приварено кольцо, предусмотренное для установки кожуха на решетку.

К верхней части конуса 24 приварено кольцо 26, в которое накладывается шнуровой асбест для создания герметичности между крышкой 27 и верхней частью конуса 24.

Создание герметичности в данном месте необходимо в целях избежания подсоса неохлажденного и неочищенного газа.

Первичное охлаждение генераторного газа, поступающего в конус 24 через патрубок, осуществляется водой, выходящей из разбрзгивателя 28.

Вода подводится к разбрзгивателю по патрубку 29, проходящему через середину крышки 27. Несколько выше разбрзгивателя 28 имеется оросительное кольцо 30, служащее для окончательного охлаждения генераторного газа, поступающего из нижней части скруббера в верхнюю через пространство между внешним кожухом 23 и конусом 24.

В верхней части скруббера имеется дырчатый цилиндр 31 с вогнутым во внутрь дырчатым днищем 32. К верхней части дырчатого цилиндра с внешней стороны приварен конус 33. Конус 33 выполняет две функции: 1) он является опорным конусом, т. е. посредством него поддерживается дырчатый цилиндр 31, наполненный коксом (кокс служит для отделения частиц воды, уносимых вместе с газом), и 2) он обеспечивает герметичность, опираясь на кольцо, приваренное к кожуху 23, в котором проложен шнуровой асбест.

К дну дырчатого цилиндра 31 приварено кольцо 34, в которое вставляется дырчатый патрубок 35.

Отверстия в дырчатом цилиндре 31, а также в патрубке 35 предназначены для прохода газа.

Для создания герметичности между кромкой кожуха 23 и крышкой 36 в паз последней накладывается шнуровой асбест.

Крепление крышки производится посредством четырех шарнирных болтов.

Для крепления верхней части скруббера с нижней, а также для крепления решетки (решетка служит для поддержания на коксе) имеются фланцы 25, из которых один приварен к кожуху 23, а другой к нижнему корпусу 38.

В нижней части корпуса 38 приварен конус 39, заканчивающийся в нижней части патрубком 40, который глушится заглушкой 41. Патрубок 40 служит для очистки нижней части скруббера от осевшей золы и угольной мелочи.

Для отвода газа из скруббера служит патрубок 42, а для отвода воды патрубок 43.

Устройство очистителя. Очиститель состоит из кожуха 44, крышки 45, конусообразного днища 46, водного патрубка 47, центробежного патрубка 48 и сетчатых дисков 49.

Кожух очистителя 44 имеет цилиндрическую форму и изготовлен из листового железа толщиной в 1,5 мм. В нижней части кожуха очистителя приварено конусообразное дно 46, имеющее спускной краник 50, до уровня которого налито отработавшее масло.

В нижней части кожуха с внешней стороны приварен водный патрубок 47, к концу которого приварен центробежный патрубок 48, состоящий из двух цилиндрических труб разных диаметров, вставленных одна в другую и приваренных в верхней части к общей крышке.

В верхней части кожуха очистителя, в целях создания наилучшей герметичности между крышкой очистителя 45, с одной стороны, и концом кожуха с другой стороны, приварено кольцо толщиной в 4 мм.

Герметичность очистителя обеспечивается асбестовой прокладкой, заложенной в углубление крышки. Крышка очистителя крепится посредством четырех запорных болтов с барашками.

Внутри кожуха очистителя по его высоте на равных расстояниях приварено три фланца 51, на которые укладываются три дырчатых диска толщиной в 2 мм. На дырчатые диски помещается металлический волос диаметром в $1 - 1\frac{1}{2}$ мм или стружки, смоченные отработавшим маслом.

Конструктивные и расчетные данные газогенераторной установки даны в табл. 43 и 44.

Таблица 43

Основные размеры газогенераторной установки ЦНИИВТ-3 для двигателя ЧТЗ

№ по пор.	Наименование	Величина	Примечание
I. Габаритные размеры:			
1	Диаметр газогенератора (по шахте)	640 мм	
2	(по бункеру)	824 "	
3	Высота газогенератора	2500 "	
4	Диаметр скруббера	403 "	
5	Диаметр сухого очистителя	400 "	
6	Высота очистителя	790 "	
Внутренние размеры:			
1	Диаметр топливника	370 "	
2	Внутренний диаметр бункера	820 "	
3	Высота шахты	500 "	
4	Диаметр зольника	640 "	
5	Высота зольника	250 "	
6	Количество фурменных поясов	1 шт.	
7	Количество фурм в поясе	12 "	
8	Диаметр фурм	10 мм	
9	Диаметр выходного газового патрубка	65 "	Двойн. отбор газа
10	Диаметр загрузочного люка	300 "	
11	Размер зольникового люка	190 × 195 мм	0,11 м ²
12	Площадь горизонтальной колосниковой решетки	400 мм	
13	Внутренний диаметр скруббера	75 "	
14	Диаметр входного газового патрубка скруббера	50 "	
15	Диаметр выходного газового патрубка скруббера	20 "	
16	Диаметр входного вод. патрубка скруббера	65 "	
17	Диаметр выходного вод. патрубка скруббера	397 "	
18	Внутренний диаметр сухого очистителя	50 "	
19	Диаметр входного патрубка сухого очистителя	50 "	
20	Диаметр выходного патрубка сухого очистителя	50 "	
21	Диаметр входного патрубка смесителя (перед дросселем)	50 "	
22	Диаметр выходного патрубка смесителя (после дроссела)	60 "	

Таблица 44

Основные расчетные данные газогенераторной установки ЦНИИВТ-3
для двигателя ЧТЗ

№ по пор.	Наименование	Единица измерения	Величина	Примечание
1	Напряжение топливника по фирм. поясу .	кг/м ²	600	
2	Объем бункера	м ³	0,66	
3	Периодичность загрузки топлива	час.	1 ¹ / ₂ —2	
4	Скорость воздуха в фурмах	м/сек.	40	
5	Скорость газа в выходном патрубке генератора	"	19	
6	Скорость газа в входном патрубке скруббера	"	26	
7	Скорость газа в выходном патрубке скруббера	"	15	
8	Скорость газа в входном патрубке сухого очистителя	"	15	
9	Скорость газа в выходном патрубке сухого очистителя	"	15	
10	Скорость газа в патрубке смесителя (перед дросс.)	"	22	
11	Скорость газ. смеси в патрубке смесителя (после дросс.)	"	33	
12	Температура газа в выходном патрубке газогенератора	°Ц	600	
13	Температура газа в входном патрубке скруббера	"	600	
14	Температура газа в выходном патрубке скруббера	"	20	
15	Температура воды, поступающей в скруббер	"	15	
16	Температура воды, отходящей из скруббера	"	40	
17	Расход воды на 1 л. с./час	л	40	
18	Высота коксовой насадки в скруббере	мм	800	
19	Объем коксовой насадки	м ³	0,075	
20	Вес коксовой насадки	кг	30	
21	Общий вес установки	"	500	Без футер. и коксовой насадки.

Результаты стендовых и ходовых испытаний газогенераторной установки конструкции ЦНИИВТ-3. При пробеге газоходов Москва — Горький — Ленинград газогенераторные установки конструкции ЦНИИВТа показали удовлетворительные результаты по устойчивости режима генератора, качеству получаемого газа и устойчивости режима работы двигателя.

Хорошие результаты также получены при испытании генераторной установки на стande в газогенераторной лаборатории ЦНИИВТа.

Средние результаты стендовых испытаний

1. Эффективная мощность двигателя 52—55 л. с.
2. Расход древесины (смеси сосны и ели) на 1 л. с. 1,2 кг
3. Влажность газифицированной древесины 20—25%
4. Размер чурок 50 × 50 × 100 мм
5. Разрежение после газогенератора 110—140 мм в. с.
6. Разрежение после скруббера 240—360 "
7. Разрежение после очистителя 460—600 "
8. Температура газа, выходящего из генератора 600°
9. Температура после скруббера 20°
10. Средний состав газа:
 $\text{CO}_2 = 12,6\%$, $\text{O}_2 = 0,3\%$, $\text{CO} = 19,0\%$
 $\text{H}_2 = 16,0\%$, $\text{CH}_4 = 2,0\%$, $\text{N}_2 = 50,1\%$
11. Теплотворная способность $Q = 1062$ кал/м³
12. Периодичность загрузки топлива в бункер 1,5—2 часа

Результаты ходовых испытаний

1. Количество ходовых часов 280
2. Количество пройденных километров 2700
3. Число оборотов двигателя 500—600
4. Топливо — древесина, размер 50 × 50 × 100 мм
5. Расход топлива на 1 км пути 5,5—6 кг
6. Тяговое усилие на гаке 600—650 "

§ 40. Судовая газогенераторная установка конструкции московской судостроительной верфи МСВ-84 для газоходов мощностью в 60 л. с.

Схема действия газогенераторной установки. Схема газогенераторной установки изображена на рис. 48. Чурки загружаются в газогенератор через загрузочный люк 31 и по мере сгорания в топливнике опускаются вниз. Воздух поступает в газогенератор по двум трубам 21 в полость между кожухом 17 и направляющим конусом 23 и входит в топливник генератора через шестнадцать фурм 15 со скоростью 35 м/сек. Полученный в топливнике газ поступает в пространство между внешней стенкой топливника 10 и кожухом газового пояса 9. Поднимаясь выше, генераторный газ поступает в скруббер по газоотводящему трубопроводу.

Всосанный в скруббер газ по патрубку 40 смачивается водой, поступающей из двенадцати малых диффузоров 49, далее вместе с водой поступает в три больших диффузора 51 и проходит гидравлический затвор 34. Выходя из водяного затвора 34, газ поднимается вверх и при встрече с коническим кольцом завихряется вокруг него и, совершив три поворота между цилинд-

рами 21 и 22, входит по газопроводу в сухой фильтр. Коническое кольцо 36 и цилиндры 21 и 22 служат для отделения капелек воды от газа. Вода, поступившая в очиститель, отводится через патрубок 37.

Поступивший в фильтр газ по патрубку 58 направляется цилиндром 56 в нижнюю часть фильтра, откуда он поступает в верхнюю, через решетку 55, слой кокса 60, слой кенафа 61,

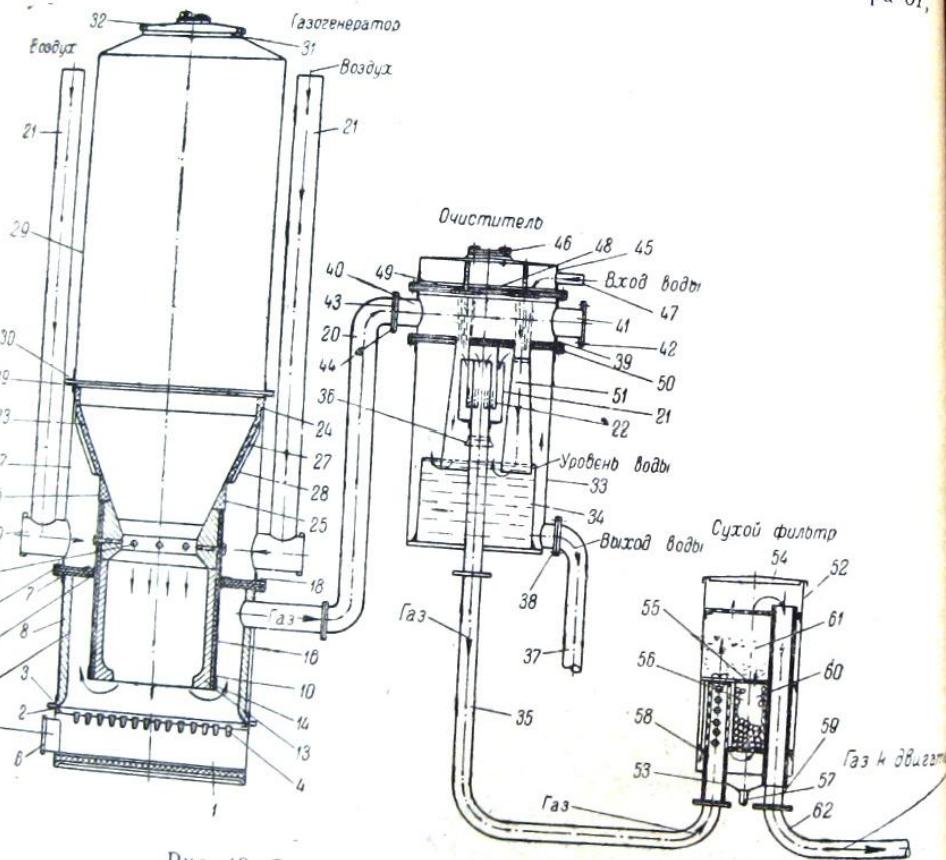


Рис. 48. Схема газогенераторной установки МСВ-84.

а затем по патрубку 59 и газопроводу 62 подводится к смесителю.

В смесителе к газу подводится необходимое количество воздуха, после чего образовавшаяся рабочая смесь поступает в двигатель.

Устройство газогенератора. Газогенератор работает по обращенному процессу на древесине размером $100 \times 50 \times 60$ мм с влажностью $W_p = 20 - 25\%$ и состоит из следующих частей.

Зольник газогенератора 1 и дно его изготавливаются из листового железа толщиной в 3 мм. К верхней части цилиндра зольника приварен фланец 2 из углового железа $45 \times 45 \times 5$ мм с отверстиями для сболчивания его с фланцем газового пояса 3.

В верхней части зольника расположены колосники 4, изготовленные из чугунного литья. Для отбора золы и угольной мелочи из зольника имеется зольниковый люк 5 с герметически закрывающейся крышкой 6.

Газовый пояс (цилиндр) изготавливается из 5-миллиметрового листового железа. В верхней и нижней частях газового пояса приварены фланцы 3 и 7, изготовленные из углового железа $45 \times 45 \times 5$ мм и служащие для сболчивания с воздушным поясом и зольником. С внутренней стороны газовый пояс изолирован асбеститом 8 толщиной в 25 мм, который поддерживается листовым железом 9.

Топливник состоит из кожуха 10, изготовленного из листового железа толщиной в 5 мм фланца 11, для крепления топливника с диафрагмой 12, угольника 13, поддерживающего футеровку 14 и фурм 15. Между кожухом топливника 10 и футеровкой 14 прокладывается асбест 16. Диафрагма 12 имеет вид кольца, изготавливается из листового железа, толщиной в 8 мм, служит для отделения газового пространства от воздушного и поддержания топливника.

Воздушный пояс состоит из кожуха 17, изготовленного из 3-миллиметрового листового железа, фланцев 18 и 19, изготовленных из углового железа $45 \times 45 \times 5$ мм, двух 75-миллиметровых треугольников 20 и труб 21 для подвода воздуха с тента к газогенератору и четырнадцати люков, расположенных против фурм 15.

Направляющий конус 23 изготавливается из 3-миллиметрового листового железа. В верхней и нижней части конуса приварены цилиндрические кольца 24 и 25, служащие для уплотнения. Пространство между кольцами 25 и конусом 23 заполняется асбестом 26. С внешней стороны конус покрывается асбестом 27 и листовым железом 28. Направляющий конус 23 служит для направления топлива из бункера в топливник, а также и для отделения воздушного пространства от камеры горения, т. е. для того, чтобы воздух мог поступать в топливник только лишь через фурмы 15.

Бункер 29 изготавливается из листового железа толщиной в 3 мм. В нижней части бункера приваривается фланец 30, изготовленный из углового железа $45 \times 45 \times 5$ мм, а в верхней части имеется загрузочный люк 31, закрывающийся крышкой 32.

Очиститель состоит из трех цилиндрических камер и двух диафрагм с диффузорами.

Нижняя камера очистителя состоит из цилиндра 33, гидравлического затвора 34, газоотводящего патрубка 35, конического кольца 36, водоотводящего патрубка 37 и соединительного фланца 38.

Средняя камера очистителя состоит из цилиндрического кожуха 39, газоподводящего патрубка 40, смотрового люка 41 с герметически закрываемой крышкой 42, и двух соединительных фланцев 43 и 44.

Верхняя камера очистителя также имеет цилиндрическую форму и состоит из кожуха 45, смотрового люка 46, водоподводящего патрубка 47 и диафрагмы 48 с двенадцатью мелкими диффузорами 49.

Газовая диафрагма очистителя изготовляется из листового железа толщиной в 8 мм и состоит из диска 50 и трех диффузоров 51.

Таблица 45
Основные конструктивные и расчетные размеры газогенераторной установки

Наименование	Единица измерения	Величина
Общая высота газогенератора	мм	2800
Высота бункера	"	1800
Высота шахты	"	800
Высота зольника	"	200
Высота активной зоны	"	510
Диаметр бункера	"	730
Диаметр зольника	"	730
Внешний диаметр шахты	"	730
Внутренний диаметр шахты (топливника):		
а) на уровне фурм и в нижней части	"	300
б) в средней части	"	400
Число фурм	шт.	16
Диаметр фурм	мм	8
Диаметр труб, подводящих воздух	"	75
Диаметр газоотводящего патрубка	"	100
Диаметр загрузочного люка	"	400
Тепловое напряжение топливника		
а) на уровне фурм	кг/м ³ /час	900
б) в средней части	"	500
Скорость воздуха в фурмах	м/сек.	35
Объем бункера	м ³	0,67
Водоструйный очиститель		
Высота	мм	1155
Диаметр	"	500
Диаметр входного газового патрубка	"	100
Диаметр выходного газового патрубка	"	75
Диаметр водоподводящего патрубка	"	40
Диаметр водоотводящего патрубка	"	75
Диаметр диффузора (газового)	"	55/120
Фильтр		
Высота	"	700
Диаметр	"	345
Диаметр входного газового патрубка	"	50
Диаметр выходного газового патрубка	"	50

Сухой фильтр состоит из цилиндрического кожуха 52, конусообразного днища 53, крышки 54, трех решеток 55, направляющего цилиндра 56, спускного штуцера 57, газоподводящего патрубка 58 и газоотводящего патрубка 59. Кожух фильтра изготовлен из листового железа толщиной в 3 мм. Фильтр служит для окончательной очистки газа от угольной мелочи, золы и мельчайших частиц воды, не выделившихся в очистителе.

В табл. 45 приведены основные конструктивные и расчетные данные газогенераторной установки.

Вывод из испытаний газогенераторной установки. Газогенераторная установка испытывалась на стаде в газогенераторной лаборатории М. С. В., а также проводились ходовые испытания при пробеге газоходов Москва — Горький — Москва. При всех испытаниях установка показала удовлетворительные результаты.

В настоящее время эта установка широко внедряется на водном транспорте и считается одной из лучших установок. С 1937 г. газогенератор переведен на швырок, благодаря добавлению направляющего конуса.

Рассмотренные выше газогенераторы, работающие на чурке могут быть переведены на дрова длиной в 300—500 мм и даже большей длины. Переделка чурочного газогенератора любой конструкции для работы на длинных дровах сводится к устройству цилиндрической формы топливника и бункера с равными диаметрами, или к установке высокого конуса в бункере для направления топлива. Московской судостроительной верфью и Центральным научно-исследовательским институтом водного транспорта проведены опыты по газификации длинных дров (500—700 мм) в чурочных газогенераторах. Переделка чурочных газогенераторов МСВ-84, ЦНИИВТ-3 и ЦНИИВТ-5 для работы на длинных дровах свелась к установке нового направляющего конуса из 3-миллиметрового железа и к замене верхнего керамического конусного кольца цилиндрическим кольцом у газогенератора МСВ-84, а у газогенераторов ЦНИИВТ-3 и ЦНИИВТ-5 к изготовлению новых бункеров, равных внутреннему диаметру их топливников.

§ 41. Судовая газогенераторная установка Лесосудомашстроя ЛС-2 для газоходов мощностью 60 л. с.

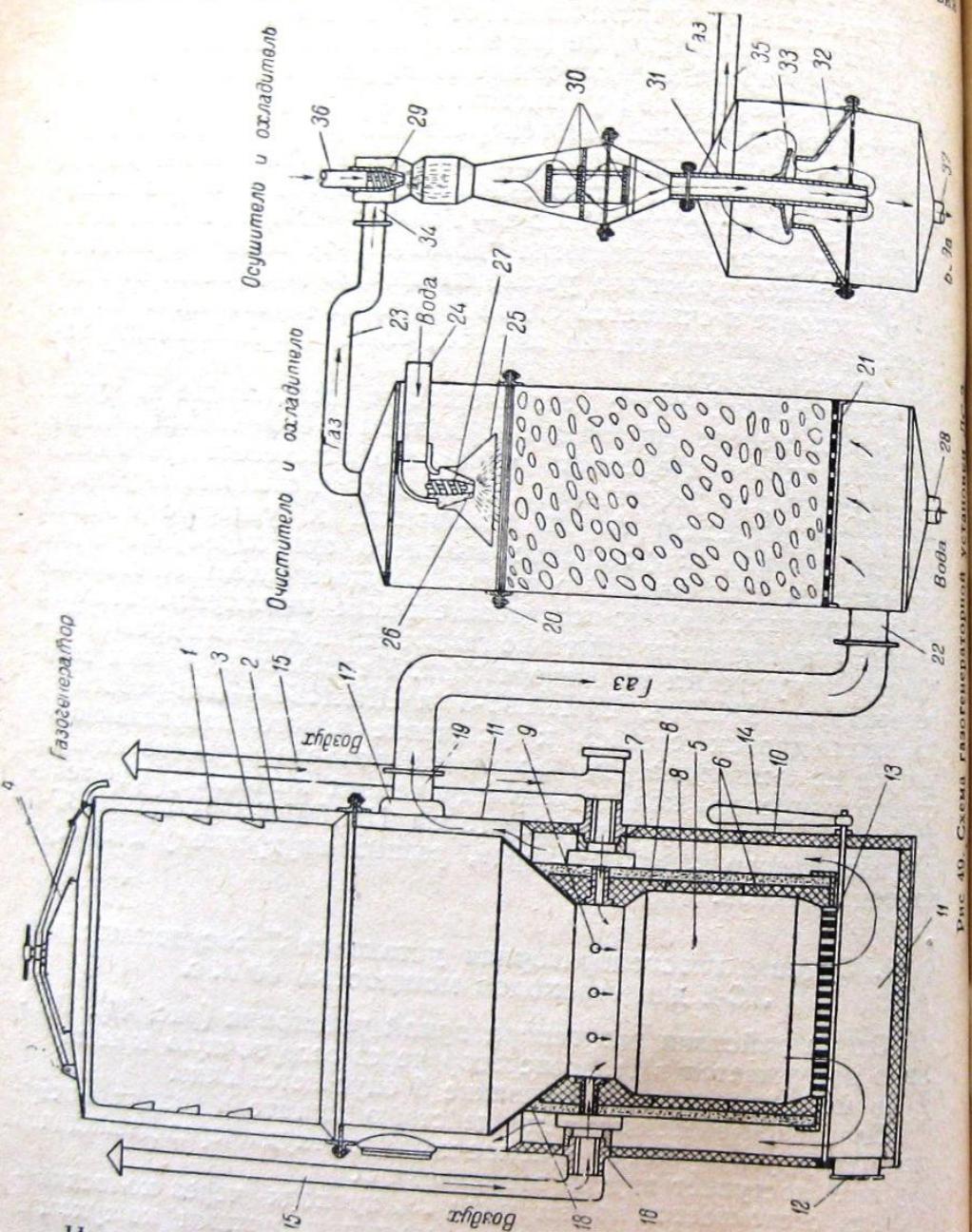
Схема действия газогенераторной установки (рис. 49). Топливо загружается в газогенератор через загрузочную крышку 4 и по мере сгорания в топливнике 5 опускается вниз.

Благодаря засасывающему действию двигателя воздух поступает по двум трубам 15 в полое кольцо, откуда через двенадцать фурм 9 поступает внутрь топливника 5.

Газ отсасывается по патрубку 19, проходя через колосниковою решетку 13 и пространство между наружным кожухом 1 и внутренним 2.

Так как газ проходит через патрубок 19, расположенный в средней части бункера, то чурки подогреваются, а газ частично охлаждается.

Подогрев чурок в бункере способствует улучшению процесса газификации и увеличению коэффициента полезного действия газогенератора.



Из газогенератора по патрубку 22 газ подводится в скруббер, внутри которого находится кокс.

Подведенный в скруббер газ проходит сквозь слой кокса навстречу водяному потоку, выходящему из форсунки 26-27,

и через патрубок 23 отводится из первичного скруббера во вторичный.

Поступивший во вторичный скруббер газ вместе с водой, выходящей из форсунки 29, перемешивается в конусе.

Из конуса газ и вода проходят через три дырчатых диска 30 и далее по патрубку 31 поступают во вторую часть скруббера, называемую осушителем газа.

Поступив в осушитель, газ поднимается вверх, проходя через щель между сферическим отражателем 33 и краями конуса 32.

Скорость газа в этой части достигает 8—10 м/сек., вследствие чего мельчайшие частички воды, ударяясь о сферический отражатель 33, теряют скорость и стекают вниз, а газ через патрубок 35 подводится к смесителю.

Устройство газогенераторной установки Лесосудомашстроя ЛС-2. Газогенераторная установка ЛС-2 состоит из газогенератора, скруббера первого и скруббера вторичного.

Газогенератор работает по обращенному процессу на древесных чурках размером 70—80 × 50 × 50 мм с влажностью не выше 20—25%.

Газогенератор имеет цилиндрическую форму и состоит в основном из верхней части, или бункера с загрузочным люком для топлива, средней части шахты газогенератора и нижней части, или зольниковой камеры.

Бункер имеет двойные стенки 1 и 2, расположенные друг от друга на расстоянии 25 мм. Во внутренней стенке 2 имеется ряд отверстий 3 для отвода водяных паров, смолы и уксусной кислоты, а в верхней части бункера расположен загрузочный люк, закрываемый крышкой 4.

Шахта газогенератора включает в себя топливник 5, изготовленный из керамических колец 6, внешний кожух 7, внутренний 8 и двенадцать фурм 9. С внутренней стороны кожуха 7 и 8 изолированы слоем азбеста 10 толщиной в 12 мм. Диаметр топливника на уровне фурм равен 350 мм, а в средней части равен 400 мм. Высота активной зоны, т. е. расстояние от фурм до колосниковой решетки, равна 470 мм.

Зольниковая камера 11 имеет объем 70 л. Зола накапливается в зольнике, выгребается через лючек 12 по истечении 12—15 часов беспрерывной работы двигателя. Колосниковая решетка 13 имеет встряхивающее приспособление, приводимое в движение ручкой 14. Для уменьшения сопротивления встряхивание колосниковой решетки производится периодически через 2—3 часа. Сечение отдельного колосника равно 25 × 6 мм, а расстояние между колосниками равно 16 мм. С внутренней стороны зольниковая камера обмуровывается оgneупорной глиной и шамотом толщиной 20—30 мм. Стенка зольниковой камеры, а также зольниковая камера из листового железа толщиной от 1,5 до 3 мм.

Кроме перечисленных труб 15 в количестве 2 шт., футерки 16 воздухоподводящие

в количестве 2 шт., полое кольцо 17, направляющий конус 18 и газоотборный патрубок 19.

Скруббер первичный. Первичный скруббер представляет собой цилиндр изготовленный из 2-миллиметрового листового железа. Для удобства монтажа он изготовлен из двух частей, соединенных между собой фланцами 20.

На решетке 21 насыпан кокс размером около 40×50 мм.

Газ подводится в скруббер через патрубок 22, а отводится из него через патрубок 23. Вода подводится в скруббер через патрубок 24, входит в форсунку, и, выходя из нее под давлением 2—2,5 атмосфер со скоростью 8—10 м/сек., ударяется в дырчатый усеченный конус 25, вследствие чего получаются мелкие струи воды, которые орошают поверхность кокса.

Форсунка состоит из двух частей: конуса 26 и двухходового червяка 27. Вода из скруббера отводится через патрубок 28.

Скруббер вторичный. Вторичный скруббер служит для окончательной очистки газа от угольной мелочи и золы. Из рис. 49 видно, что вторичный скруббер имеет вверху форму конуса, а внизу форму цилиндра. В верхней части имеется такая же форсунка 29, как и в первом скруббере. Ниже расположены три сетчатых диска 30, за которыми еще нижеложен патрубок 31, конус 32 и отражатель 33.

Газ подводится в скруббер через патрубок 34 и отводится из него через патрубок 35, а вода подводится через патрубок 36 и отводится через патрубок 37.

Основные размеры газогенераторной установки

Газогенератор

Общая высота	2 560 мм
Внешний диаметр	750
Диаметр топливника	360/400 мм
Количество фирм	12 шт.
Диаметр фирм	10 мм
Скорость воздуха в фур-	
max	30 м/сек.
Высота активной зоны	470 мм
Высота зольника	190

Скруббер первичный

Общая высота	1 100 мм
Диаметр	480
Общая высота	1 200 мм
Диаметр	400

Скруббер вторичный

Общая высота	1 200 мм
Диаметр	400
Температура выходящего	
газа	10—15°

Расположение газогенераторной установки на катере. Катер КГЧ-15 представляет собой судно цельной металлической конструкции, за исключением верхнего строения, которое делается из дерева (рис. 50).

В передней части катера помещается каюта для обслуживающего персонала на четыре спальных места. В средней части судна расположена будка рулевого и в задней части находится машинное отделение.

В корме судна находится варповальная лебедка. Топливо для газогенератора находится в бункере емкостью в 5 м^3 , расположенным между машинным отделением и будкой рулевого.

Основные размеры катера следующие: длина 15,3 м, ширина 3,1 м, осадка 0,7 м.

Двигатель и газогенераторная установка смонтированы в машинном отделении у передней перегородки. Газогенератор установлен в центре продольной оси катера. По обе стороны от него расположены скруббера и помпа для подачи воды в скруббера и двигатель. Для удобства обслуживания газогенератор устанавливаются на специальную плиту высотой в 140 мм. Скруббера устанавливаются на высоте в 400—600 мм от ватерлинии.

Газо- и водопроводы располагаются под настилом пола или на передней переборке с таким расчетом, чтобы места соединения были доступны для монтажа и демонтажа.

Монтаж и демонтаж газогенераторной установки производятся через крышу машинного отделения, три отдельных части которой легко снимаются одним человеком.

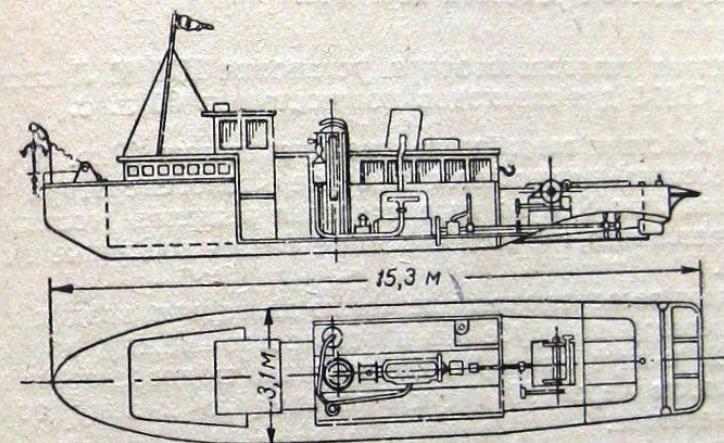


Рис. 50. Схема газохода треста Лесосудомашстрой КГЧ-2.

Для уменьшения температуры машинного отделения вокруг газогенератора устанавливается кожух, свободно проходящий через отверстие в крыше.

Воздух, нагретый газогенератором, отводится по кольцевому зазору между генератором и кожухом в верхней части через два небольших отверстия. Выхлопная труба двигателя и коллектор изолируются слоем азбеста, или охлаждаются водой, пропускаемой через рубашку.

Вентиляция машинного отделения производится посредством эжектора, рабочим телом которого служат выхлопные газы двигателя.

Потребный расход воды. Потребный расход воды на газоходе с газогенераторной установкой ЛС-2 складывается из расходов на охлаждение двигателя, выхлопного коллектора и масла в катере в количестве 25—30 л/мин.

Кроме того, на охлаждение генераторного газа в первичном скруббере расходуется 45—50 л/мин. и во вторичном скруббере 20—25 л/мин., а всего воды расходуется 90—105 л/мин.

Вода подается в соответствующие места посредством центробежной помпы, изготавляемой на заводе в г. Мелитополе.

Краткая характеристика помпы:

Число колес	3
Число оборотов	1450 об/мин.
Напор	20—25 м
Производительность	10 м ³ /час.
Затрачиваемая мощность	1,6 квт
Стоимость помпы	550 р.
Диаметр ведущего шкива	165 мм
Диаметр ведомого шкива	140 "

Помпа приводится в движение от вентиляторного валика двигателя посредством ременной передачи.

§ 42. Судовая газогенераторная установка ЦНИИ Лесосплава СВК-9 для газоходов мощностью в 60 л. с.

Схема действия газогенераторной установки (Рис. 51). Топливо (древесина) загружается в бункер газогенератора через загрузочный люк 9, и по мере сгорания в шахте (топливнике) оно опускается вниз, где частично подвергается подсушке и сухой перегонке.

Благодаря засасывающему действию двигателя, воздух поступает в генератор по трубе 8 в пространство между наружным кожухом 21 и внутренним 22, где частично подогревается и поступает потом через 96 фирм 6 равномерно в зону горения шахты генератора.

Генераторный газ, образовавшийся в топливнике, проходит через колосниковую решетку 3, дырчатую стенку зольника 23 и через газоотводящий газопровод 24 подводится к скрубберу. Поступив в скруббер, генераторный газ для охлаждения и первичной очистки смачивается водой из четырех форсунок 13 и перемешивается с ней, опускается вниз, проходя через двадцать дырчатых дисков 17, конус 25 и далее, через патрубок 20, поступает в очиститель.

В очистителе генераторный газ вторично подвергается промывке водой и осушке. Выходящий из очистителя газ по патрубку 26 поступает к смесителю, где смешиваясь с надлежащим количеством атмосферного воздуха, поступает в цилиндры двигателя.

Устройство газогенераторной установки ЦНИИ Лесосплава СВК-9 (рис. 51).

Газогенератор работает по обращенному процессу на древесном топливе — швырке длиной в 330 мм и поперечным сечением 25—35 см², с влажностью не свыше 20—25% и состоит из верхней части бункера с загрузочным люком для топлива, средней части, шахты газогенератора, и нижней части, зольниковой камеры.

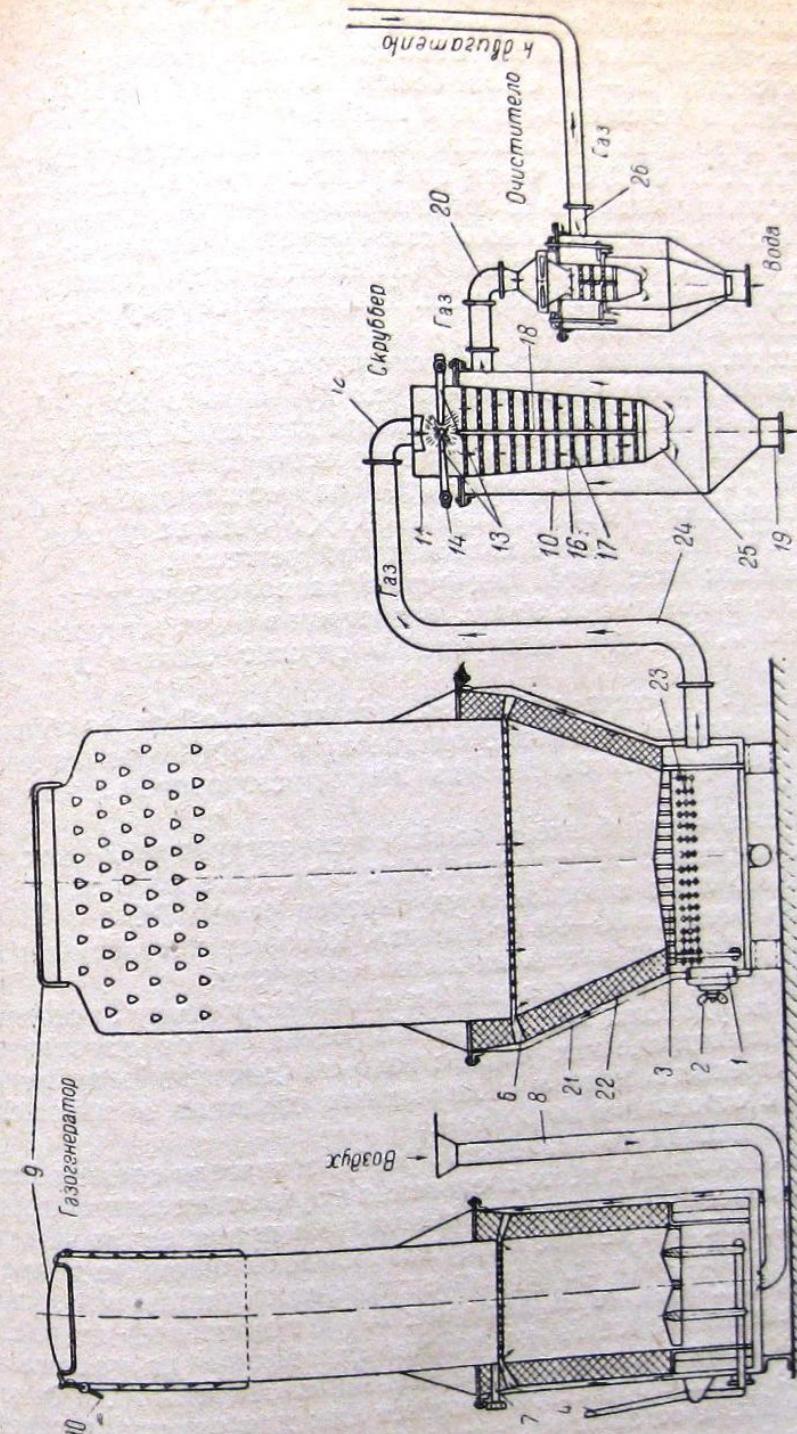


Рис. 51. Схема газогенераторной установки СВК-9.

Зольник имеет четырехугольную форму и изготовлен из 3-миллиметрового листового железа.

Зольник служит для сбора золы и угольной мелочи, которые, по истечении 24—36 часов беспрерывной работы установки, выгребаются через зольниковый люк 1.

Дверца зольникового люка герметически крепится посредством барашка 2. В средней части зольника к его наружной стенке приварен патрубок 8, через который всасывается воздух во время работы газогенератора. Колосниковая решетка 3 отлита из чугуна, живое сечение ее равняется 50%. Решетка сделана подвижной для встряхивания при засорении. Встряхивание осуществляется при помощи рукоятки 4.

Шахта. Средняя часть газогенератора образует шахту. Она имеет двойные стенки с зазором между ними в 20 мм, через которые поступает воздух, необходимый для газификации. Внутри шахта имеет футеровку из огнеупорного кирпича толщиной в 65 мм. Топливник газогенератора образует коническую форму прямоугольного сечения размерами 830 × 370 мм на уровне фурм и 510 × 370 мм на уровне колосниковой решетки.

Топливник имеет один ряд фурм 6, расположенных по всему периметру в количестве 96 шт. диаметром в 5 мм, и шуровочное отверстие 7, которое одновременно служит люком для разжига.

Бункер. Верхняя часть газогенератора образует бункер четырехугольной формы размером вверху в 750 × 370 мм, а внизу в 820 × 370 мм и изготовлен из 2-миллиметрового листового железа.

В верхней части бункера расположен загрузочный люк, на который накладывается крышка 9. Для герметического закрытия загрузочного люка крышкой предусмотрен рычаг 10.

Бункер вмещает 80—90 кг швырка, которых хватает на полтора часа работы двигателя на полной нагрузке.

Скруббер изготовлен из 2-х миллиметрового листового железа. Для удобства монтажа и обслуживания он изготовлен из трех цилиндрических частей: головки для разбрызгивания воды, внутреннего конуса с дырчатыми дисками и внешнего цилиндра с отводящим патрубком.

Внешний цилиндр 10 и головка 11 разбрызгивателя соединяются между собой болтами и место соединения их уплотняется клингеритовой прокладкой. В головке разбрызгивателя приварен газоподводящий патрубок 12 и четыре форсунки 13, расположенные друг от друга под углом в 90° и приваренные к трубчатому кольцу 14, в которое подается вода через патрубок 15 (не показанный на рис.). Во внутреннем конусе 16 на равном расстоянии расположено двенадцать дырчатых дисков 17, соединенных болтами 18. В боковой стенке внешнего цилиндра имеется люк для очистки нижней части скруббера от золы и угольной мелочи. Вода из скруббера отводится по патрубку 19, а охлажденный и предварительно очищенный газ отводится через патрубок 20.

Очиститель. Для окончательной очистки от угольной мелочи и золы газ пропускается через очиститель. Очиститель и по устройству и принципу работы представляет собой то же, что и скруббер, но имеет уменьшенные габаритные размеры и включает в себя осушитель газа.

Конструктивные особенности устройства очистителя видны на рисунке.

На рис. 52. представлен внешний вид газогенератора.

§ 43. Судовая швырковая газогенераторная установка ЦНИИ Лесосплава Ш-5 для газоходов мощностью в 60 л. с.

Схема действия газогенераторной установки (рис. 53). Газогенератор Ш-5 работает по обращенному процессу на швырке, длиной в 500 мм и поперечным сечением 25—35 см².

Порода употребляемой древесины: сосна, ель, осина, береза. Влажность швырка составляет 20—25%. Швырок укладывается в бункер газогенератора в горизонтальном положении.

Воздух, необходимый для газификации, подводится в газогенератор по двум патрубкам 14 в пространство между наружной стенкой шахты 9 и внутренней 10. Поднимаясь, воздух подогревается и вступает через тридцать две фурмы 13 внутрь топливника 4. Образовавшийся в топливнике газ отводится через колосниковую решетку 17, зольник 16, патрубок 19 в скруббер.

Поступив в первую полость скруббера, газ смачивается водой из оросительной трубы 24, охлаждаясь при этом, и далее вместе с водой поступает в нижнюю часть второй полости, где расположен водяной затвор 39. Пройдя водяной затвор, газ поступает в направляющий патрубок 25, далее проходит решетку 26 и, поднимаясь вверх, встречает слой кокса, высотой в 500 мм, смачиваемый водой из оросительной трубы 27.

Для отделения механической влаги газ проходит через осушительную щель 28 и далее поступает в третью полость. В нижнюю часть этой полости наливается отработанное масло двигателя. Выходя из третьей полости, газ ударяется об слой масла, благодаря чему получается дополнительная очистка его от механических примесей, и далее поступает в четвертую полость. В четвертой полости газ проходит через две решетки 29 и фильтрующую массу 40.

Из скруббера в очиститель газ подводится через патрубок 41. Поступив в сухой очиститель, газ перегородкой 35 направляется в нижнюю часть очистителя. Из нижней части очистителя газ

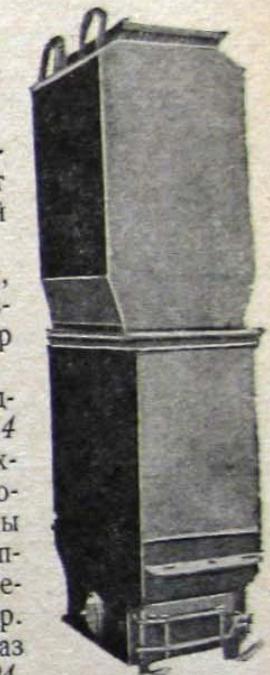


Рис. 52. Внешний вид газогенератора СВК-9.

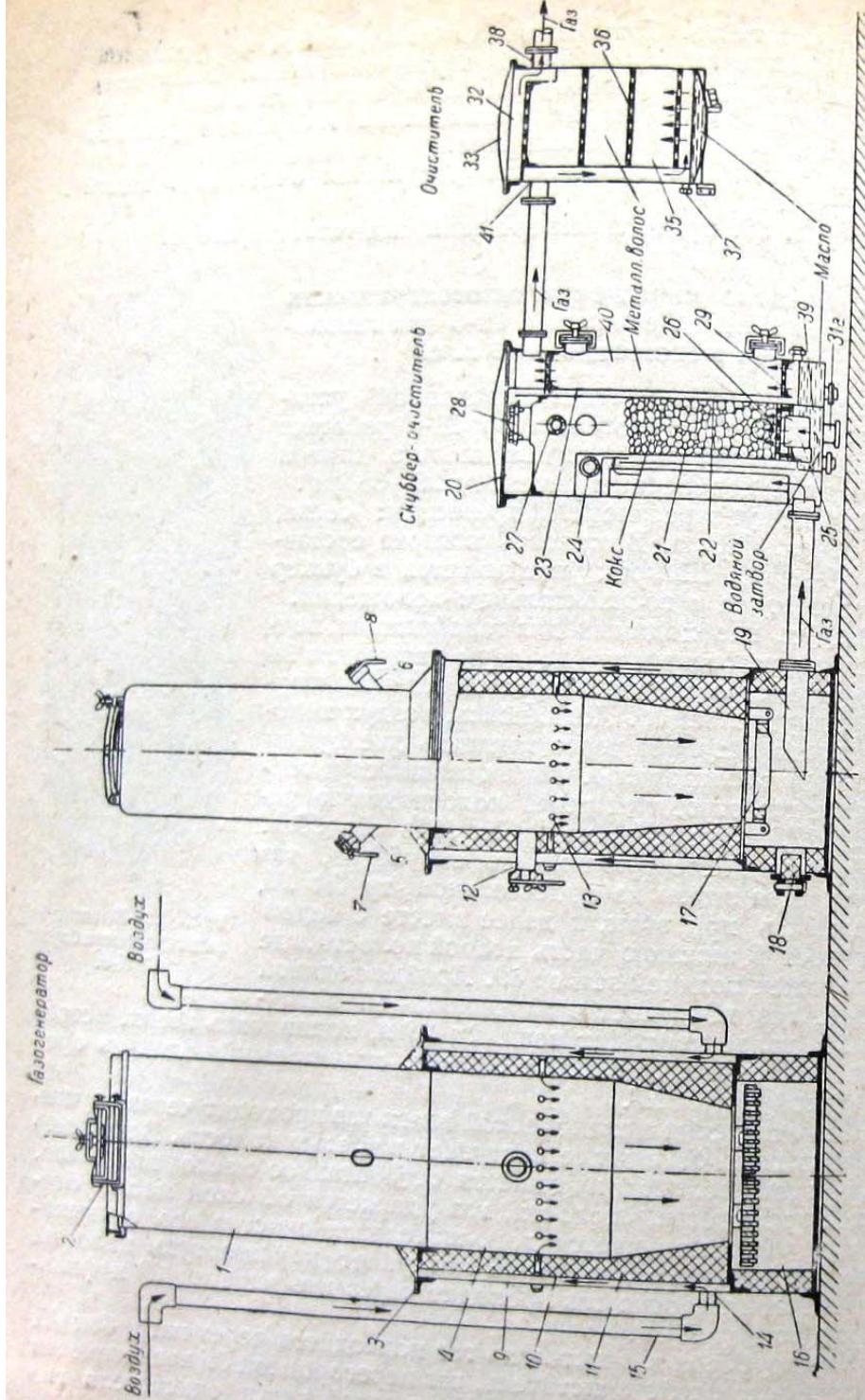


Рис. 53. Схема газогенераторной установки Ш-5.

поднимается вверх, проходя через три слоя кенафа. Из очистителя газ через патрубок 38 и газопровод (не показанный на рисунке) подводится к двигателю.

Устройство газогенераторной установки. Газогенераторная установка конструкции ЦНИИ Лесосплава состоит из газогенератора, комбинированного скруббера-очистителя и сухого очистителя.

Устройство газогенератора. Газогенератор имеет четырехугольную форму и состоит из верхней части — бункера с загрузочным люком для топлива, средней части — шахты газогенератора и нижней части — зольниковой камеры.

Бункер 1 имеет четырехугольную форму с размерами 530×400 мм. Высота бункера вместе с крышкой равна 1100 мм. В верхней части бункера расположен загрузочный люк, закрываемый крышкой 2.

Бункер вмещает 60—70 кг швырка, которого хватает на час работы двигателя при полной нагрузке.

В нижней части бункера приварен фланец 3 для сболчивания бункера с кожухом шахты 9.

Люки 5 и 6, закрываемые герметически задвижками 7 и 8, предназначены для шуровки в случае зависания топлива в бункере.

Топливник 4. Средняя часть газогенератора образует шахту, которая имеет двойные стенки 9 и 10 с расстоянием между ними в 20 мм. Внутри шахта имеет футеровку 11, выполненную из огнеупорного кирпича толщиной в 65 мм. Топливник газогенератора 4 имеет коническую форму прямоугольного сечения размерами 530×400 мм на уровне фурм и 400×300 мм на уровне колосниковой решетки.

Топливник имеет один люк для розжига 12 и тридцать две фурмы 13.

Фурмы имеют диаметр 8 мм и снабжены специальными пробками, с помощью которых можно производить чистку фурм, а также включать или выключать отдельные фурмы. В нижней части шахты к его наружной стенке 9 приварены два патрубка 14, через которые засасывается воздух при работе газогенератора.

К этим патрубкам привернуты трубы 15 для засасывания воздуха с палубы судна, во избежание попадания газа в машинное отделение в момент остановки двигателя.

Зольниковая камера 16. Нижняя часть газогенератора образует зольниковую камеру размером 570×440 мм, выполненную огнеупорным кирпичом толщиной в 65 мм. В зольниковой камере имеется колосниковая решетка 17, зольниковый люк 18, который служит для очистки зольниковой камеры и газоотборный патрубок 19 для выхода газа.

Колосниковая решетка 17 укреплена шарниро и, в случае чистки топливника, она может быть опущена на дно зольника.

В целях увеличения живого сечения колосниковой решетки, расстояние между отдельными колосниками принято равным 23 мм.

Устройство скруббера-очистителя 20. Скруббер-очиститель 20 изготавливается из 2-миллиметрового листового железа и представляет собой цилиндр с диаметром в 450 мм и общей высотой в 1040 мм. Перегородками 21, 22 и 23 он разделяется на 4 полости.

В первой полости газ получает первичное охлаждение из оросительной трубы 24. Вторая полость имеет направляющий патрубок 25, решетку 26, вторую оросительную трубу 27 и осушительное устройство 28. Третья полость образуется перегородками 22 и 23. Четвертая полость, образуемая перегородкой 23 и стенкой скруббера 20, имеет две решетки 29, между которыми помещается фильтрующая масса. В нижней части третьей и четвертой полостей имеется отработанное масло двигателя, служащее для улавливания мелких частиц золы и угольной пыли, уносимых из газогенератора и не уловленных в первой и второй полости. Очищенный газ выходит через патрубок 38. Для удобства изготовления дно скруббера составлено из трех частей. Патрубок 31-а служит для очистки скруббера от золы, угольной мелочи и грязи.

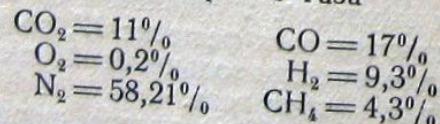
Сухой очиститель 32. Очиститель представляет собой цилиндр диаметром в 400 мм, изготовленный из 2-миллиметрового листового железа с герметически закрываемой крышкой 33. В целях изменения направления движения газа, внутри очистителя имеется перегородка 35, разделяющая очиститель на две полости.

В одной полости на угольниках расположены четыре решетки 36, между которыми имеется фильтрующая масса. На дно скруббера налито отработанное масло. Пробка 37 служит для контроля уровня масла. Фильтрующая масса и отработанное масло обеспечивают более тщательное улавливание механических примесей, не уловленных в скруббере. Патрубок 38 служит для отвода газа из очистителя.

Результаты стендовых испытаний газогенераторной установки Ш-5. Газогенераторная установка испытывалась на стенде в течение 200 часов при различных режимах работы двигателя ЧТЗ.

Средние результаты испытания получены следующие:

1. Эффективная мощность двигателя... 58,7 л. с.
2. Число оборотов двигателя... $n = 650$
3. Расход древесины на одну л. с. в час 1 кг.
4. Температура газа, выходящего из газогенератора... 700°C
5. Средний состав генераторного газа



6. Теплотворная способность генераторного газа = 1120 $\frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$
7. Температура газа перед смесителем ... 29°C
8. Температура воздуха в лаборатории ... 32°C

9. Разрежение после газогенератора	125	мм в. с.
10. " скруббера	290	мм в. с.
11. " очистителя	550	мм. в. с.
12. Периодичность загрузки топлива в бункер 1 час		
13. Род топлива — дрова смесь сосны и ели		
14. Размер дров: длина 500 мм, сечение 20 — 40 см ²		
15. Влажность дров	24%	

Газогенераторная установка Ш-5 испытывалась в течение 1938 г. в лаборатории Института Лесосплава и в пробеге на участке Кострома — Петрозаводск. На испытаниях установка дала положительные результаты. В 1939 г. Наркомлесом будет построено 5 — 10 газоходов с этой установкой.

На рис. 54 представлен внешний вид установки.

§ 44. Судовая швырковая газогенераторная установка конструкции ЦНИИВТ-7 для газоходов мощностью в 60 л. с.

На рис. 55 представлена схема газогенераторной установки ЦНИИВТ-7.

Газогенератор ЦНИИВТ-7 работает на швырке размером 500 × 65 × 65 мм влажностью 20—25%. Укладка швырка в бункер газогенератора производится в вертикальном расположении.

Устройство газогенератора. Газогенератор ЦНИИВТ-7 выполнен с учетом ранее разработанных газогенераторов ЦНИИВТ-1, ЦНИИВТ-3 и ЦНИИВТ-5.

Конфигурация шахты имеет более сложную форму, чем ЦНИИВТ-3.

Цилиндрическая форма топливника в верхней части переходит в коническую с уменьшением диаметра книзу с 540 до 350 мм с последующим увеличением диаметра до 385 мм в самом низу топливника.

Напряжение топливника на уровне верхнего ряда фурм равно 360 кг/м²/час, а для нижнего ряда фурм 520 кг/м²/час.

Расстояние от колосниковой решетки до нижнего ряда фурм равно 585 мм, а до верхнего ряда фурм 685 мм.

В верхнем ряде расположено двадцать четырех фурмы диаметром 10 мм, а в нижнем восемь фурм под углом примерно 30°.



Рис. 54. Внешний вид газогенератора Ш-5.

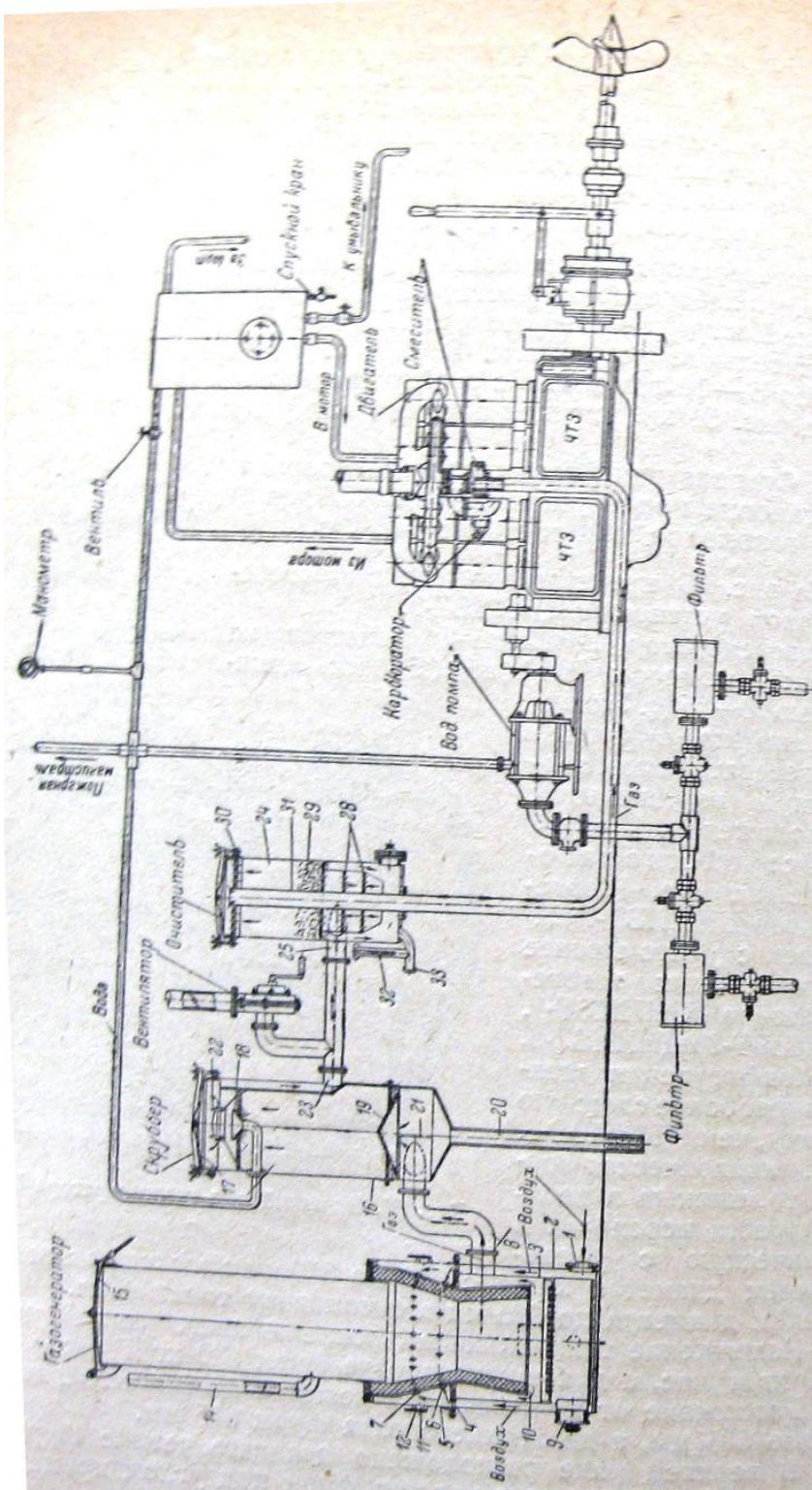


Рис. 55. Схема газогенераторной установки ЦНИИВТ-7.

Воздух в генератор засасывается через обратный воздушный клапан 1 непосредственно из машинного помещения.

Перед поступлением в топливник, воздух, проходя полость между внешним кожухом шахты 2 и внутренним 3 и через прорези плиты 4, входит в полость 5, откуда через два ряда форсунок 6 и 7 со скоростью 20 м/сек. поступает в топливник.

Перед поступлением воздуха в топливник он подогревается примерно до 100° за счет нагрева стенок шахты и плиты 4.

Газ из газогенератора отбирается через патрубок 8. Зола и угольная мелочь выгребаются через люк 9. Люк 10 служит для очистки газогенератора от топлива и смены колосников в случае выхода их из строя.

Люк 11 закрываемый крышкой 12 служит для розжига газогенератора и наблюдения за высотой активной зоны.

В целях поддержания горения топлива в газогенераторе в период остановки двигателя, подвод воздуха под колосниковую решетку осуществляется через патрубок, расположенный в зольниковой дверце, а отвод газа через патрубок 14.

Крепление топливника и шахты выполнено проще, чем в конструкции газогенератора ЦНИИВТ-3.

Крышка загрузочного люка 15 также переработана в целях создания более надежной герметичности. В крышке загрузочного люка поставлен предохранительный клапан, позволяющий производить наблюдение за уровнем топлива.

Скрублер представляет собой цилиндр 16, изготовленный из листового железа толщиной 2 мм, с герметически закрывающейся крышкой 17.

Охлаждение газа в скрублере осуществляется посредством воды, выходящей из распылителя 18.

В целях лучшего соприкосновения газа и воды, движущихся в противоположных направлениях, на коническую решетку 19 насыпается кокс.

Вода из скрублера отводится через патрубок 20.

Газ в скрублере подводится в нижней его части через патрубок диаметром 100 мм. Для придания газовому потоку вращательного движения приварен специальный козырек 21, который также предотвращает попадание воды в газопровод.

Отделение мельчайших частичек воды от газа осуществляется отражателем 22.

Газ из скрублера отводится через патрубок 23.

Масляный очиститель. Очиститель представляет собой цилиндр 24.

Газ подводится в средней части очистителя по касательной через патрубок 25 и направляется стенками цилиндров вниз, пробиваясь сквозь слой масла, и далее газ проходит две решетки 28 и фильтрующий слой 29. Решетка 30 предохраняет от уноса очищающей массы в газоотводящий патрубок 31.

Измерение уровня масла производится линейкой 32. Спуск масла осуществляется через трубку 33.

Расположение газоотборной трубы в центре обеспечивает равномерное движение газа по всему сечению.

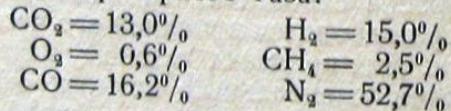
Устройство остальных деталей газогенератора, скруббера и масляного очистителя видно из рисунка.

Стандовые испытания газогенераторной установки ЦНИИВТ-7. Газогенераторная установка испытывалась в газогенераторной лаборатории ЦНИИВТа.

В период испытания газогенераторной установки нагрузка производилась посредством питания газового двигателя ЧТЗ-60. Двигатель нагружался тормазной динамо-машиной постоянного тока

Средние данные полученные за 29 часовое испытание:

Число оборотов двигателя	665
Мощность двигателя	56,3 л. с.
Удельный расход топлива при влажности порядка 25%	1,1 кг
Периодичность загрузки топлива в газогенератор	30—35 мин.
Расход воды на охлаждение генераторного газа	50 л/л. с. час.
Разрежение после газогенератора . .	130 мм в. с.
" скруббера	200 мм в. с.
" очистителя	310 мм в. с.
" перед клапанами	1037 мм в. с.
Температура газа после газогенератора	475° Ц
" скруббера	12° Ц
" очистителя	17° Ц
Температура воды перед скруббером	7° Ц
" после скруббера	25° Ц
" двигателя	49° Ц
Расход воды на охлаждение генераторного газа	50 л/л. с. час.
Средний состав генераторного газа:	



Теплотворная способность $Q = 1093 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$

Основные размеры газогенераторной установки

Высота общая газогенератора	2500 мм
Диаметр бункера	520 "
Внешний диаметр шахты	700 "
Диаметр топливника на уровне нижнего ряда фурм	405 "
Диаметр топливника на уровне верхнего ряда фурм	465 "
Высота активной зоны	485/635 "
Количество фурм в верхнем ряде	16 шт
" в нижнем	8 "
Высота общая скруббера	1300 мм
Диаметр скруббера	450 "
Высота общая масляного очистителя	950 "
Диаметр скруббера	400 "

§ 45. Судовая швырковая газогенераторная установка конструкции ЦНИИВТ-6 для газоходов мощностью в 120 л. с.

Общий вид газогенератора ЦНИИВТ-6 приведен на рис. 56, 57 и 58. Газогенератор имеет прямоугольную форму. Крышка загрузочного люка 3 газогенератора ЦНИИВТ-6, в отличие от прежних конструкций, укреплена на рычаге 5, изготовленном из пружинной стали (например, как задняя рессора автомобиля ГАЗ). Плотность закрывания загрузочной крышки обеспечивается прокладкой из медно-азбестового програffitiрованного шнура, заложенного в уплотнительную рамку 3. Крышка бункера закрывается серьгой 12, укрепленной в запорной рукоятке 9.

Бункер. Стенки бункера газогенератора изготовлены из листового железа толщиной 2,5 мм, соединенными между собой электросваркой. Боковые стенки бункера, соприкасающиеся с торцами загружаемого топлива, имеют снаружи ребра жесткости 41 и 77, которые предохраняют стенки от возможного коробления при неравномерном нагреве. Сверху бункер заканчивается загрузочным люком, имеющим размер 540 × 375 мм. Рамка загрузочного люка изготовлена из полосового железа толщиной 6 мм. Нижним своим фланцем 36 бункер газогенератора соединяется с фланцем 29 воздушной фурменной коробки. В целях обеспечения плотности между фланцами имеется азбестовая прокладка, обжимаемая болтами 74.

Фурменная воздушная коробка газогенератора, в отличие от прежних конструкций 120-сильных газогенераторов, представляет собой самостоятельную деталь.

Материалом для изготовления коробки служит также листовое железо толщиной 2,5 и 4,5 мм. В фурменную воздушную коробку вварены два ряда воздушных фурм. $\varnothing = 8$ мм, причем в верхнем ряду имеется 40 фурм, а в нижнем — 36, т. е. по 10 и 9 фурм в каждой плоскости воздушной коробки.

Несколько выше верхнего ряда фурм в двух противоположных сторонах воздушной коробки имеется по два лючка 62, служащих для розжига газогенератора, а также и для наблюдения за горением. При работе лючки закрываются крышками 52 с барашками 71, фурменная воздушная коробка со стороны зоны горения обложена оgneупорным кирпичом толщиной 65 мм.

Топливник 19 и 18 газогенератора изготавливается из листового железа толщиной в 4,5 мм. Форма топливника ясно видна из чертежа. Внутри топливник также обложен стандартным оgneупорным кирпичом, который является продолжением облицовки фурменной воздушной коробки. Футеровка топливника внизу опирается на приваренный уголник 25. Своими бортами топливник закрепляется между фланцами 29 фурменной воздушной коробки шахты газогенератора. Плотность в этом месте обеспечивается двумя азбестовыми прокладками 82 зажимаемыми болтами 75.

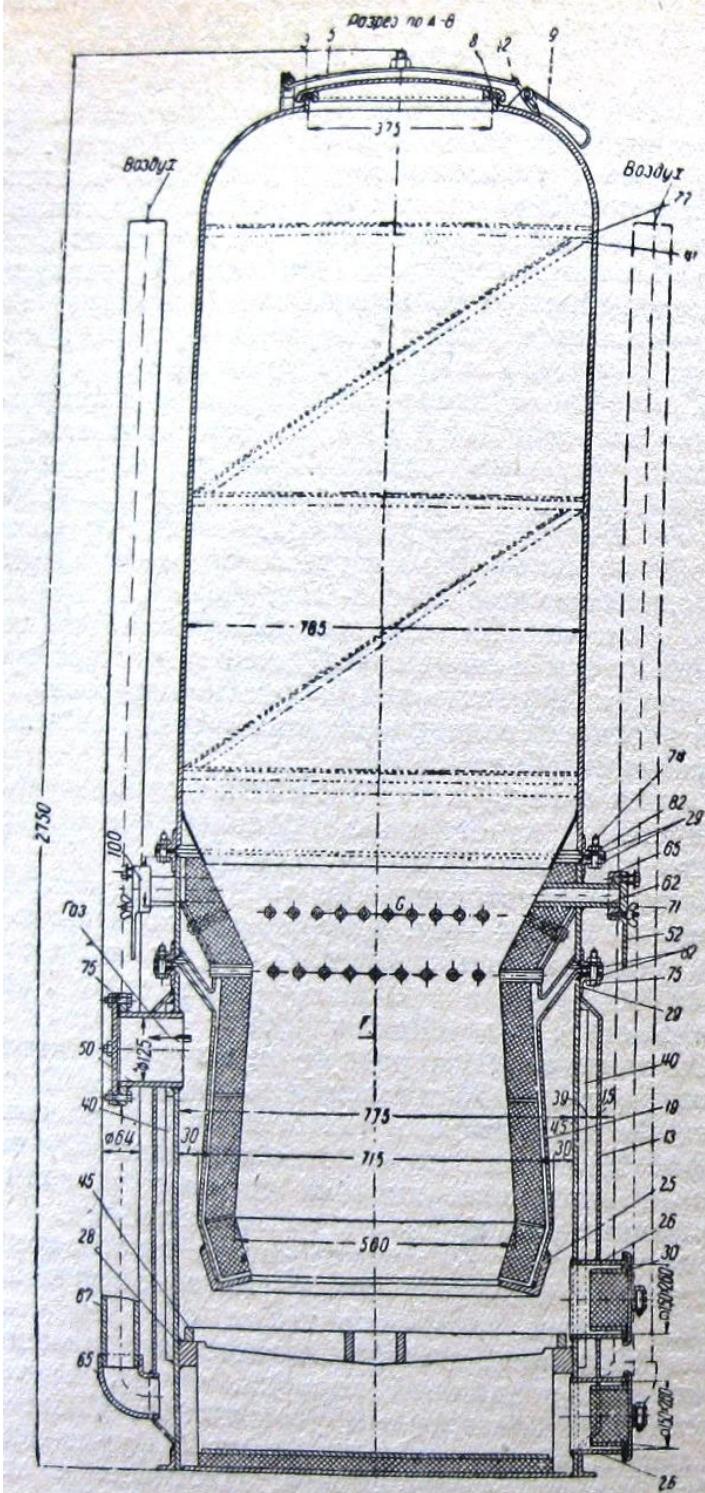


Рис. 56. Общий вид газогенератора ЦНИИВТ-6.

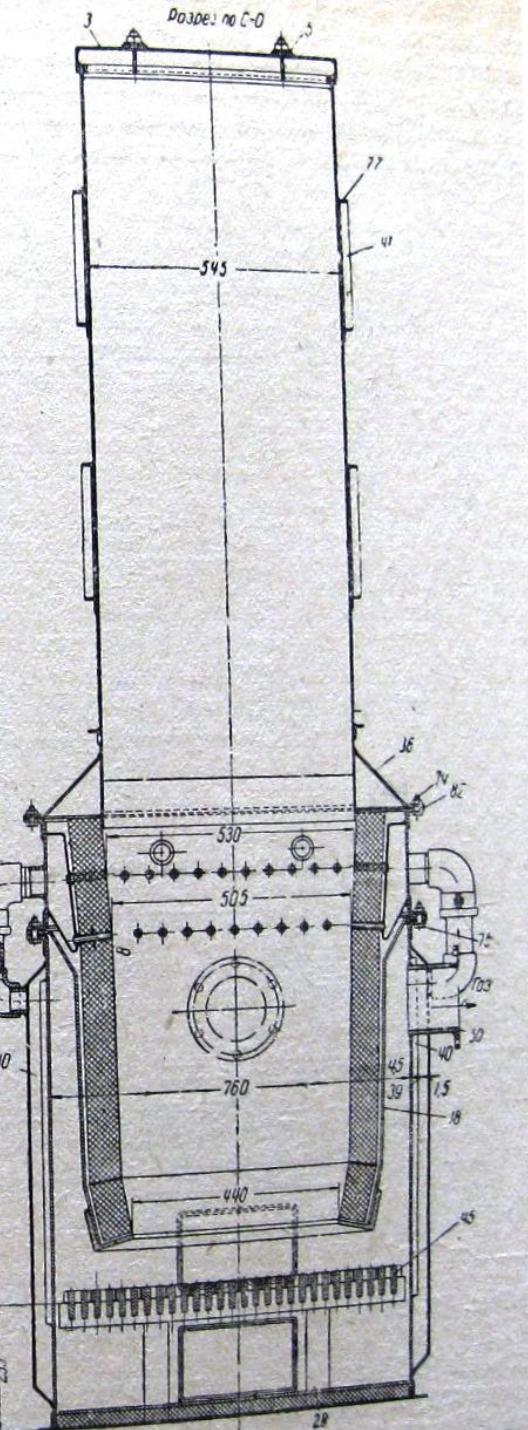
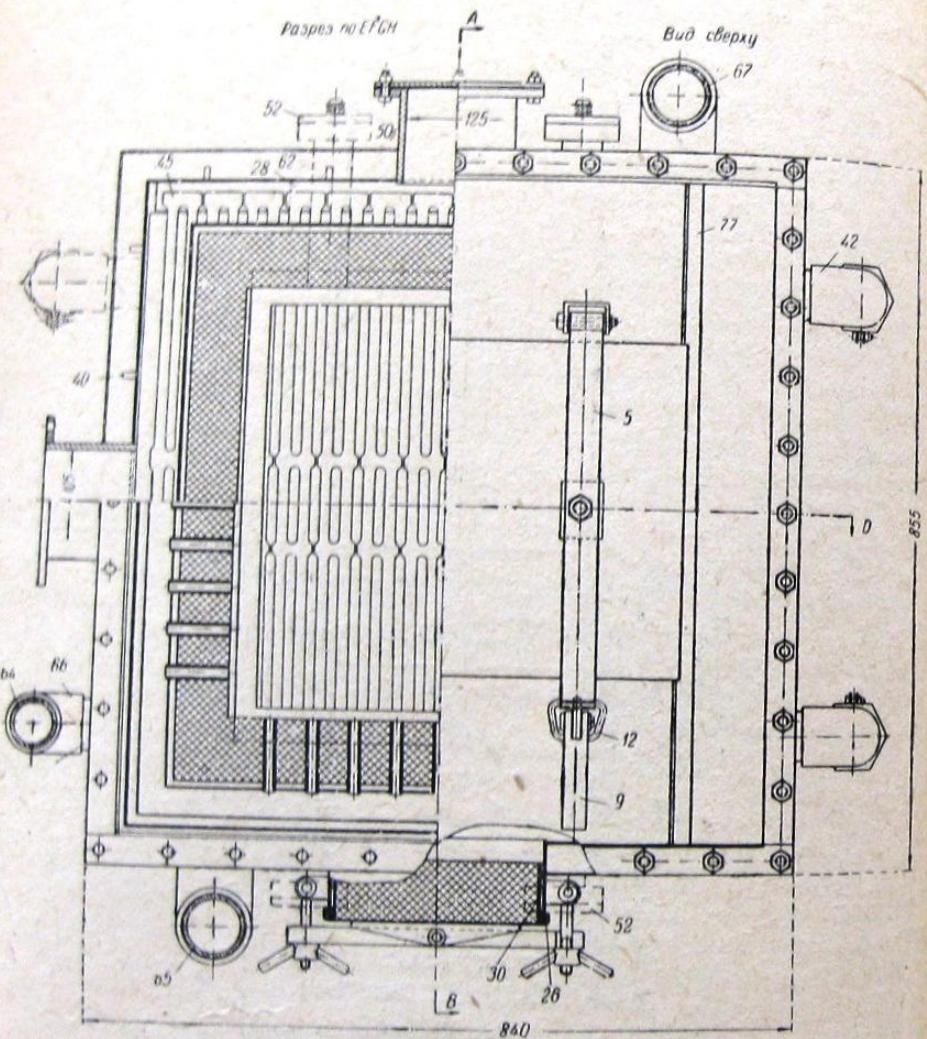


Рис. 57. Общий вид газогенератора ЦНИИВТ-6.

Шахта газогенератора имеет прямоугольную форму и изготавлена из листового железа толщиной 4,5 мм, так как она является нижней частью газогенератора, воспринимающей всю весовую нагрузку последнего. К стенкам шахты, во избежание возможного коробления, приварены по пяти ребер жесткости 40. Снаружи к стенкам шахты приварен кожух 13 из листового железа



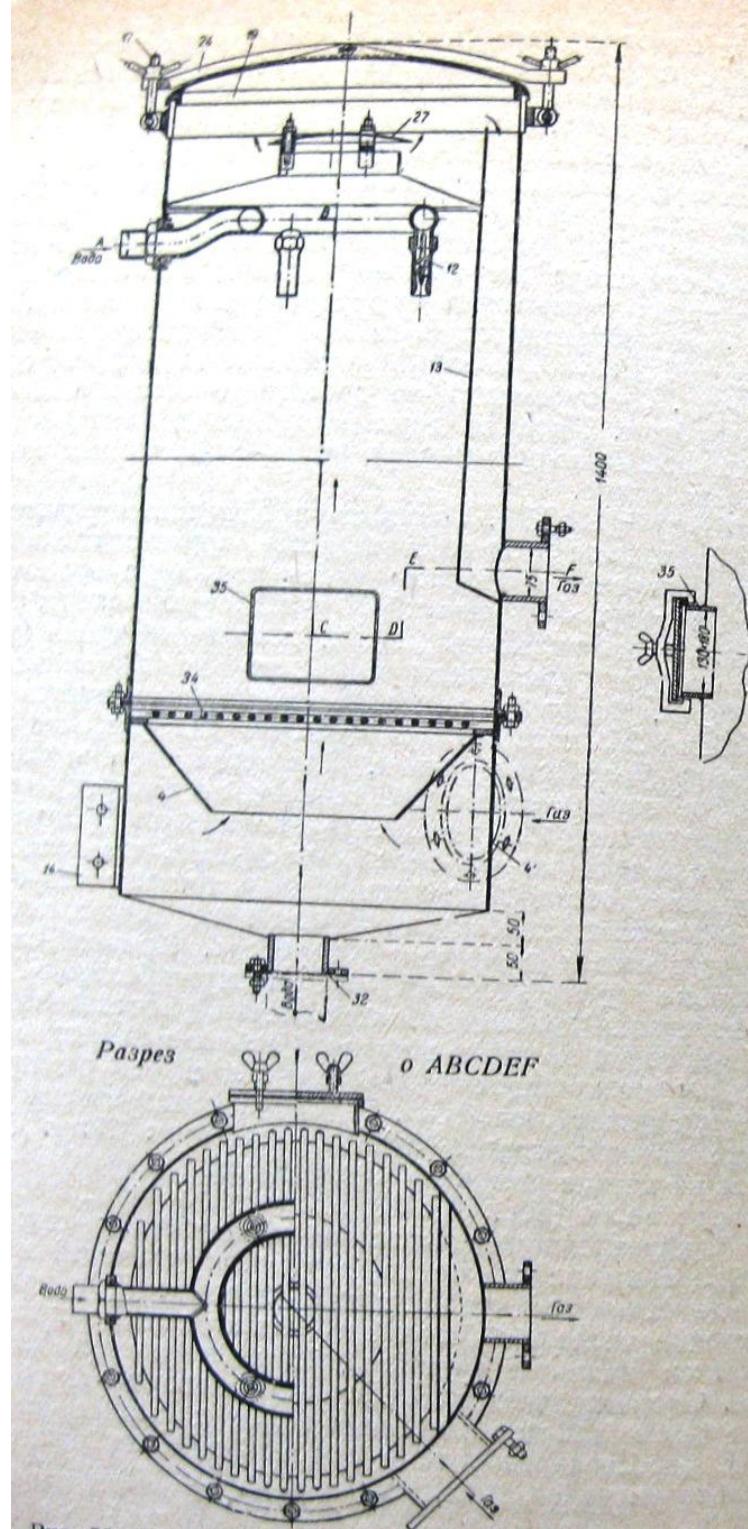


Рис. 59. Общий вид скруббера ЦНИИВТ-6.

Отсос газа производится трубой 36 диаметром 75 мм, выведенной в днище очистителя. Такой способ отбора и подвода газа к очистителю представляет значительное удобство при монтаже его на катерах.

Крышка очистителя шарнирно укреплена на рычаге 41, прижимаемом двумя откидными болтами 34. Плотность прилега-

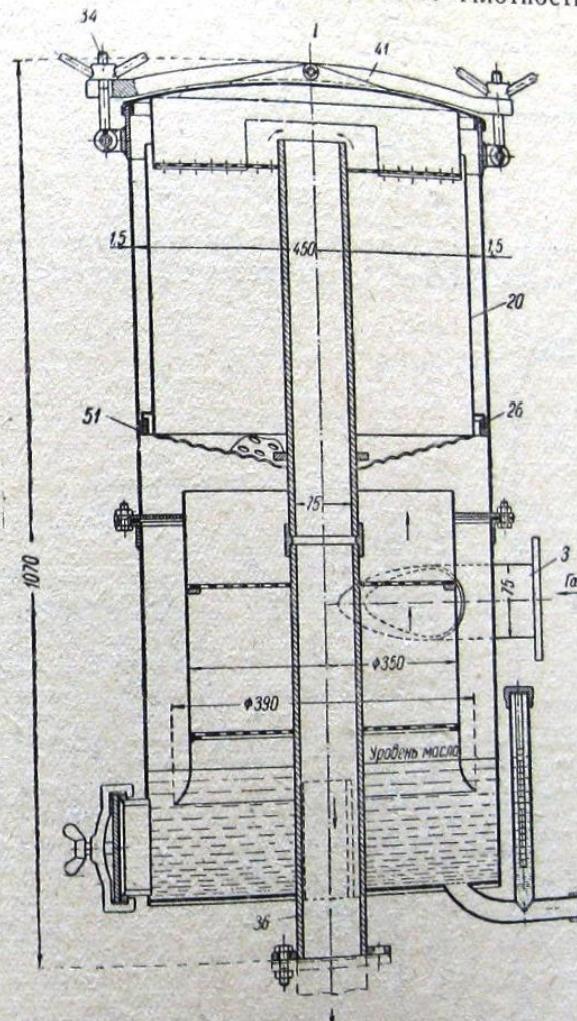


Рис. 60. Общий вид очистителя ЦНИИВТ-6.

ния крышки обеспечивается резиновой прокладкой 51, расположенной в уплотнительной рамке крышки 26.

Невозвратный газовый клапан (рис. 61). В целях возможности работы газогенераторной установки ЦНИИВТ-б только с одним из двух приключенных газовых двигателей, следует устанавливать невозвратный газовый клапан в ответвлении газопровода к каждому двигателю.

Клапан представляет собой тонкую алюминиевую пластинку 7, свободно подвешенную на шарнире 9. Для возможности полного

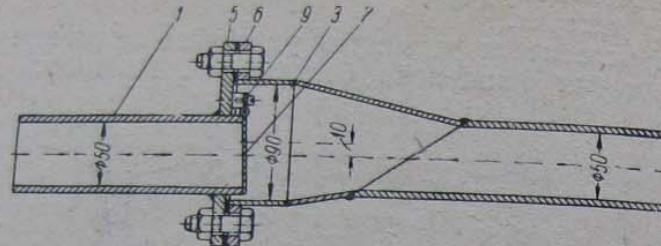


Рис. 61. Невозвратный клапан.

открытия клапана он помещается в расширении газопровода 3, которое с помощью фланца 6 соединяется с фланцем 5 нормального

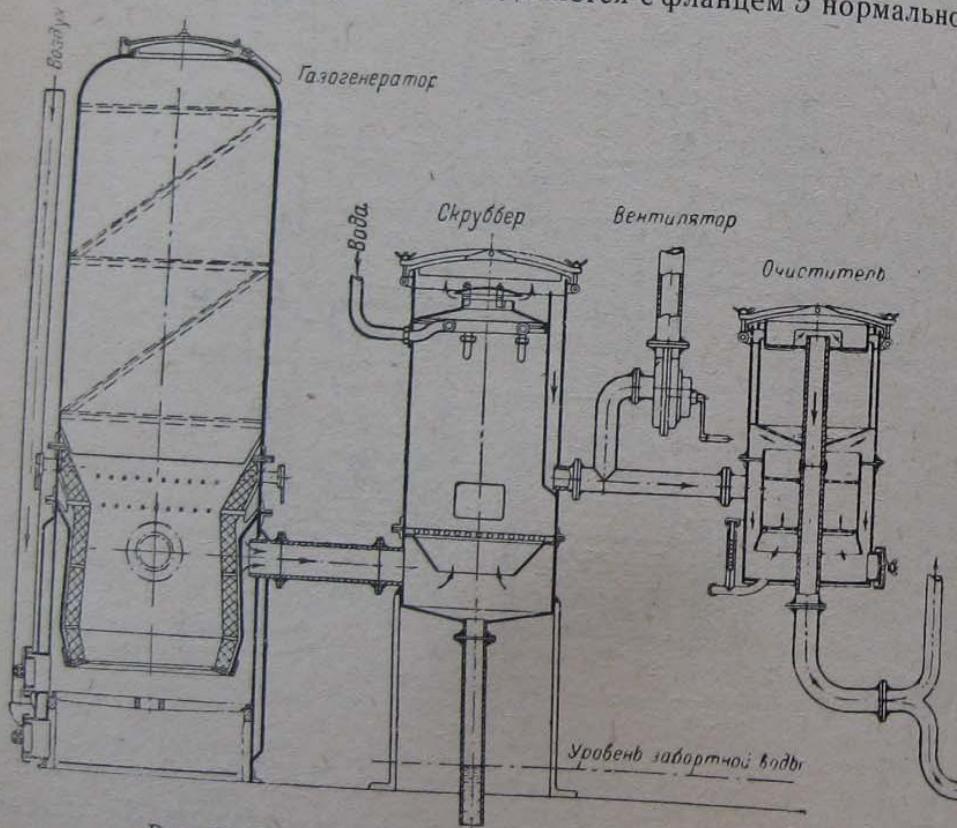


Рис. 62. Схема газогенераторной установки ЦНИИВТ-6.

участка газопровода. Под влиянием своей тяжести пластина 7 прикрывает сечение газопровода 1 при неработающем двигателе.

Во время работы двигателя динамический напор газового потока в трубопроводе будет приподнимать пластинку, тем самым открывая сечение газопровода для прохода газа.

При таком устройстве движение газового потока в противоположном направлении исключается.
На рис. 62 приведена схема газогенераторной установки ЦНИИВТ-6, из которой видно направление движения газа во всей системе.

Испытания газогенераторной установки. Газогенераторная установка испытывалась на стаде в лаборатории ЦНИИВТа в период 1938 г.

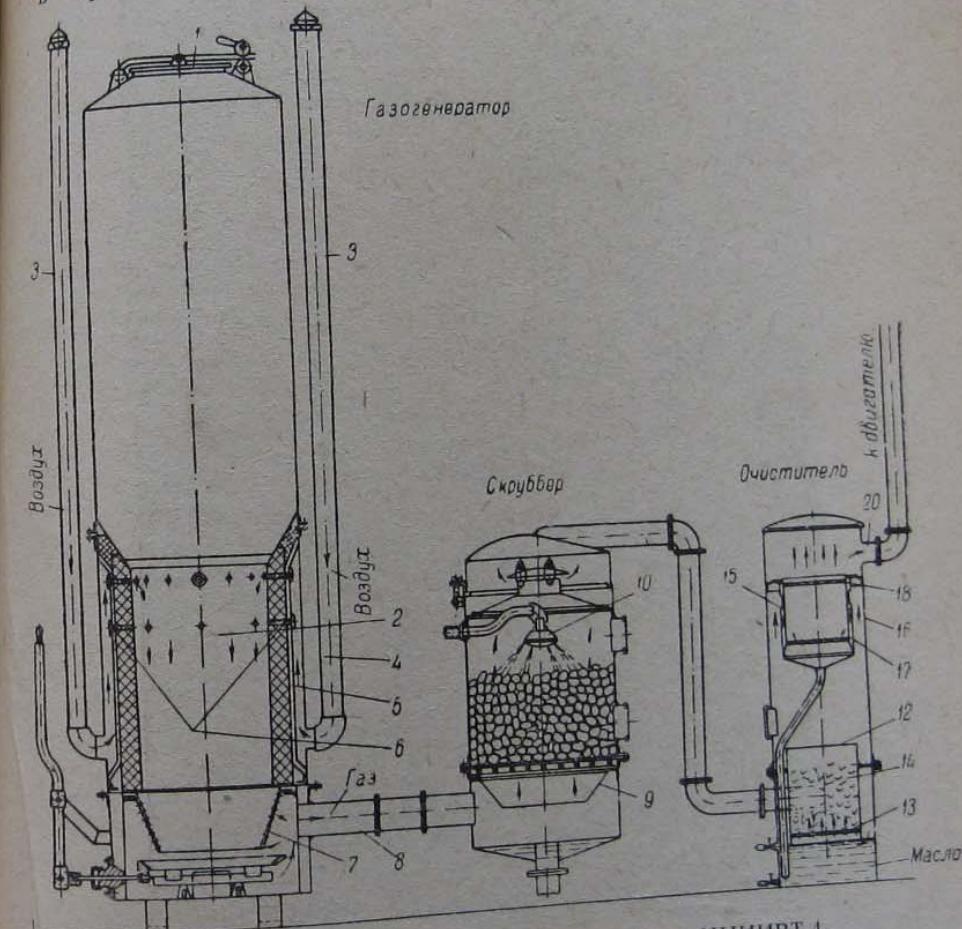


Рис. 63. Схема газогенераторной установки ЦНИИВТ-4.

Во время испытаний нагрузка генератора производилась двумя газовыми двигателями ЧТЗ-60, каждый из которых был соединен с динамомашиной постоянного тока.

Газогенератор испытывался на дровах (сосна-ель) длиною 00 мм, сечением 20—25 см².

Влажность дров составила 18,7%.

Средние результаты испытания газогенераторной установки бывшей длительностью 33 часа получены следующие:

Суммарная мощность двигателей	115 л. с.
Разрежение после газогенератора	125 мм в. с.
" скруббера	230 мм в. с.
" очистителя	420 мм в. с.
Температура поступающей воды в скруббер . . .	6° Ц

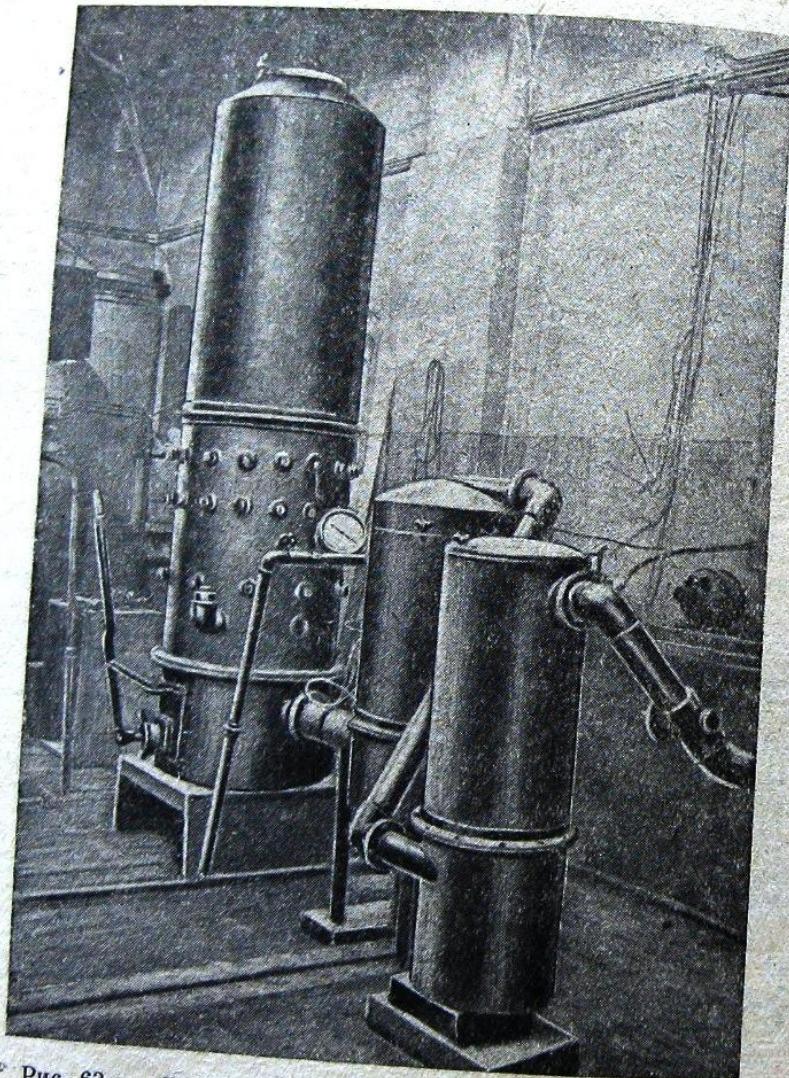


Рис. 63-а. Внешний вид газогенераторной установки ЦНИИВТ-4.

Температура воды, выходящей из скруббера . . .	42° Ц
Температура газа, поступающего в скруббер . . .	600° Ц
Температура газа, выходящего из скруббера . . .	20° Ц
Удельный расход воды на охлаждение генераторного газа	20 л/л с. час.
Удельный расход древесины	1 кг/л. с. час.

Средний состав генераторного газа:

$\text{CO}_2 = 13,04\%$	$\text{H}_2 = 16,45\%$
$\text{O}_2 = 0,32\%$	$\text{CH}_4 = 1,47\%$
$\text{CO} = 16,77\%$	$\text{N}_2 = 51,95\%$

Теплотворная способность газа $Q = 1056 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$.

Основные размеры газогенераторной установки

Высота общая газогенератора	2750 мм
Высота бункера	1550 "
Сечение бункера	545 × 790 "
Толщина стенок бункера	2,5 "
Высота активной зоны	600/725 "
Сечение шахты	850 × 865 "
Сечение топливника между верхним и нижним рядами фирм	530 × 530 "
Сечение топливника в нижней части	485 × 440 "
Количество фирм в верхнем ряду	40 шт
в нижнем	36
Диаметр фирм	8 мм
Высота общая скруббера	1750 "
Диаметр скруббера	550 "
Высота общая очистителя	1070 "
Диаметр очистителя	450 "
Вес газогенератора	800 "
Вес скруббера	90 "
Вес очистителя	75 "

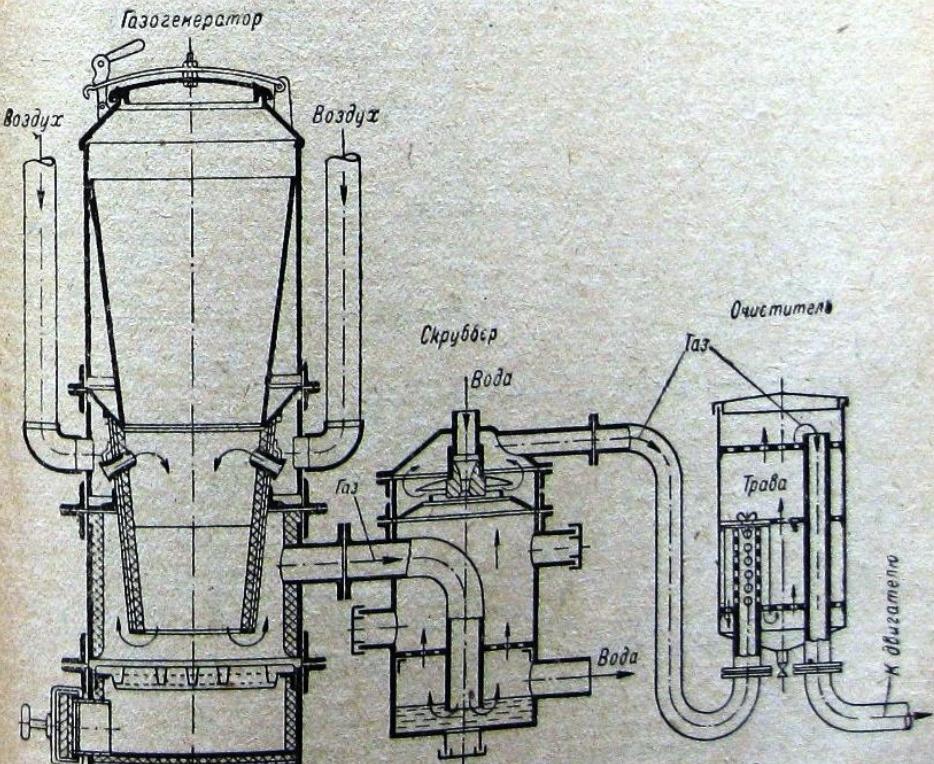


Рис. 64. Схема газогенераторной установки МСВ-86.

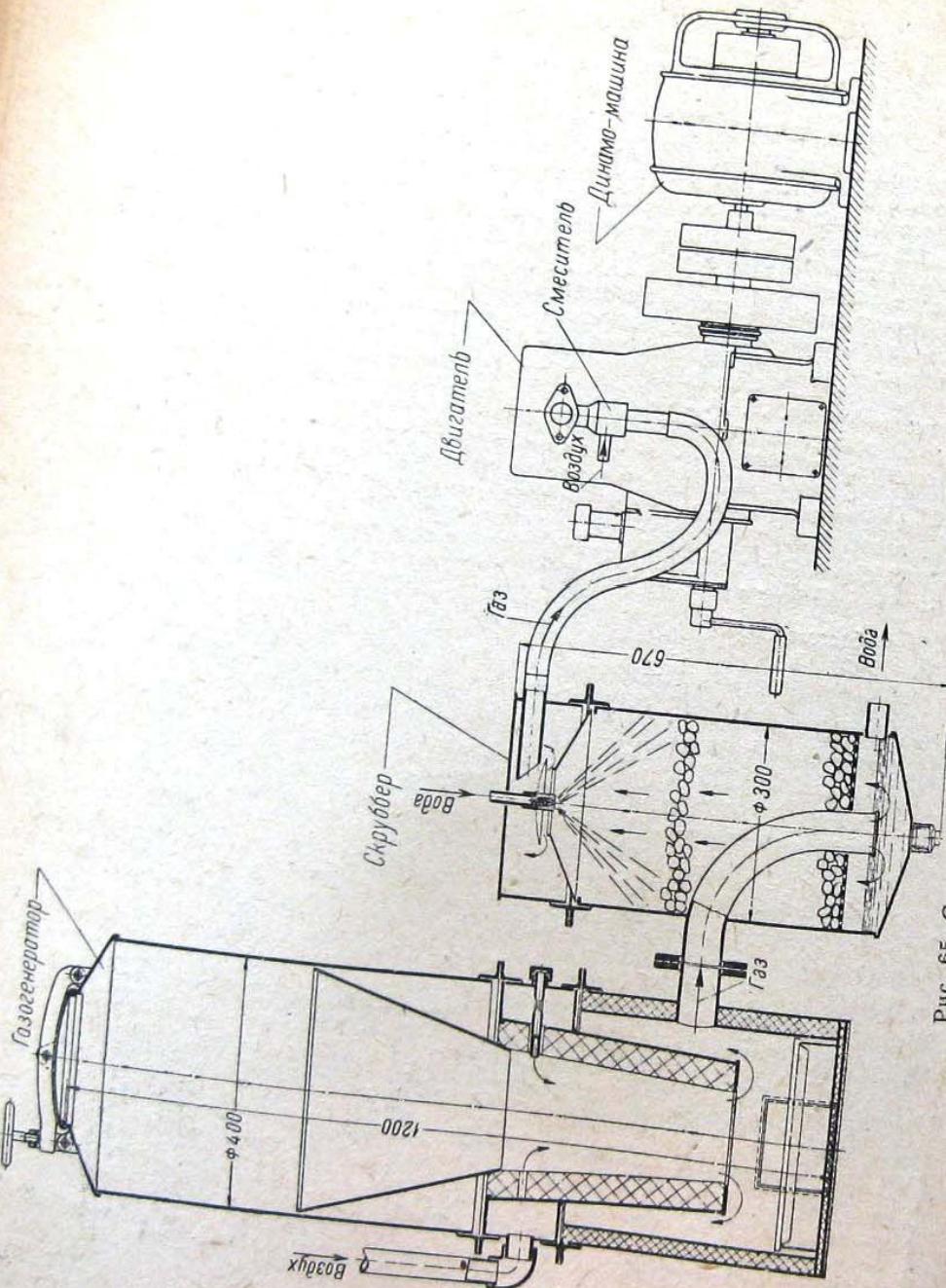


Рис. 65. Схема газогенераторной установки МСВ-90.

На рис. 63, 63-а и 64 приведены схемы газогенераторных установок ЦНИИВТ-4 к газоходу мощностью 120 л. с. и МСВ-86 к газоходу в 60 л. с., работающих на швырке, а на рис. 65 приведена схема вспомогательной судовой установки МСВ-90 к двигателю Л-2-6 мощностью в 4 л. с.

§ 46. Судовая антрацитовая газогенераторная установка Техконбюро-І для газоходов мощностью в 240 л. с.

Схема действия газогенераторной установки (рис.66). Топливо, загруженное в генератор, будет спускаться вниз по мере сгорания его на колосниковой решетке.

Воздух, насыщенный водяными парами, по трубе 23-а поступает через колосники 3 в топливник. На колосниках находится слой золы, высотой 150—200 мм. Над слоем золы происходит сгорание антрацита в углекислый газ и перегрев водяных паров, подведенных вместе с воздухом. Поднимаясь выше, углекислый газ и водяные пары соприкасаются с раскаленным слоем антрацита и в наибольшей своей части восстанавливаются в окись углерода и водород. Из генератора газ по газопроводу 24 поступает в скруббер.

Всосанный в скруббер газ смачивается водой, поступающей из щелей 33, и далее вместе с водой поступает в нижнюю часть.

Из нижней части скруббера газ поступает в пространство между внутренним цилиндром 28 и внешним цилиндром 27; поднимаясь вверх, он встречает на своем пути кокс, смачиваемый водой, поступающей из щелей 34.

В целях отделения механической влаги от газа, газ проходит через кокс, помещенный на решетке 31.

Из скруббера газ поступает в очиститель по патрубку 52. Поступив в очиститель, газ направляется перегородкой 41 в нижнюю часть, где ударяется о поверхность масла и осаждает угольную мелочь и золу, не выделившиеся в скруббере. Далее газ поднимается вверх, встречая на своем пути смоченную маслом очищающую массу. Из верхней части газ направляется перегородками 42 и 43 в нижнюю часть, а из нижней перегородкой 43 направляется в верхнюю и далее по патрубку 53 подводится из очистителя.

Из очистителя газ по патрубку 52 подводится в рессивер, а из рессивера по двум патрубкам направляется в двигатели.

Устройство газогенераторной установки. Газогенераторная установка конструкции Техконбюро состоит из газогенератора, скруббера, очистителя, рессивера.

Устройство газогенератора. Газогенератор работает по прямому процессу на антраците с присадкой водяного пара и состоит из следующих частей.

1. Зольник газогенератора 1 изготавливается из 4-миллиметрового листового железа. К верхней части зольника прикреплен фланец 2 из углового железа $40 \times 40 \times 5$ мм с отверстиями для сболчивания его с фланцем шахты 2.

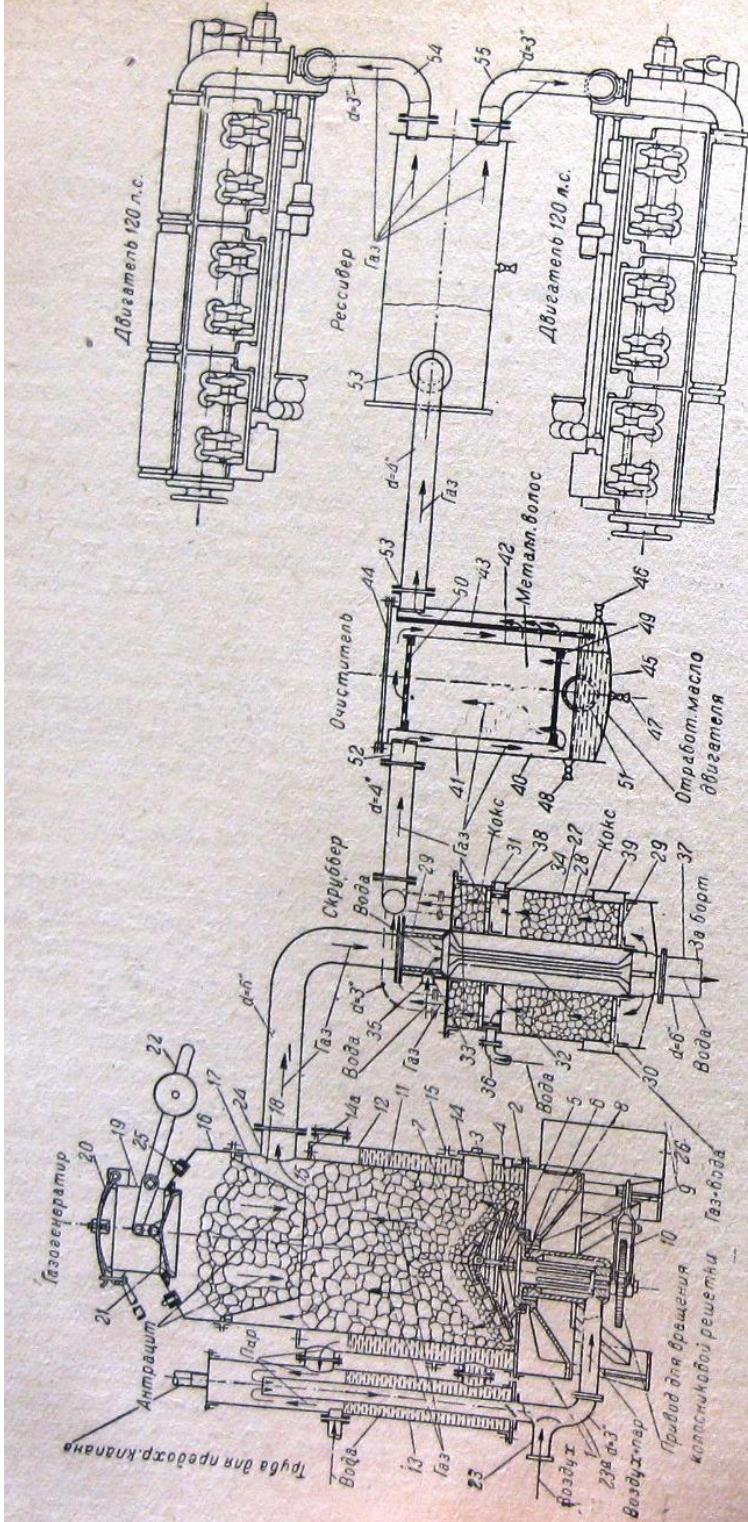


Рис. 66. Схема антрацитовой газогенераторной установки Техконбюро-1.

Колосниковая решетка 3 представляет собой ступенчатый конус, составленный из пяти чугунных колец 4, постепенно уменьшающегося диаметра, поставленных одно на другое и скрепленных стяжным болтом 5.

В целях лучшего разрыхления шлака, решетка снабжена ребрами 7, а кроме того, ей придан эксцентрикитет, т. е. геометрический центр решетки не совпадает с геометрической осью шахты.

Удаление золы производится механически, посредством лопастей 8, прикрепленных к основанию решетки 9, которые вместе с решеткой приводятся во вращательное движение от специального привода 10.

2. Топливник 11 имеет цилиндрическую форму и выполнен из листового железа толщиной в 6 мм.

Охлаждение топливника от колосниковой решетки до места отбора газа производится водой, находящейся между стенкой топливника и водяной рубашкой 12.

Получающийся водяной пар в рубашке используется на увлажнение воздуха для газификации.

В целях исключения разъедания железной рубашки воздухом, находящимся в питательной воде, включена уравнительная колонка 13, в которой происходит интенсивный подогрев сырой воды.

Люк 14 служит для шуровки генератора.

Водяная рубашка 12 посредством болтового соединения крепится на наружной стороне кольца 14 и фланцев 15. Благодаря такой конструкции, обеспечивается герметичность очистки внутренности кожуха рубашки и внешней стенки топливника от накипи и грязи.

Бункер 16 имеет цилиндрическую форму и изготавливается из 4-миллиметрового листового железа.

Чугунный конус 17 с толщиной стенки в 8 мм служит для создания полости 18, из которой отбирается газ при постоянном слое топлива в топливнике генератора.

Загрузочный аппарат. В верхней части бункера прикреплен цилиндр 19, включающий в себя загрузочные люки 20 и 21. Благодаря двойному затвору загрузочного аппарата, газогенератор можно свободно загружать во время работы, нисколько не влияя на мощность двигателя. Загрузка топлива в газогенератор производится следующим образом. Антрацит, предварительно засыпанный между двумя загрузочными люками цилиндра 19, попадает в генератор, когда верхний люк 20 герметически закрыт, а нижний люк (конус) 21 посредством рычага 22 открывается.

Помимо описанного, газогенератор имеет следующие детали: воздухоподводящий патрубок 23, паровоздухоподводящую трубу 23-а, газоотводящий патрубок 24, шуровочные отверстия с пробками 25 и зольниковую коробку 26.

Остальные детали газогенератора видны из рисунка.

Устройство скруббера. Скруббер состоит из двух цилиндров, внешнего 27 и внутреннего 28, изготовленных из

4-миллиметрового листового железа. В нижней части скруббера расположена решетка 29 на полках 30, а верхняя решетка 31 на полках 32. На эти решетки насыпается кокс размером 40×40 и 20×20 мм. На нижнюю решетку кокс насыпается в целях увеличения соприкосновения газа с водой, а на верхнюю в целях отделения капелек воды от газа.

Первичное охлаждение генераторного газа, поступающего во внутренний цилиндр 28, осуществляется посредством воды, выходящей из щелей 33.

Вторичное и окончательное охлаждение генераторного газа, поступающего из нижней части скруббера в верхнюю, через межкоксовые пространства, образующиеся между внешним цилиндром 27 и внутренним 28, осуществляется посредством противотока газа и воды, выходящей из щелей 34.

Вода к скрубберу подводится через патрубок 35 и 36, а отводится через патрубок 37.

Газ в скруббер подводится через патрубок $d = 150$ мм, а отводится через два патрубка, диаметром равным 75 мм.

Для чистки щелей 34 имеется десять люков 38, а для выгрузки кокса два люка 39.

Устройство очистителя. Очиститель состоит из кожуха 40, трех перегородок 41, 42 и 43, крышки 44, днища 45, двух спускных краников 46 и 47, контрольного краника 48, двух решеток 49 и 50, гря-

зевого люка 51, газоподводящего патрубка 52 и газоотводящего патрубка 53.

Кожух очистителя 40 имеет цилиндрическую форму и изготавливается из 3-миллиметрового листового железа.

Масло, налитое на дно очистителя, и очищающая масса, расположенная на решетке 49, служат для улавливания механических примесей, содержащихся в газе.

Устройство рессивера. Рессивер служит для уравнивания давления. Он имеет цилиндрическую форму, диаметр его равен 500 мм, высота H равна 1200 мм, толщина стенок равна 3 мм.

Газ подводится в рессивер по патрубку 53, а отводится через два патрубка 54 и 55 диаметрами в 75 мм.

Данная установка находится в настоящее время в стадии лабораторных испытаний.

§ 47. Антрацитовый газогенератор конструкции завода „Красный Дон“ для газоходов мощностью в 60 л. с.

Газогенератор (рис. 67) состоит из следующих основных деталей: зольник 1, футеровка дна зольника 2, дверца зольника 3, валик с подвижными колосниками 4, неподвижные колосники 5, рычаг для встряхивания колосников 6, тяга к рычагу второго колосникового валика 6-а, ограничитель рычага 7, топливник 8, футеровка 9, дверца топливника 10, газоотводная труба 11, паровоздушная труба 12, контрольная трубка 13, испаритель 14, питательный кран 15, дозатор топлива 16, бункер 17, загрузочный люк 18.

Направление движения воздуха и газа видно из рисунка.

Газогенератор конструкции завода „Красный Дон“ в настоящее время получил некоторое распространение на газоходах мощностью в 60 л. с.

Основные размеры газогенератора:

Высота общая	2500	мм.
Диаметр газогенератора	600	"
Диаметр топливника на уровне фурм	425	"

С газогенератором „Красный Дон“ устанавливается охладительная и очистительная система конструкции МСВ-84, которая описана на стр. 143—145.

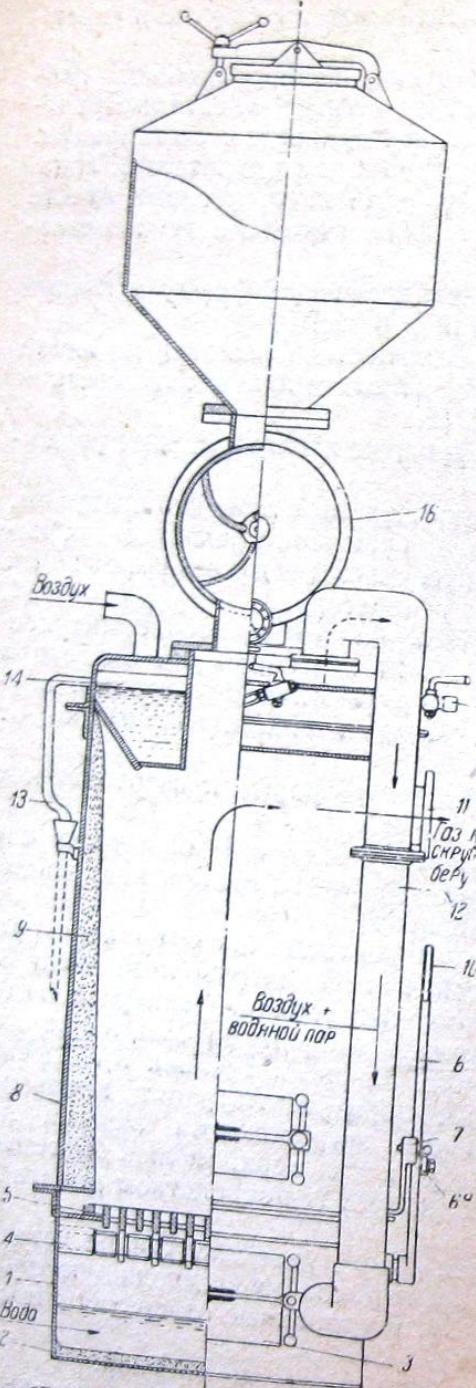


Рис. 67. Схема газогенератора завода „Красный Дон“.

Глава VI

ПЕРЕВОД АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА ГЕНЕРАТОРНЫЙ ГАЗ

§ 48. Общие сведения по двигателям внутреннего сгорания, которые переводятся с жидкого топлива на генераторный газ

Генераторными двигателями принято называть такие двигатели, которые работают на газе, полученном в газогенераторе из твердого топлива, изученного в предыдущих главах.

Образование рабочей смеси в газовых и газогенераторных двигателях осуществляется вне цилиндра, в смесителе.

Воспламенение генераторного газа в цилиндре двигателя внутреннего сгорания осуществляется, главным образом, с помощью электрического запала.

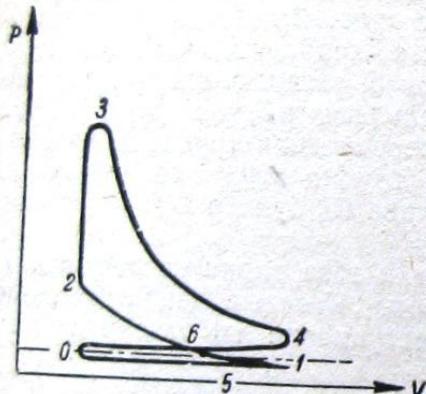
Индикаторной мощностью называется мощность, развиваемая газами в цилиндре двигателя и обозначается через N_i .

Площадь индикаторной диаграммы дает в определенном масштабе величину работы газов в цилиндре двигателя.

Рис. 68. Действительная индикаторная диаграмма четырехтактного двигателя.

На рис. 68 показана индикаторная диаграмма, где линия 0—1, представляющая длину диаграммы, дает в известном масштабе ход поршня. Кривая 1—2 изображает давление газов на поршень в течение хода сжатия, а кривая 3—4 изображает давление газов во время хода расширения. Площадь, ограниченная линией 014320, выражает положительную работу газов и обозначается знаком „плюс“. Площади 0510 и 01520, показывающие затрату части полезной работы на всасывание, сжатие и выталкивание газов из цилиндра двигателя, являются отрицательной работой и обозначаются знаком „минус“. Если сложить указанные площадки, то получим площадь, величина которой будет соответствовать полезной работе.

При замене полученной площади индикаторной диаграммы равновеликим четырехугольником с основанием, равным длине диаграммы 01, высота этого прямоугольника, выраженная в масштабе



давлений индикаторной диаграммы, определяет собой среднее индикаторное давление p_i в kg/cm^2 . Величина p_i среднего индикаторного давления определяется из выражения:

$$p_i = \frac{F}{\rho L}$$

или

$$p_i = \frac{h}{\rho}$$

где: F — площадь индикаторной диаграммы в mm^2 ,
 L — длина индикаторной диаграммы в мм ,
 ρ — масштаб пружины индикатора,
 h — средняя высота диаграммы.

Средняя высота диаграммы h определяется либо путем панелирования, либо по правилу Симпсона.

Правило Симпсона (рис. 69). Основание площади диаграммы делится на 10 равных частей.

Для удобства деления линии AB проводят под некоторым углом к ней линию AC , на которой откладывается 10 произвольных равных частей. Точку C соединяют с точкой B и проводят параллельные линии.

Проведя средние ординаты $h_1, h_2, h_3, h_4, \dots$, суммируют их длины и полученную сумму делят на 10.

Полученная величина = средней высоте диаграммы.

Определив h , находят p_i из выражения $p_i = \frac{h}{\rho}$.

Зная среднее индикаторное давление на поршень, можно определить индикаторную мощность.

Для определения индикаторной мощности примем следующие обозначения:

N_i — индикаторная мощность,

d — диаметр цилиндра в см ,

s — ход поршня в м ,

p_i — среднее индикаторное давление в kg/cm^2 ,

n — число оборотов коленчатого вала в минуту.

Работа газов в цилиндре двигателя за один рабочий ход поршня равна

$$\frac{\pi d^2}{4} s p_i \text{ кг м}$$

Работа четырехтактного двигателя в минуту равна

$$\frac{\pi d^2}{4} s p_i \frac{n}{2} \text{ кг м}$$

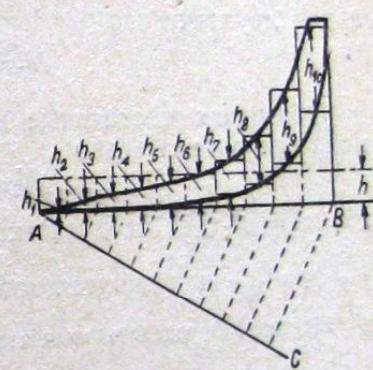


Рис. 69. Правило Симпсона.

а двухтактного в минуту

$$\frac{\pi d^2}{4} sp_i n \text{ кг м}$$

Работа четырехтактного двигателя в секунду

$$\frac{\pi d^2 sp_i n}{4 \cdot 2 \cdot 60} \text{ кг м}$$

двухтактного в секунду

$$\frac{\pi d^2 sp_i h}{4 \cdot 60} \text{ кг м}$$

Деля последние 2 выражения на 75 и умножая на число цилиндров i , равно как обозначая объем каждого цилиндра в литрах через $V_h = \frac{\pi d^2}{4 \cdot 10} s$, получаем

$$N_i = \frac{V_h p_i n i}{900} \text{ л. с.}$$

а для двухтактного

$$N_i = \frac{V_h p_i n i}{450} \text{ л. с.}$$

Обозначая постоянные величины V_h , i , 900 и 450 через c , получим окончательно

$$N_i = c p_i n \text{ л. с.}$$

где: $c = \frac{V_h i}{900}$ для четырехтактного двигателя

$c = \frac{V_h i}{450}$ для двухтактного двигателя.

Пример. Определить индикаторную мощность двигателя ЧТЗ, у которого

$$d = 165 \text{ мм}, s = 216 \text{ мм}, \quad p_i = 5,4 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, \quad n = 650 \text{ об/мин.}, \quad i = 4.$$

Подставляя эти данные в формулу индикаторной мощности, получаем

$$N_i = \frac{\pi d^2 p_i s n i}{4 \cdot 60 \cdot 75 \cdot 2} = \frac{3,14 \cdot 5,4 \cdot 16,5^2 \cdot 0,216 \cdot 650 \cdot 4}{4 \cdot 60 \cdot 75 \cdot 2} = 72 \text{ л. с.}$$

Эффективная мощность. Эффективной или полезной мощностью называется мощность, получаемая на валу двигателя. Отношение эффективной мощности N_e к индикаторной N_i называют механическим коэффициентом полезного действия и обозначают его через η_m . Следовательно

или

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{p_e}{p_i}$$

и

$$p_e = p_i \eta_m$$

$$N_e = N_i \eta_m$$

В полном соответствии с значением N_i можно написать выражение эффективной мощности в

$$N_e = \frac{d^2 sp_i n i \eta_m}{11500} \text{ л. с. для четырехтактного двигателя}$$

$$N_e = \frac{d^2 sp_i n i}{5750} \text{ л. с. для двухтактного двигателя}$$

а также в виде

$$N_e = c p_e n \text{ л. с.}$$

где: $c = \frac{V_h i}{900}$ для четырехтактного двигателя

и $c = \frac{V_h i}{450}$ для двухтактного двигателя.

Выведенные формулы индикаторной и эффективной мощностей дают возможность определить p_e , p_i и η_m , если известны N_e или N_i .

В табл. 46 приведены величины средних индикаторных и эффективных давлений для различного типа двигателей.

Таблица 46

Среднее индикаторное и эффективное давление при $\eta_m=0,8$

Типы двигателей	$p_i \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$	$p_e \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$
Генераторные двигатели	4,0—6,0	3,2—4,8
Двигатели доменного газа	4,0—5,0	3,2—4,0
Двигатели светильного газа	5,0—7,0	4,0—5,6
Бензиновые автомобильные	5,0—8,0	4,0—6,4
Керосиновые двигатели	4,0—5,0	3,2—4,0
Бескомпрессорные двигатели Дизеля	5,5—6,3	4,4—5,2

Коэффициенты полезного действия

Термический коэффициент полезного действия двигателя, работающего по циклу Отто. Термическим коэффициентом полезного действия называется отношение тепла, обращенного в работу, к подведенному теплу.

Термический коэффициент полезного действия выводится на основании следующих рассуждений.

Тепло, выделяемое во время горения равно

$$Q_1 = C_V (T_3 - T_2) \text{ кал.}$$

Тепло отведенное во время выхлопа

$$Q_2 = C_V (T_4 - T_1)$$

Количество тепла преобразованного в работу равно

$$Q = Q_1 - Q_2 = C_V (T_3 - T_2 - T_4 + T_1)$$

где: C_V — теплоемкость газа при постоянном объеме, T_1 , T_2 , T_3 и T_4 — температуры начала сжатия, конца сжатия, конца горения и конца расширения,

Q_1 и Q_2 — тепло, подведенное и отведенное за один цикл.

Следовательно, термический коэффициент полезного действия двигателя, работающего без потерь, будет

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{C_V(T_3 - T_2 - T_4 + T_1)}{C_V(T_2 - T_3)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Для дальнейшего преобразования этого уравнения воспользоваться уравнением адиабаты следует

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{или} \quad T_4 = \frac{T_1 T_3}{T_2}$$

откуда

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

но

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V}{V_c} \right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1} \quad \text{или} \quad \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}.$$

Следовательно

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

где:
 $k = \frac{C_p}{C_V} = 1,4$ — показатель адиабаты,
 $\varepsilon = \frac{V}{V_c}$ — степень сжатия.

Из этой формулы видно, что термический коэффициент полезного действия двигателя, работающего по циклу Отто (цикл быстрого сгорания), зависит только от степени сжатия ε и показателя адиабаты k ; причем, термический к. п. д. будет тем больше, чем выше степень сжатия и показатель адиабаты.

Полученный теоретический коэффициент полезного действия $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$ является предельным термическим коэффициентом полезного действия и может служить мерилом для сравнения коэффициентов полезного действия двигателей, работающих по циклу Отто.

Подсчитанные по этой формуле коэффициенты полезного действия в зависимости от степени сжатия даны в табл. 47 и на рис. 70.

Приведенная кривая термического коэффициента полезного действия показывает, что с увеличением степени сжатия экономичность двигателя возрастает. Однако в двигателях, работающих

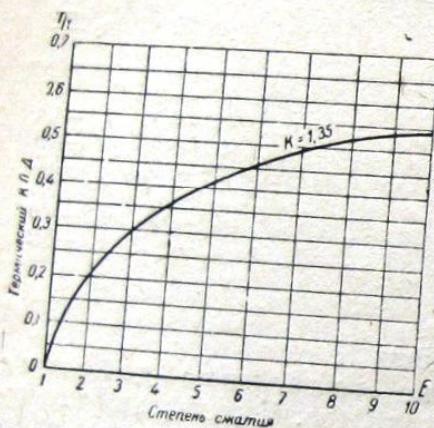


Рис. 70. Термический коэффициент полезного действия.

Таблица 47
Величина η_t для цикла Отто при различных ε и k

k	ε	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5	6	7	8	9	10
1,20		0,13	0,17	0,20	0,22	0,24	0,26	0,25	0,30	0,32	0,34	0,36	0,37
1,25		0,16	0,21	0,24	0,28	0,29	0,31	0,33	0,36	0,39	0,41	0,42	0,44
1,30		0,19	0,24	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38	0,42	0,41	0,46	0,48	0,50
1,35		0,22	0,27	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,47	0,49	0,52	0,54	0,55
1,40		0,25	0,31	0,36	0,40	0,43	0,46	0,48	0,52	0,55	0,57	0,59	0,61

по циклу Отто, повышать степень сжатия можно лишь до известного предела. Предел повышения степени сжатия обусловливается самовоспламенением применяемой рабочей смеси, максимальным давлением сгорания смеси и трудностью запуска двигателя в ход. Допускаемая степень сжатия в двигателях, работающих по циклу Отто в зависимости от применяемого топлива, представлена в табл. 48.

Коэффициент наполнения. Коэффициентом наполнения называется отношение веса смеси, засосанной в цилиндр двигателя за один всасывающий ход поршня, к теоретически возможному весу смеси в том же объеме при давлении 760 мм р. с. и температуре 0°.

Из рис. 71 видно, что в точке O , давление остаточных газов в цилиндре двигателя выше атмосферного на 0,1 атмосферы. Поэтому при всасывающем ходе поршня остаточные газы вначале будут расширяться по линии $O-I$ до атмосферного давления, т. е. до точки I .

При дальнейшем же ходе поршня от верхней мертвой точки (линия $I-2$) в цилиндре будет создаваться разрежение, благодаря которому в цилиндр будет поступать рабочая смесь и будет смешиваться с остаточными газами.

При достижении поршнем верхнего мертвого положения в цилиндре двигателя будет находиться G_h кг свежей смеси и G_c кг остаточных газов.

Следовательно, общий вес заряда будет равен

$$G = G_h + G_c$$

или, заменив G_h через $G_0 \eta_v$ из уравнения $G_h = \frac{G_0}{\eta_v}$, получаем

$$G = G_0 \eta_v + G_c$$

Таблица 48

Степень сжатия

Наименование топлива	Допускаемая степень сжатия
Бензин	5—7
Лигроин	3,8—4,2
Спирт	5—8
Нефть	3,5—4,5
Генераторный газ	6—10
Доменный газ	6—12

На основании характеристического уравнения $GRT = pV$ можем написать

$$G = \frac{pR}{RT}; \quad G_0 = \frac{p_0 V_h}{R_0 T_0} \eta_v; \quad G_c = \frac{p_c V_c}{R_c T_c}.$$

Подставляя полученные данные в уравнение, будем иметь

$$\frac{pV}{RT} = \frac{p_0 V_h}{R_0 T_0} \eta_v + \frac{p_c V_c}{R_c T_c}$$

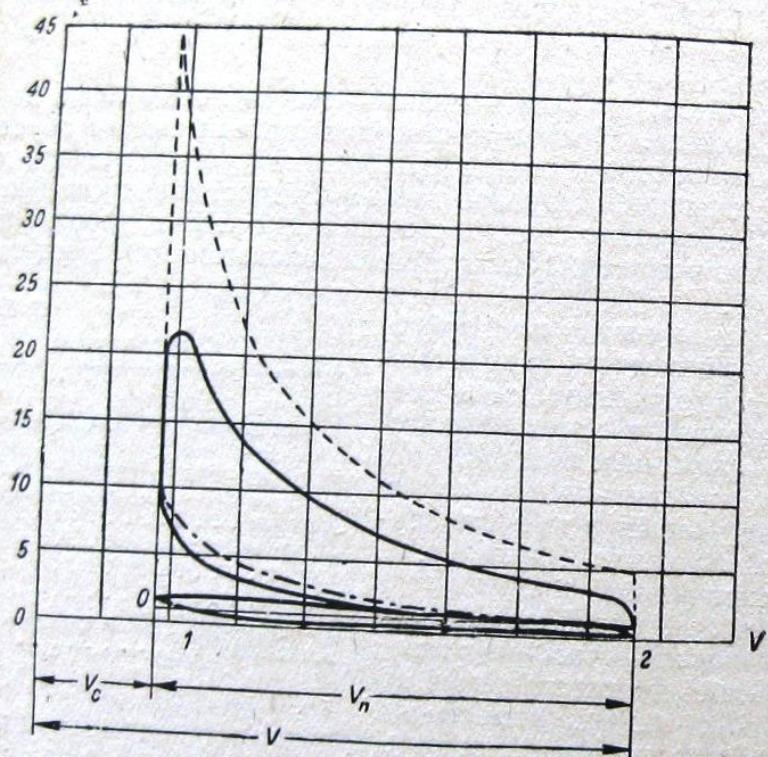


Рис. 71. Теоретическая и действительная индикаторная диаграмма.

Вследствие того, что характеристические постоянные R, R_0, R_c мало отличаются друг от друга, примем, что $R = R_0 = R_c$. Решив уравнение относительно η_v , получаем

$$\eta_v = \frac{p V T_0}{p_0 V_h T} - \frac{p_c V_c T_0}{p_0 V_h T_c}$$

где: p — давление газов в конце всасывания,
 p_0 — атмосферное давление,
 p_c — давление остаточных газов,
 $V = V_h + V_c$ — полный объем цилиндра,
 V_c — объем камеры сжатия,
 V_h — объем рабочей части цилиндра,

T_0 — абсолютная температура рабочей смеси перед поступлением в цилиндр,
 T — абсолютная температура в начале сжатия,
 T_c — абсолютная температура остаточных газов.

Так как

$$\varepsilon = \frac{V}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

и

$$\frac{V_h}{V_c} = \frac{V - V_c}{V_c} = \varepsilon - 1$$

то

$$V_h = V_c(\varepsilon - 1)$$

Следовательно

$$\frac{V}{V_h} = \frac{V}{V_c(\varepsilon - 1)} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}$$

и

$$\frac{V_c}{V_h} = \frac{V_c}{V_c(\varepsilon - 1)} = \frac{1}{\varepsilon - 1}$$

Подставляя эти значения в уравнение, получаем

$$\eta_v = \frac{p T_0}{p_0 T \varepsilon - 1} - \frac{p_c T_0}{p_0 T_c \varepsilon - 1} \frac{1}{\varepsilon - 1}$$

или

$$\eta_v = \frac{T_0}{p_0 \varepsilon - 1} \left(\frac{p}{T} \varepsilon - \frac{p_c}{T_c} \right)$$

Из уравнения видно, что коэффициент подачи (η_v) зависит от p, T, p_c, T_c и ε .

Коэффициент подачи будет увеличиваться с возрастанием p (давление в конце всасывания). Давление в конце всасывания определяется сопротивлением газогенераторной установки, газопровода, смесителя (у бензиновых двигателей карбюратора) и впускного клапана.

В бензиновых двигателях скорость смеси в впускных клапанах принимают не менее 30 м в сек. в целях надлежащего завихрения и хорошего сгорания и не выше 40—50 м в сек. во избежание значительного понижения давления в конце всасывания.

Падение давления во всасывающем коллекторе и в клапанах определится из формулы

$$v^2 = \frac{2g\Delta p}{\gamma} \quad \dots \dots \dots \quad (70)$$

отсюда

$$\Delta p = \frac{v^2 \gamma}{2g} \quad \dots \dots \dots \quad (71)$$

где: γ — удельный вес газа,
 $g = 9,81$,
 v — скорость смеси.

На рис. 72 приведены данные падения давления (разрежения) при различных скоростях газа для современного бензинового двигателя.

Температура газов в конце всасывания зависит от температуры рабочей смеси и температуры стенок цилиндра. Чем выше температура смеси и стенок цилиндра, тем меньше коэффициент наполнения.

Понижение давления конца выпуска газов (выхлопа) увеличивает коэффициент наполнения, так как весовое количество остаточных газов будет уменьшаться, а количество засосанной смеси будет возрастать. Величина давления конца выпуска отработавших газов зависит от сопротивлений в выпускном клапане, трубопроводе и глушителе.

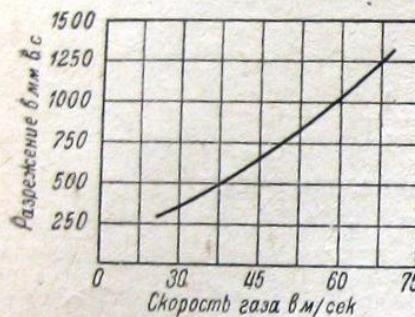


Рис. 72. Кривая потери среднего давления в зависимости от скорости газов.

работу, к теплу, подведенному к термическим коэффициентом полезного действия.

В действительном цикле количество использованного тепла в цилиндре двигателя определяется величиной индикаторной диаграммы. Индикаторным коэффициентом полезного действия называется отношение количества тепла, превращенного в работу в цилиндре двигателя за один час, ко всему подведенному теплу за это же время.

Индикаторный коэффициент полезного действия выражается формулой

$$\eta_i = \frac{632 N_i}{G_h Q_t} \quad (72)$$

где: 632 — тепловой эквивалент силы-часа,
 N_i — индикаторная мощность,
 G_h — расход топлива в час в кг,
 Q_t — теплотворная способность топлива в кал./кг

или

$$\eta_i = \frac{632}{G Q_t} \quad (73)$$

где G — расход топлива в кг на одну силу-час.

Индикаторный коэффициент полезного действия η_i показывает, насколько рабочий процесс двигателя приближается к теоретическому процессу $\dot{\eta}_t$ и может быть выражен произведением двух коэффициентов

$$\eta_i = \eta_t \eta_0 \quad (74)$$

где: η_t — термический коэффициент полезного действия,

η_0 — относительный коэффициент полезного действия.

Индикаторный коэффициент полезного действия так же, как и термический, зависит от степени сжатия, от состава смеси, числа оборотов и других факторов.

Кривые расхода топлива, полученные при испытании автомобильного двигателя мощностью в 18 л. с. при работе на 800 и 1000 оборотах в минуту представлены на рис. 73. Из кривых видно, что при уменьшении нагрузки до половины удельный расход увеличивается

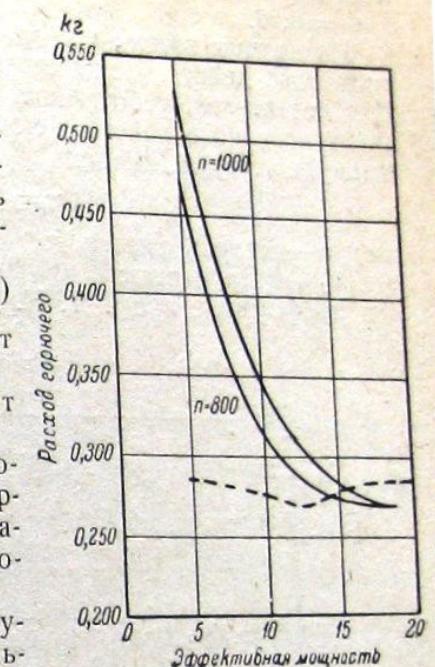


Рис. 73. Зависимость расхода топлива от нагрузки и числа оборотов.

до 50% , а при уменьшении нагрузки до одной трети удельный расход увеличивается до 60% .

Пунктирная кривая показывает примерный расход топлива в случае отсутствия влияния приведенных факторов.

На рис. 74 представлена кривая, показывающая изменение индикаторного коэффициента полезного действия в зависимости от коэффициента избытка воздуха. Из кривой видно, что индикаторный коэффициент полезного действия достигает максимума при $\alpha = 1,15$.

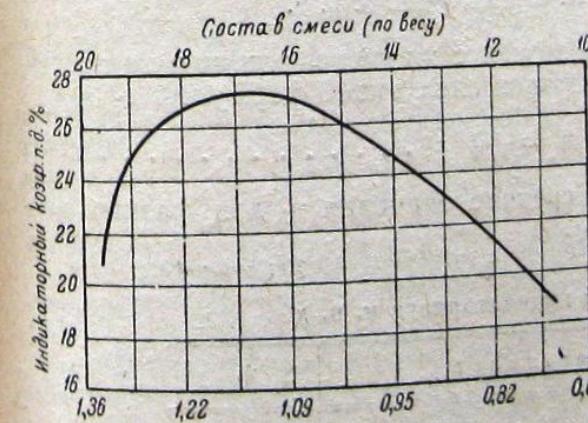


Рис. 74. Влияние коэффициента избытка воздуха на индикаторный к. п. д.

186

На рис. 75 представлены кривые *A*, *B* и *C*, показывающие изменение индикаторного коэффициента полезного действия в зависимости от степени сжатия и избытка воздуха $\epsilon_A = 4,71$, $\epsilon_B = 4,3$ и $\epsilon_C = 3,92$.

Из кривых видно, что максимум индикаторного коэффициента полезного действия смещается в сторону более бедных смесей. Для двигателей, работающих на бензине, индикаторный коэффициент полезного действия может определяться по эмпирической формуле Артура Джоджа

$$\eta_i = 3\epsilon + 15,8 \quad \dots \dots \dots \quad (75)$$

где: ϵ — степень сжатия,

η_i — в процентах;

или по формуле проф. Д. Н. Дьякова

$$\eta_i = \frac{1}{7} \sqrt{\epsilon} \quad \dots \dots \dots \quad (76)$$

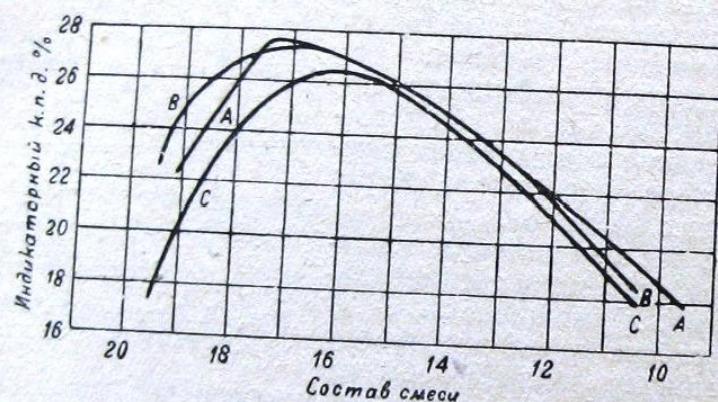


Рис. 75. Влияние степени сжатия и коэффициента избытка воздуха на индикаторный к. п. д.

Для двигателей, переводимых с жидкого топлива на генераторный газ, можно пользоваться следующей формулой

$$\eta_i = \frac{1}{9} \sqrt{\epsilon} \quad \dots \dots \dots \quad (77)$$

В табл. 49 приведены средние значения η_i для разных двигателей.

Таблица 49
Величины индикаторного к. п. д.

Тип двигателей	η_i
Газовые двигатели	0,25—0,30
Бензиновые двигатели	0,25—0,28
Бескомпрессорные дизели	0,43—0,48
Компрессорные дизели	0,39—0,43
Нефтяные	0,2—0,25

Относительный коэффициент полезного действия. Отношение действительной индикаторной диаграммы к теоретической индикаторной диаграмме называется относительным коэффициентом полезного действия или коэффициентом полноты диаграммы и выражается формулой

$$\eta_0 = \frac{F_i}{F_t} \quad \dots \dots \dots \quad (78)$$

где: F_i — площадь действительной индикаторной диаграммы, F_t — площадь теоретической индикаторной диаграммы.

Этот коэффициент показывает потерю работы газов действительного двигателя по отношению к идеальному и может быть представлен в виде отношения индикаторного коэффициента полезного действия к термическому

$$\eta_0 = \frac{\eta_i}{\eta_t} \quad \dots \dots \dots \quad (79)$$

Сказанное может иллюстрировать рис. 71, где представлены действительная индикаторная диаграмма, снятая с бензинового двигателя при степени сжатия $\epsilon = 4,7$ очерченная полной линией и теоретическая индикаторная диаграмма, вычисленная при постоянной теплоемкости, очерченная пунктирной линией.

Для цикла Отто относительный коэффициент полезного действия колеблется в пределах 0,6—0,7.

Механический коэффициент полезного действия. Мощность, получаемая в цилиндре двигателя N_i , не может быть полностью использована на валу машины, так как часть ее тратится на преодоление различных сопротивлений внутри цилиндра.

Обозначив через N_m мощность, расходуемую на преодоление механических потерь в двигателе в л. с., получаем $N_i - N_m = N_e$, где N_e — эффективная или полезная мощность, которая может быть использована на шкиве или на винте.

Отношение эффективной мощности двигателя к индикаторной называется механическим коэффициентом полезного действия и выражается следующей формулой

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{N_i - N_m}{N_i} = 1 - \frac{N_m}{N_i} \quad \dots \dots \dots \quad (80)$$

Из приведенной формулы видно, что с уменьшением индикаторной мощности механический коэффициент полезного действия уменьшается.

Произведение среднего индикаторного давления p_i на механический коэффициент полезного действия η_m называется эффективным давлением и выражается формулой

$$p_e = p_i \eta_m$$

или

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i}$$

Эффективный коэффициент полезного действия тепловых машин

Наименование машин	Эффективный коэффициент полезного действия в %	Примечание
Паровоз	4—8	
Электровоз	8—12	
Судовые паровые машины	9—15	
Судовые паровые турбины	12—15	
Современные паровые установки высокого давления	20—27	Давление пара
Дизеля	30—36	в котле 70—100
Автотракторные двигатели	18—25	атмосфер и тем-
Авиационные бензиновые двигатели	25—30	пература пара
Газовые двигатели	18—25	540°

В качестве примера вычислим эффективный коэффициент полезного действия двигателя ЧТЗ при

$$N_e = 60 \text{ л. с.}$$

$$g_h = 20 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{лигроин}} = 10500 \text{ кал./кг}$$

$$\eta_e = \frac{632 N_e}{g_h Q} = \frac{632 \cdot 60}{20 \cdot 10500} = 0,18 \text{ или } 18\%$$

§ 49. Характеристики двигателей

Величинами, характеризующими внешнюю работу двигателя, являются

N_e — эффективная мощность двигателя,

M_{kp} — крутящий момент,

n — число оборотов коленчатого вала в минуту.

Между этими величинами существует следующее соотношение

$$N_e = \frac{M_{kp} n}{761,2} \text{ л. с.}$$

$$M_{kp} = 716,2 \frac{N_e}{n} \text{ кгм}$$

Эффективная мощность N_e и крутящий момент M_{kp} для определенного типа двигателя и данной регулировки карбюратора являются функцией двух величин: открытия дросселя и числа оборотов коленчатого вала.

Характер кривых N_e и M_{kp} изменяется весьма сильно в разных двигателях и обусловливается, главным образом, фазами распределения, площадью сечения органов распределения и в сильной степени зависит от регулировки карбюратора.

Механический коэффициент полезного действия изменяется в зависимости от типа двигателя от 0,75 до 0,90.

На рис. 76 и 77 приведены значения η_m в зависимости от числа оборотов.

Эффективный коэффициент полезного действия. Выхлопные газы и охлаждающая цилиндр вода уносят с собой от 60 до 75% теплоты, выделяемой при сжигании топлива в цилиндре.

Степень совершенства превращения тепла в полезную работу определяется эффективным или экономическим коэффициентом полезного действия.

Эффективным или экономическим коэффициентом полезного действия называется отношение количества тепла, превращенного в полезную работу на валу двигателя, ко всему подведенному теплу

$$\eta_e = \frac{632 N_e}{g_h Q_t} \quad (81)$$

Рис. 76. Зависимость механического к. п. д. от числа оборотов.

где: 632 — тепловой эквивалент силы-часа,

N_e — эффективная мощность двигателя,

g_h — расход топлива в час в кг,

Q_t — теплотворная способность топлива в кал./кг

или

$$\eta_e = \frac{632}{g Q_t}$$

где: g — расход топлива в час кг на одну лошадиную силу-час.

Эффективный коэффициент полезного действия учитывает не только тепловые, но и механические потери.

Эффективный коэффициент полезного действия может быть выражен также произведением трех коэффициентов

$$\eta_e = \eta_i \eta_o \eta_m$$

или

$$\eta_e = \eta_i \eta_m$$

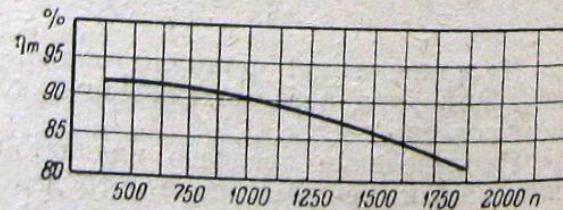


Рис. 77. Зависимость механического к. п. д. от числа оборотов.

Для наглядности и сравнения ниже приведен эффективный коэффициент полезного действия различных тепловых машин.

Внешняя характеристика. Эффективная мощность двигателя, соответствующая полному открытию дросселя и представленная как функция числа оборотов двигателя, называется внешней характеристикой двигателя.

Современные двигатели имеют следующие две типичные характеристики: форсированного мотора и нормального мотора.

Форсированный мотор работает на мощности, близкой к максимальной и кривая характеристики его забегает круто, с большим крутящим моментом в пределах больших оборотов.

Нормальный мотор типа тракторного и грузового автомобиля имеет плавную характеристику, а максимум крутящего момента лежит в пределах средней мощности двигателя.

Рис. 78. Мощность и крутящие моменты.

На рис. 78 представлены типичные внешние характеристики и их крутящие моменты.

На рис. 79 представлены примерные характеристики нормального двигателя, крутящий момент, удельные расходы топлива и коэффициенты полезного действия.

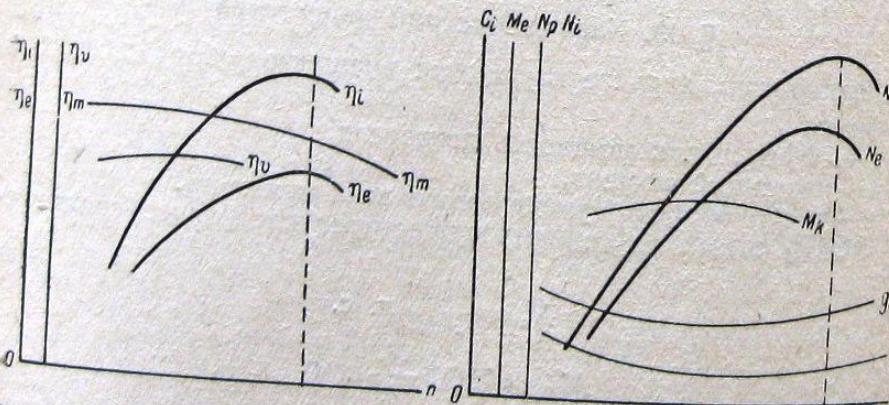


Рис. 79. Внешние характеристики нормального двигателя, крутящий момент, удельные расходы топлива и коэффициент полезного действия.

На рис. 80, 81 и 82 приведены внешние характеристики, крутящие моменты, удельные и часовые расходы топлива двигателей ЧТЗ, СТЗ, ЗИС-5.

Дроссельная характеристика. Эффективная мощность двигателя, соответствующая определенному открытию дросселя

при определенной нагрузке и представленная как функция числа оборотов, называется дроссельной характеристикой двигателя.

На рис. 83 приведены дроссельные характеристики для полного открытия, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ открытия дросселя.

Регуляторная характеристика. Для автоматического поддержания постоянного числа оборотов коленчатого вала

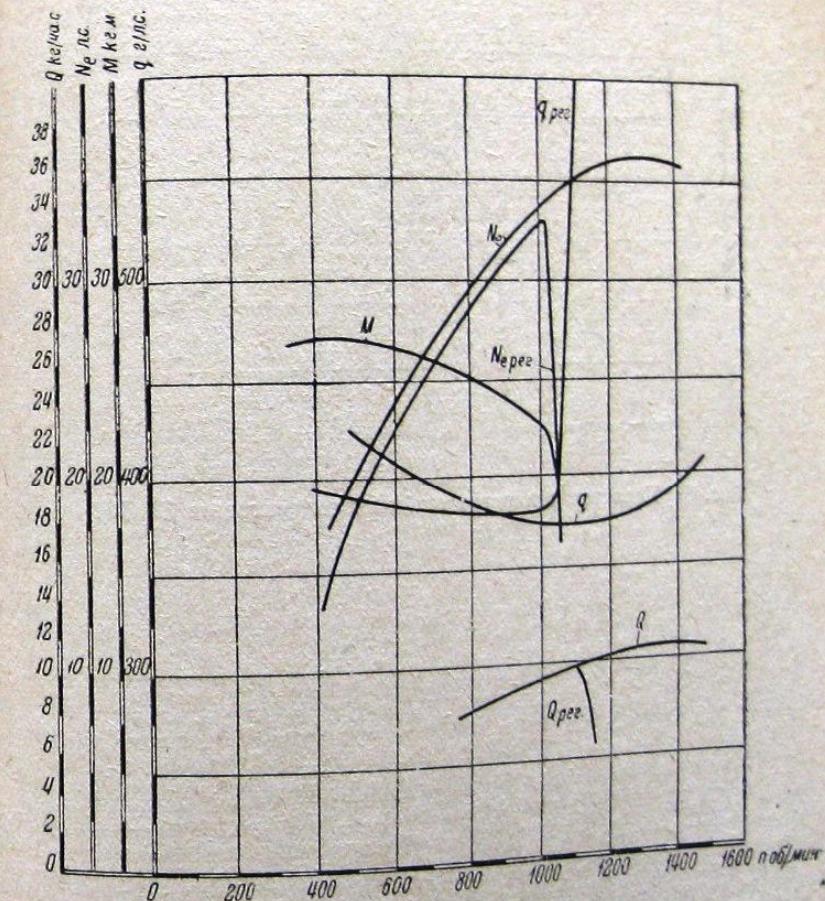


Рис. 80. Характеристика тракторного двигателя СТЗ.

устанавливается регулятор. На рис. 84 показана типичная кривая мощности при работе двигателя с регулятором. Действуя на степень открытия дросселя, регулятор поддерживает на холостом ходу и на неполной нагрузке постоянное число оборотов. При известной нагрузке двигатель развивает наибольшую мощность и достигает оборотов $n_{\text{в}}$, после чего прекращается действие регулятора, а дроссель при этом открыт полностью. При дальнейшем повышении нагрузки мощность резко падет до полной остановки. При полной нагрузке двигатель несколько превышает

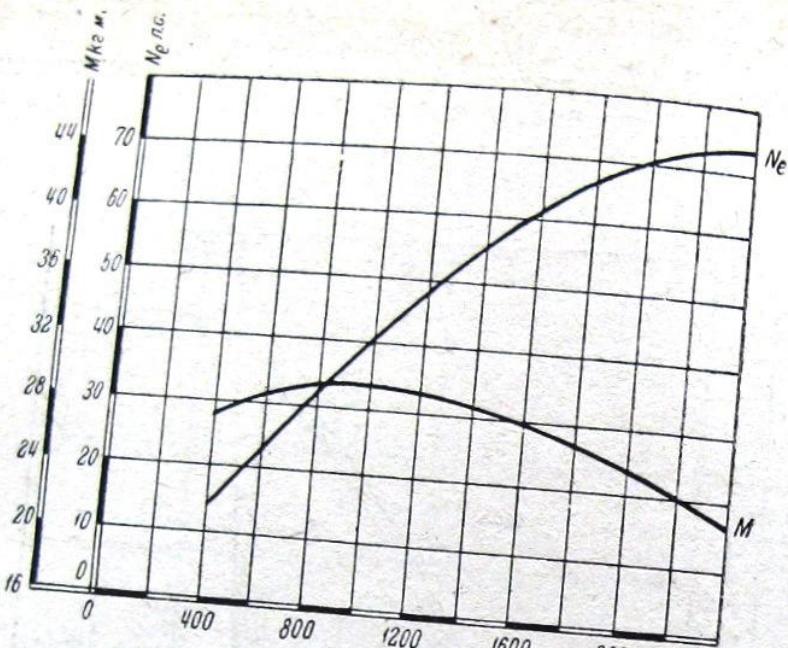


Рис. 81. Характеристика автомобильного двигателя ЗИС-5.

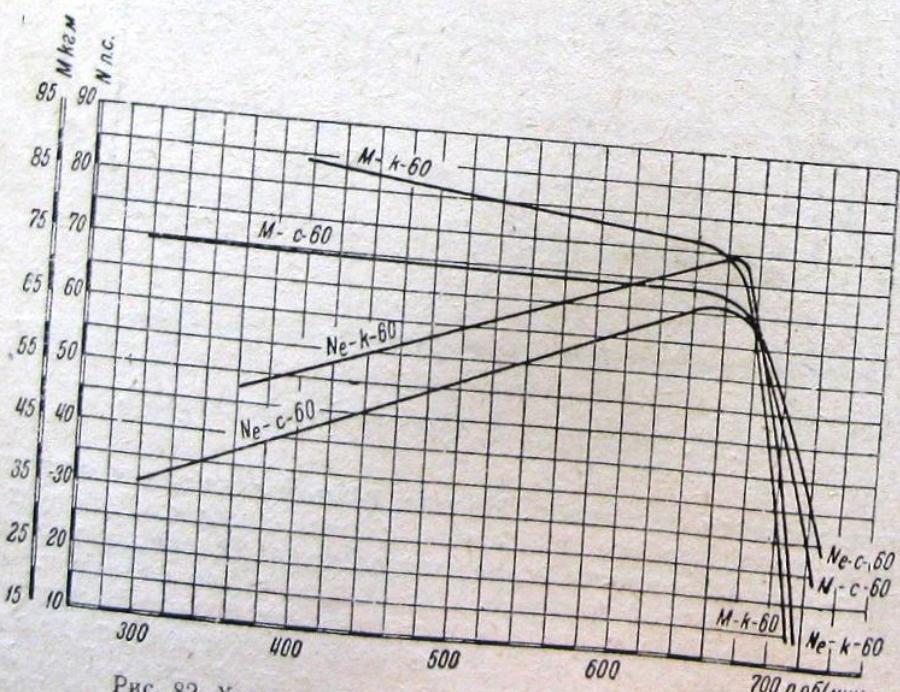


Рис. 82. Характеристика тракторного двигателя ЧТЗ и Каттерпиллер.

расчетное число оборотов. Разница между оборотами n_e и n_p зависит от чувствительности регулятора. Чем совершеннее регулятор, тем меньший интервал дает он между указанными числами оборотов. Регуляторная характеристика снимается при наивыгоднейшей регулировке двигателя.

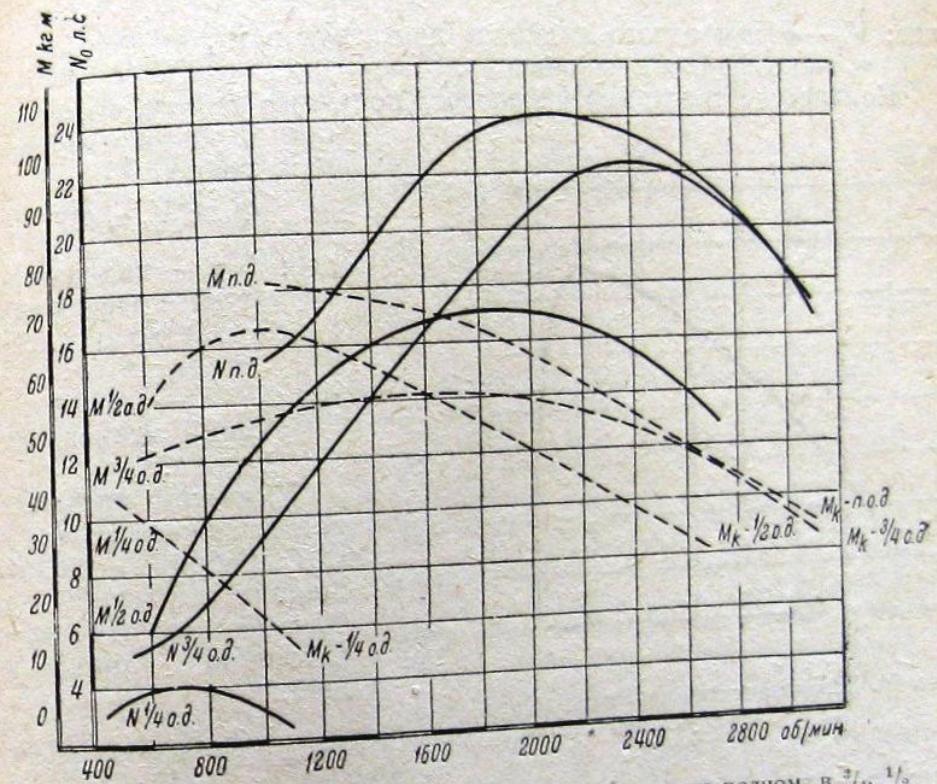


Рис. 83. Кривая мощности и крутящих моментов при полном, в $\frac{3}{4}$ и $\frac{1}{4}$ открытии дросселя.

§ 50. Факторы, определяющие эффективную мощность двигателя при переводе его на газ

При переводе двигателей внутреннего сгорания с жидкого топлива (бензин, лигроин и керосин) на генераторный газ без каких-либо переделок происходит потеря мощности на 25—50%.

В целях выяснения факторов, обуславливающих эти потери, надо составить уравнение эффективной мощности двигателя,

в котором содержатся искомые факторы.

Теплотворная способность 1 м³ газовой смеси определяется по формуле

$$Q_{cm} = \frac{Q_r}{1 + aL_0}$$

где: Q_c — теплотворная способность газа,
 α — коэффициент избытка воздуха,

L_0 — теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 м³ газа.

За один всасывающий ход поршня поступает количество тепла

$$Q_{cm} V_h \eta_v$$

где: V_h — объем одного цилиндра двигателя в м³,
 η_v — коэффициент наполнения.

Количество тепла, перешедшего в полезную работу, выраженное в килограмм-метрах, равно

$$Q_{cm} V_h \eta_v \eta_i 427$$

где: η_i — индикаторный коэффициент полезного действия, 427 — механический эквивалент тепла.

Умножив полученное выражение на число рабочих ходов поршня и разделив на 60 и 75, получим индикаторную мощность двигателя

$$N_i = \frac{Q_{cm} V_h \eta_v \eta_i 427 n m}{60 \cdot 75}$$

Рис. 84. Характеристика двигателя при работе его с регулятором.

где: n — число оборотов двигателя в минуту, m — коэффициент тактности, который для четырехтактных двигателей равен $\frac{1}{2}$, а для двухтактных равен 1.

Индикаторная мощность многоцилиндрового двигателя будет равна

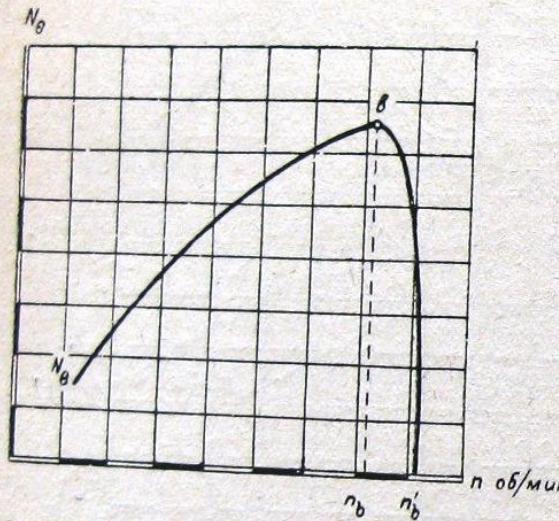
$$N_i = \frac{Q_{cm} V_h \eta_v \eta_i 427 n m i}{60 \cdot 75}$$

где i — число цилиндров.

Умножив выражение индикаторной мощности на механический коэффициент полезного действия η_m , получим уравнение эффективной мощности

$$N_e = \frac{427 V_h n m i Q_{cm} \eta_v \eta_i \eta_m}{60 \cdot 75}$$

Обозначим η_i через $\eta_o \eta_t$, Q_{cm} через $\frac{Q_r}{1 + \alpha L_0}$ и постоянные величины $\frac{427 n m i}{60 \cdot 75}$ через k .



Тогда уравнение эффективной мощности может быть выражено в следующем виде

$$N_e = k V_h \frac{Q_r}{1 + \alpha L_0} \eta_v \eta_t \eta_m \text{ л. с.}$$

Из этого выражения видно, что эффективная мощность двигателя зависит от теплотворной способности газа, коэффициента наполнения, от термического, механического и относительного коэффициентов полезного действия, а также и от коэффициента избытка воздуха.

Таким образом основными факторами, определяющими потерю мощности двигателя, как это видно будет из дальнейших рассуждений, являются:

- 1) Более низкая теплотворная способность газовой смеси.
- 2) Пониженный коэффициент наполнения двигателя.
- 3) Пониженный механический коэффициент полезного действия двигателя.

Кроме того на падение мощности влияет еще и сокращение объема продуктов сгорания газовой смеси.

Рассмотрим влияние каждого из перечисленных факторов в отдельности.

Влияние теплотворной способности рабочей смеси на мощность двигателя. Мощность двигателя зависит от теплотворной способности не самого топлива, а от теплотворной способности смеси этого топлива с воздухом в пропорции, обеспечивающей полное сгорание.

Различные легкие и жидкие топлива (бензин, лигроин и спирт) в надлежащей смеси с воздухом имеют почти одинаковые теплотворные способности на единицу объема.

Для жидкого топлива (без учета объема самого топлива) теплотворная способность 1 м³ теоретической смеси выражается формулой

$$Q_t^* = \frac{Q_t}{L_0} \text{ кал./м}^3$$

а действительной рабочей смеси формулой

$$Q_d^* = \frac{Q_d}{\alpha L_0} \text{ кал./м}^3$$

где: Q_t^* — теплотворная способность 1 м³ теоретической смеси, Q_d^* — теплотворная способность 1 м³ действительной смеси, Q_j — низшая теплотворная способность 1 кг жидкого топлива в кал., L_0 — теоретическое необходимое количество воздуха в кубических метрах для сгорания 1 кг топлива, α — коэффициент избытка воздуха.

Для газообразного топлива теплотворная способность 1 м³ теоретической смеси выражается формулой

$$Q_t^r = \frac{Q_r}{1 + L_0} \text{ кал.}$$

а действительной рабочей смеси формулой

$$Q_d^r = \frac{Q_r}{1 + \alpha L_0} \text{ кал.}$$

где: Q_r — низшая теплотворная способность 1 м³ газа,
 Q_t^r — теплотворная способность 1 м³ теоретической смеси газа с воздухом,

Q_d^r — теплотворная способность 1 м³ действительной смеси газа с воздухом.

Применимость газа в двигателях внутреннего сгорания характеризуется не только его теплотворной способностью, но и его составом. Газ, не содержащий водорода, не воспламеняется в цилиндрах двигателя, а газ, содержащий незначительный процент водорода (1—2%), горит в цилиндрах медленно.

Практикой установлено, что чем больше водорода в генераторном газе, тем выше скорость сгорания газа в цилиндре двигателя. В настоящее время не установлена еще зависимость между мощностью двигателя и оптимальным содержанием водорода в газе при одной и той же теплотворной способности газа, не установлена еще также и зависимость между оптимальным процентом содержания водорода и допустимой степенью сжатия.

Оставляя в стороне вопрос о влиянии отдельных компонентов газа на мощность двигателя, подсчитаем, какова будет мощность при переходе с жидкого топлива на генераторный газ, полученный из различных сортов топлива и при различных условиях газификации.

При этих подсчетах мы исходим из того, что

1) коэффициент наполнения двигателя остается неизменным, т. е. что газовая и бензино-лигроиновая смеси протекают по газопроводу при одинаковой температуре и при одинаковом разрежении и 2) водяные пары в газе отсутствуют.

Не учитывая вышеуказанных факторов, вычислим падение мощности двигателя в зависимости от понижения теплотворной способности смеси. Для примера возьмем состав газа следующих пяти вариантов:

Состав газа в % по объему

	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	N ₂
I	14,6	0,3	9,5	10,5	3,20	0,2	61,7
II	13,6	0,3	12,1	11,1	3,75	0,2	58,96
III	9,3	0,4	19,5	14,2	3,52	0	53,02
IV	7,0	0,0	27,0	17,0	2,5	0	56,5
V	6,7	0,3	29,5	17,5	2,80	0,38	42,82

Теплотворная способность газа вычисляется по формуле

$$Q_r = 3045 \text{ CO} + 2580 \text{ H}_2 + 8590 \text{ CH}_4 + 14300 \text{ C}_2\text{H}_6 \text{ кал.}$$

Подставляя в формулу соответствующие значения из таблицы, получаем

$$1. Q = 3045 \cdot 0,095 + 2580 \cdot 0,105 + 8590 \cdot 0,032 + 14300 \cdot 0,002 = \\ = 837 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

По аналогии

$$2. Q_r = 977 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

$$3. Q_r = 1262 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

$$4. Q_r = 1487 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

$$5. Q_r = 1647 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

Теоретическое количество воздуха, необходимое для сжигания 1 м³ газа, определяется по формуле

$$L_0 = \frac{1}{0,21} [0,5(\text{CO} + \text{H}_2) + 2\text{CH}_4 + 3\text{C}_2\text{H}_6 - 0^r_2] \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{1\text{м}^3 \text{ газа}}$$

Подставляя в формулу цифровые значения CO, H₂, CH₄, C₂H₆, получаем

$$1. L_0 = \frac{1}{0,21} [0,5(0,095 + 0,105) + 2 \cdot 0,032 + 3 \cdot 0,002 - 0,003] = \\ = 0,795 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

Аналогично

$$2. L_0 = 0,924 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$3. L_0 = 1,119 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$4. L_0 = 1,286 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

$$5. L_0 = 1,426 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

Теплотворная способность 1 м³ теоретической смеси определяется по формуле

$$Q_t^r = \frac{Q_r}{1 + L_0} \text{ кал.}$$

Подставляя вышесказанные значения для L_0 , получаем

$$1. Q_t^r = \frac{827}{1 + 0,795} = 466 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

По аналогии

$$2. Q_r^r = 508 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

$$3. Q_r^r = 596 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

$$4. Q_r^r = 650 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

$$5. Q_r^r = 680 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

Далее произведем подсчет теплотворной способности бензиновой и лигроиновой смеси при теоретически необходимом количестве воздуха для сгорания 1 кг указанных топлив.

Состав бензина и лигроина принимаем следующий:

бензин	лигроин
$C = 84,8\%$ по весу	$C = 85,3\%$ по весу
$H = 15,16\%$ "	$H = 14,1\%$ "
$O = 0,04\%$ "	$O = 0,6\%$ "

Низшая теплотворная способность указанных топлив определяется по формуле Менделеева

$$Q_n^* = 81C + 300H - 26(0 - S) - 6(w_p + 9H) \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

Подставляя принятые значения С, Н и О в данную формулу, получаем:
для бензина

$$Q_{n6}^* = 81 \cdot 84,8 + 300 \cdot 15,16 - 26 \cdot 0,04 - 6(0 + 9 \cdot 15,16) = 10800 \frac{\text{кал.}}{\text{кг}}$$

для лигроина

$$Q_{n11}^* = 81 \cdot 85,3 + 300 \cdot 14,1 - 26 \cdot 0,6 - 6(0 + 9 \cdot 14,1) = 10365 \frac{\text{кал.}}{\text{кг}}$$

Необходимое теоретическое количество воздуха для сжигания 1 кг жидкого топлива определяется по формуле

$$L_o^* = \frac{2,67C + 8H + S - O}{23,2 \cdot 1,293} \frac{\text{м}^3 \text{ воздуха}}{1 \text{ кг жидк. топлива}}$$

где: 23,2 — весовое содержание кислорода в воздухе,
1,293 — вес 1 м³ воздуха при 0° и 760 мм р. с.
Подставляя цифровые значения С, Н и О, получаем:
для бензина

$$L_{o6}^* = \frac{2,67 \cdot 84,8 + 8 \cdot 15,16 - 0,04}{23,2 \cdot 1,293} = 11,6 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

для лигроина

$$L_{o11}^* = \frac{2,67 \cdot 85,3 + 8 \cdot 14,1 - 0,6}{23,2 \cdot 1,293} = 11,37 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Теплотворная способность 1 м³ теоретической смеси для жидких топлив определяется по формуле

$$Q_t^* = \frac{Q_n^*}{L_o} \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

Подставляя в данную формулу вычисленные значения Q_n^* и L_o , получаем:
для бензина

$$Q_{t6}^* = \frac{10800}{11,6} = 930 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

для лигроина

$$Q_{t11}^* = \frac{10365}{11,37} = 910 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

Из приведенного подсчета видно, что теплотворные способности смеси бензина и лигроина при равных условиях (при одинаковой температуре и давлении) почти одинаковы.

Вследствие подогрева лигроиновой смеси (подогрев производится с целью предупреждения конденсации лигроина на стенах цилиндров и стекания его в картер) мощность двигателя обычно снижается на 10—20% по сравнению с мощностью при работе на бензине. Принимая температуру подогрева лигроиновой смеси равной 40°, теплотворная способность ее определится из следующего выражения

$$Q_{tl}^* = Q_{t11}^* \frac{T_0}{T} = 910 \cdot \frac{273}{313} = 794 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

Сравнение полученных данных с бензином дает следующие результаты

1. $\frac{Q_r}{Q_{t6}^*} = \frac{466}{930} = 0,5$, т. е. потеря мощности по сравнению с мощностью при работе на бензине составляет 50%

По аналогии

2. $\frac{Q_r}{Q_{t6}^*} = 0,54$, т. е. потеря мощности по сравнению с мощностью при работе на бензине составляет 46%

3. $\frac{Q_{t6}}{Q_{t6}^*} = 0,64$, т. е. потеря мощности по сравнению с мощностью при работе на бензине составляет 36%

4. $\frac{Q_r}{Q_{t6}^*} = 0,70$, т. е. потеря мощности по сравнению с мощностью при работе на бензине составляет 30%

5. $\frac{Q_r}{Q_{t6}^*} = 0,75$, т. е. потеря мощности по сравнению с мощностью при работе на бензине составляет 27%

По отношению к лигроину имеем

1. $\frac{Q_r}{Q_{tl}^*} = \frac{466}{794} = 0,59$, т. е. потеря мощности по сравнению с мощностью при работе на лигроине составляет 41%

По аналогии

2. $\frac{Q_r}{Q_{tl}^*} = 0,63$, т. е. потеря мощности по сравнению с мощностью при работе на лигроине составляет 37%

3. $\frac{Q_r}{Q_{tl}^*} = 0,75$, т. е. потеря мощности по сравнению с мощностью при работе на лигроине составляет 25%

4. $\frac{Q_r}{Q_{tl}^*} = 0,82$, т. е. потеря мощности по сравнению с мощностью при работе на лигроине составляет 18%

5. $\frac{Q_r}{Q_{tl}^*} = 0,86$, т. е. потеря мощности по сравнению с мощностью при работе на лигроине составляет 14%

Результаты подсчета сведены в табл. 51.

Таблица 51

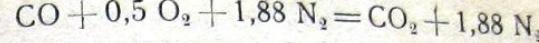
Зависимость мощности двигателя от теплотворной способности смеси при $\alpha = 1$

	Теоретическое количество воздуха L_0 при $\alpha = 1$	Теплотворная способность		Мощность двигателя на газе в % от		Потеря мощности в % по отношению	
		бензина, лигроина и газа	смеси	мощн. на бензине	мощн. на лигроине	к мощн. на бензине	к мощн. на лигроине
Бензин	11,60	10 800	930	100	—	—	—
Лигроин	11,37	10 365	910—794	85	—	—	—
Газ вариант № 1	0,795	837	466	50	59	50	41
" № 2	0,924	977	508	54	63	46	37
" № 3	1,119	1 262	596	64	75	36	25
" № 4	1,286	1 487	650	70	82	30	18
" № 5	1,426	1 647	680	73	86	27	14

Из приведенного подсчета видно, что потеря мощности вследствие уменьшения теплотворной способности газовой смеси по отношению к мощности на бензине может колебаться в пределах от 27 до 50%, а по отношению к мощности на лигроине от 14 до 41%.

Для выяснения влияния отдельных горючих компонентов газа на мощность двигателя необходимо вычислить теплотворную способность смеси с теоретически необходимым количеством воздуха для CO, H₂, CH₄ и C₂H₄.

Сгорание CO происходит по реакции



т. е. для сгорания 1 м³ CO, требуется 0,5 м³ кислорода и 1,88 м³ азота или 2,38 м³ воздуха.

Следовательно, теплотворная способность 1 м³ смеси CO, с теоретически необходимым количеством воздуха определяется по формуле

$$Q_{cm}^{CO} = \frac{Q_{CO}}{1 + L_0} = \frac{3045}{1 + 2,38} = 900 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

где 3045 — теплотворная способность 1 м³ CO.

Производя точно такие же расчеты для остальных горючих компонентов, находим

$$\text{для } H_2 \quad Q_{cm}^{H_2} = 763 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

$$\text{для } CH_4 \quad Q_{cm}^{CH_4} = 816 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

$$\text{для } C_2H_4 \quad Q_{cm}^{C_2H_4} = 936 \frac{\text{кал.}}{\text{м}^3}$$

Для наглядности в табл. 52 сведены результаты подсчета.

Таблица 52

Теплотворная способность газов и смесей

Наименование газа	Химическая формула	Низкая теплотворная способность газа при 0° и 760 мм р. с.	Теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 м ³ газа при 0° и 760 мм р. с. ($\alpha = 1$)	Низкая теплотворная способность 1 м ³ смеси при 0° и 760 мм р. с.
Оксись углерода	CO	3 045	2,38	900
Водород	H ₂	2 580	2,38	763
Метан	CH ₄	8 590	9,52	816
Этилен	C ₂ H ₄	14 300	14,28	936

Приведенные расчеты дают представление о выгодности соответствующих компонентов генераторного газа со стороны теплотворной способности смеси, а следовательно, и мощности двигателя. Эта таблица показывает, что наиболее выгодным компонентом генераторного газа является C₂H₄ и CO, а наименее выгодным — CH₄ и H₂, но так как содержание в газе CH₄ не превышает 1—3%, а содержание C₂H₄ не выше 0,3—1%, то режим газогенератора следует вести с расчетом получения наибольшего количества CO и наименьшего H₂. Не следует, однако, забывать, что при незначительном содержании водорода в газе скорость сгорания смеси в цилиндре двигателя уменьшается.

В цилиндре двигателя скорость сгорания водорода в 12 раз больше скорости сгорания бензина.

Влияние коэффициента наполнения на мощность двигателя.
Коэффициентом наполнения называется отношение веса смеси, действительного засосанной в цилиндр двигателя за 1 всасывающий ход поршня, к весу смеси, заполняющей рабочий объем цилиндра при температуре $T_0 = 273$ и давлении $p_0 = 760$ мм р. с.

Это отношение, или весовой заряд рабочей смеси, будет тем выше, чем ниже температура газовой смеси, поступающей в цилиндры двигателя, и чем меньше сопротивление прохождению газа.

Поэтому генераторный газ и рабочая смесь перед поступлением в цилиндры должны быть хорошо охлаждены, а сопротивление газогенераторной установки и смесителя должны быть сведены к минимуму.

Мощность двигателя на газе N_f по отношению к мощности на жидкому топливу N_k в зависимости от температуры рабочей смеси и разрежения во всасывающем коллекторе может быть выражена следующей формулой

$$N_f = N_k \frac{p_g T_k}{p_g T_g}$$

где: N_k — мощность двигателя на жидкому топливу,
 p_g — давление всасывания на газе,
 p_k — давление всасывания на жидкому топливу,
 T_k — абсолютная температура смеси, соответствующая жидкому топливу,

T_g — абсолютная температура смеси на газе.
На рис. 85 представлена кривая A показывающая влияние степени нагрева рабочей смеси на величину падения мощности двигателя. Кривая построена на основании формулы для N_f при допущении $\frac{p_g}{p_k} = 1$ и $T_k = 298^\circ$.

Из приведенной кривой видно, что при температуре рабочей смеси в 30° потеря мощности составляет 5% , а при температуре 60° она достигает уже 13% .

В действительных условиях потеря мощности будет значительно больше тех величин, которые приведены вследствие того,

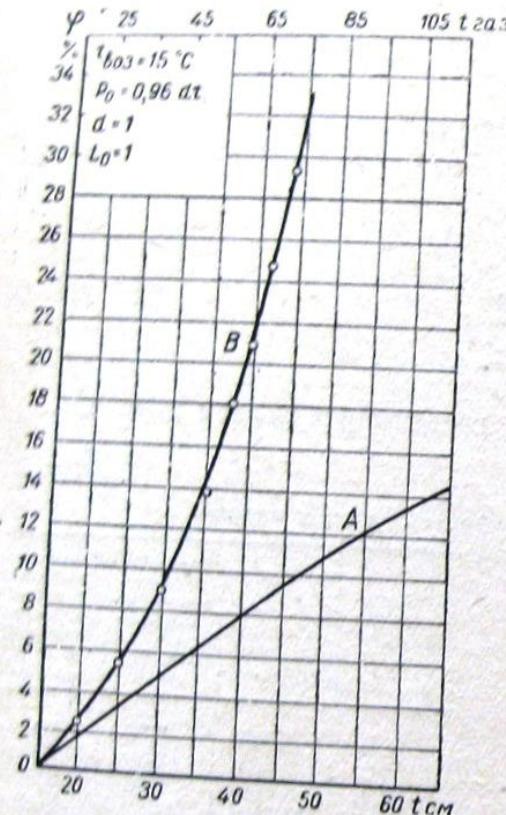


Рис. 85. Влияние степени нагрева рабочей смеси на величину падения мощности двигателя.

что генераторный газ всегда содержит водяные пары, количество которых обуславливается его температурой.

На рис. 85 кривая B показывает потерю мощности двигателя в зависимости от температуры нагрева рабочей смеси с учетом паров воды, содержащихся в газе. Кривая, приведенная на рис. 85, вычислена инж. Мезиным по формуле

$$\Delta N_e = 100 \cdot \left(1 - \frac{605}{(283 + t_{cm})(2,9122 + \omega)} \right)$$

где: ΔN_e — процентное падение мощности двигателя,

$$t_{cm} = \frac{15 + t_r}{2}$$

— температура рабочей смеси,

15 — температура воздуха,

t_r — температура газа,

$$\omega = \frac{V_{\text{пар}}}{V_g}$$

— отношение объема пара к объему газа.

Влияние разрежения во всасывающем коллекторе двигателя на его мощность представлено на рис. 86. Эти данные получены при испытании двигателя ХТЗ в газогенераторной лаборатории НАТИ, путем дросселирования рабочей смеси, поступающей в двигатель.

Из кривой видно, что мощность двигателя возрастает с уменьшением разрежения и получена равной $N_e = 28,5$ л. с. при разрежении во всасывающем коллекторе двигателя $h = 435$ мм водяного столба.

Влияние механического коэффициента полезного действия на мощность двигателя. Мощность, развиваемая в цилиндре N_i , не может быть полностью использована, так как часть ее тратится на преодоление механических сопротивлений.

Потери на трение зависят от конструкции двигателя, а также от системы и рода смазки.

Обозначив через N_m механические потери, мы можем эффективную мощность двигателя выразить через

$$N_e = N_i - N_m$$

Отношение

$$\frac{N_e}{N_i} = \frac{N_i - N_m}{N_i} = 1 - \frac{N_m}{N_i} = \eta_m$$

называется механическим коэффициентом полезного действия.

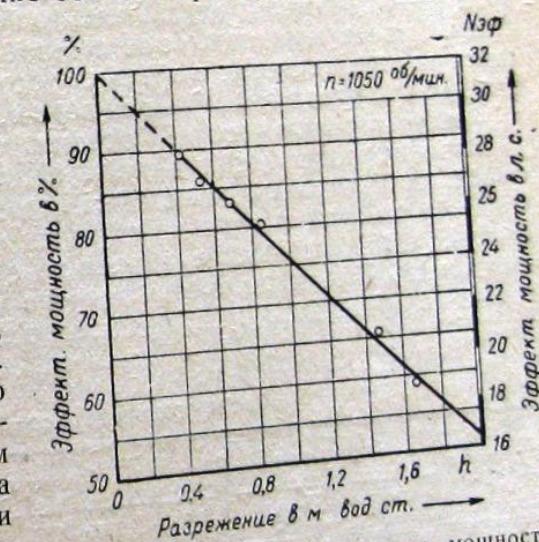


Рис. 86. Влияние разрежения на мощность двигателя.

Механические потери при данном числе оборотов и неизменной степени сжатия зависят только от конструкции и размеров двигателя и почти не меняются от нагрузки.

Следовательно, при переводе двигателя с жидкого топлива на генераторный газ, можно считать, что N_m не изменяется, а N_i понижается, вследствие чего отношение $\frac{N_m}{N_i}$ возрастает, а η_m соответственно понижается.

Среднее понижение механического коэффициента полезного действия при переводе двигателя с жидкого топлива на генераторный газ может быть принято в размерах от 5 до 10%.

Из всех этих рассуждений заключаем, что при переводе двигателя без изменения его конструкции с жидкого топлива на генераторный газ потеря мощности в основном происходит не только из-за меньшей теплотворной способности газовой смеси, но и из-за понижения механического коэффициента полезного действия. Потеря мощности из-за повышенной температуры газовой смеси и сопротивления в судовых условиях работы исключается, так как на судах представляется возможным использовать забортную воду для охлаждения и очистки газа.

Влияние сокращения объема продуктов сгорания газовой смеси на мощность двигателя. В зависимости от химического свойства рабочей смеси при сгорании ее может произойти увеличение или уменьшение объема по сравнению с объемом свежей смеси. Для рассмотрения данного вопроса, примем средний состав генераторного газа, представленного в табл. 53, и произ-

Состав генераторного газа

Таблица 53

Химическая формула	Состав газа в		Вес компонентов газа в	
	%	м³	кг	кг/моль
CO ₂	9,0	0,09	0,09 · 1,977 = 0,178	$\frac{0,178}{44} = 0,00404$
O ₂	0,3	0,003	0,003 · 1,429 = 0,004	$\frac{0,004}{32} = 0,00012$
CO	20,0	0,20	0,20 · 1,250 = 0,250	$\frac{0,25}{28} = 0,00821$
H ₂	15,0	0,15	0,15 · 0,0895 = 0,013	$\frac{0,013}{2} = 0,00650$
CH ₄	3,5	0,035	0,035 · 0,717 = 0,025	$\frac{0,025}{16} = 0,00156$
C ₂ H ₄	0,5	0,005	0,005 · 1,25 = 0,006	$\frac{0,006}{28} = 0,00021$
N ₂	51,7	0,517	0,517 · 1,251 = 0,647	$\frac{0,647}{28} = 0,02311$
	100	1,0	1,123	0,04375

ведем расчет относительного изменения объема газа, прошедшего от горения.

При подсчетах принимаем коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,1$ и коэффициент остаточных газов (отношение объема продуктов сгорания к объему свежей смеси) $\gamma = 0,1$.

Изменение объема рабочей смеси при сгорании ее в цилиндре двигателя может происходить лишь за счет горючих компонентов генераторного газа CO, H₂, CH₄ и C₂H₄.

Из предыдущих подсчетов известно, что при сгорании CO в CO₂ происходит сокращение на 0,5 килограмм-молекулы, при сгорании H₂ в H₂O происходит то же самое, при сгорании же CH₄ в CO₂ и H₂O, равно как при сгорании C₂H₄ в CO₂ и H₂O никаких изменений не происходит.

Изменение объема смеси после сгорания может быть выражено следующей формулой $\frac{V + \Delta V}{V}$ или заменяя отношение объемов отношением молей будем иметь

$$\frac{V + \Delta V}{V} = 1 + \frac{\Delta V}{V} = 1 + \frac{\Delta M}{(l_r + L) + (l_r + L)\gamma} = 1 + \frac{\Delta M}{(l_r + L)(1 + \gamma)}$$

где: ΔM — изменение числа килограмм-молекул при сгорании рабочей смеси,

$(l_r + L)(1 + \gamma)$ — число килограмм-молекул горючей смеси перед сжиганием,

L — действительное количество воздуха, потребное для сжигания 1 килограмм-молекулы газа в килограмм-молекулах,

$V + \Delta V$ — объем продуктов сгоревшей смеси,

V — объем свежей смеси.

Действительное количество воздуха определяется по формуле

$$L = \alpha L_0 = \alpha [0,5(CO_2 + H_2) + 2CH_4 + 3C_2H_4] \text{ кг-моль},$$

где: CO₂, H₂, CH₄, C₂H₄ — молекулярные веса компонентов генераторного газа.

Подставляя численные значения, получаем

$$L = 1,1 [0,5(0,00821 + 0,0065) + 2 \cdot 0,00156 + 3 \cdot 0,00021] = \\ = 0,0601 \text{ кг-моль.}$$

Таким образом изменение числа килограмм-молекул при сгорании рабочей смеси для нашего случая будет равно

$$\Delta M = 0,5(CO + H_2) = 0,5(0,00821 + 0,0065) = 0,00736 \text{ кг-моль.}$$

Подставляя полученные данные в формулу относительного изменения объема смеси после сгорания, получаем

$$1 + \frac{\Delta V}{V} = 1 - \frac{\Delta M}{(l_r + L)(1 + \gamma)} = 1 - \frac{0,00736}{(0,04375 + 0,0601)(1 + 0,1)} = 0,033$$

или $\Delta V = -0,067 V$

т. е. объем сгоревших продуктов будет на 6,7% меньше первоначального объема (свежей смеси), вследствие чего среднее индикаторное давление уменьшается, а следовательно, уменьшится и мощность двигателя.

§ 51. Способы повышения мощности двигателей переводимых с жидкого топлива на генераторный газ

Уравнение, выражающее эффективную мощность двигателя

$$N_e = k V_h \eta_0 \eta_{iv} \eta_m \eta_f \frac{Q_r}{1 + \alpha L_0}$$

состоит из ряда множителей. При увеличении любого из множителей, находящихся в числителе, должен увеличиться общий результат. Однако, при ближайшем рассмотрении легко обнаружить, что целесообразно увеличивать только те множители, или, правильнее, значащиеся под ними факторы, которые без особых технических затруднений могут дать наилучшие результаты.

Таким образом наиболее эффективными способами для повышения мощности приходится считать:

1. Увеличение литража цилиндров — V_h .
2. Увеличение коэффициента наполнения (наддув, усиленное охлаждение газа и понижение сопротивления установки) — η_{iv} .
3. Увеличение термического коэффициента полезного действия — η_f (увеличение степени сжатия — ϵ).
4. Увеличение теплотворной способности газа — Q_r .
5. Увеличение опережения зажигания.
6. Изменение фаз распределения.

Рассмотрим эффективность каждого из указанных способов в отдельности.

Повышение мощности двигателя за счет увеличения литража цилиндров. Повышение мощности газогенераторного двигателя может быть достигнуто увеличением объема цилиндров путем расточки их цилиндровых втулок (гильз) и установкой поршней увеличенного диаметра.

По этому пути пошла наибольшая часть французских фирм, строящих газогенераторные автомобили и тракторы.

Нельзя, однако, считать этот способ повышения мощности существующих двигателей при переводе их на газ безоговорочно эффективным. Лучше всего увеличивать литраж вновь проектируемых двигателей до требуемых размеров, так как в этом случае можно рассчитать все его детали.

Повышение мощности двигателя наддувом. Возникновение наддува в авиационных двигателях относится ко времени мировой войны, а в настоящее время авиационные двигатели не строятся без него. Большое применение нашел себе наддув также в дизелях и несколько меньшее в автомобильных двигателях.

В автомобильных двигателях наддув применялся главным образом для спортивных целей, а в настоящее время им поль-

зуются на грузовых автомобилях для преодоления таких сопротивлений как трогание с места, большие подъемы и проч.

Не менее широкое применение наддув должен найти также на газоходах.

Максимальное и среднее индикаторное давление теоретически увеличивается пропорционально давлению наддува, следовательно, если пренебречь тепловыми потерями, то мощность двигателя также возрастает пропорционально степени наддува.

Обычно за степень наддува принимают отношение разности давлений нагнетания и нормального давления в начале сжатия к нормальному давлению, выраженное в процентах, т. е.

$$\frac{p_n - p_a}{p_a}$$

где: p_n — давление наддува,
 p_a — давление конца всасывания.

При этом предполагается, что температура при нагнетании не меняется.

Для иллюстрации результатов наддува ниже дается несколько примеров осуществленных наддувочных установок.

Повышение мощности тракторного двигателя „Кемпер“ при помощи наддува. Испытания этого двигателя на генераторном газе были выполнены при степени сжатия $\epsilon = 6,89$.

Ряд однородных испытаний с различными давлениями наддува при нормальном числе оборотов двигателя, т. е. при $n = 1100$, показал, что мощность двигателя на древесном газе повышается прямолинейно вместе с увеличивающимся избыточным давлением и что при избыточном давлении около 260 мм ртутного столба двигатель достигает мощности, которую он развивает на бензole при нормальном числе оборотов и при $\epsilon = 5,17$.

Затрачиваемая мощность на воздуховодку при этом возрастает пропорционально избыточному давлению.

При избыточном давлении выше 300 мм ртутного столба расход мощности на воздуховодку значительно повышается, между тем как мощность двигателя увеличивается весьма незначительно.

На рис. 87 показана, помимо мощности двигателя, также и мощность, поглащаемая воздуховодкой при различных степенях наддува. Испытание двигателя при нормальном числе оборотов и степени сжатия $\epsilon = 8,89$, показало, что для достижения одинаковой мощности двигателя на воздуховодку затрачивается значительно меньшая мощность, чем при степени сжатия $\epsilon = 6,89$.

Это объясняется тем, что при повышенном сжатии тепловой к. п. д. увеличивается.

При всех испытаниях, результаты которых нанесены на рис. 87 газифицировалась смесь из одинаковых объемных частей бука и ели с размерами кусков 8 см × 25 см. Влажность генераторного топлива составляла 11,8%.

На рис. 87 изображены следующие кривые:

- a — мощность двигателя на бензole без наддува при $\epsilon = 5,17$ и $n = 1100$,
- b — мощность двигателя на газе с наддувом при $\epsilon = 6,89$ и $n = 1100$ без вычета мощности, затрачиваемой на наддув (брутто),
- c — мощность двигателя на газе с наддувом при $\epsilon = 6,89$ и $n = 1100$ с вычетом мощности, затрачиваемой на наддув (нетто),
- d — мощность, потребляемая воздуховодкой.

На рис. 88 нанесены температуры выходящего из генератора газа и мощность двигателя.

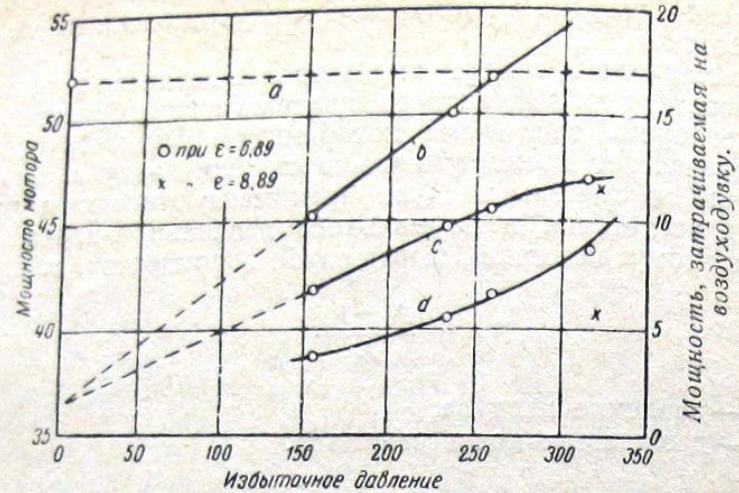


Рис. 87. Зависимость эффективной мощности от степени наддува.

где: t_1 — температура газа в отсасывающей камере после восстановительного пояса,

t_2 — температура газа в выходном патрубке генератора,

N_e — мощность двигателя на газе при степени сжатия $\varepsilon = 5,17$.

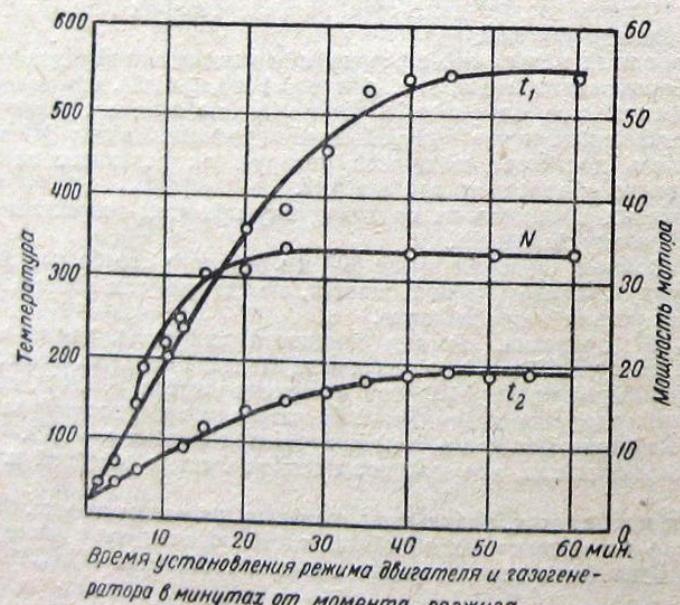


Рис. 88. Мощность двигателя и температура выходящего из генератора газа.

На рис. 89 показана зависимость мощности двигателя на газе при различных степенях сжатия, где кривая a — с наддувом $p = 1,3$; b — с усиленным охлаждением газа и c — без наддува.

Необходимая степень наддува в конечном счете будет определяться теплотворной способностью рабочей газовой смеси, степенью охлаждения ее, степенью сжатия двигателя и конструкцией компрессора (нагнетателя).

На рис. 90 нанесены кривые, показывающие влияние степени наддува на восстановление мощности, полученные при испытании двигателя мощностью $N_e = 11$ л. с., где a — брутто, b — нетто и c — мощность на бензине.

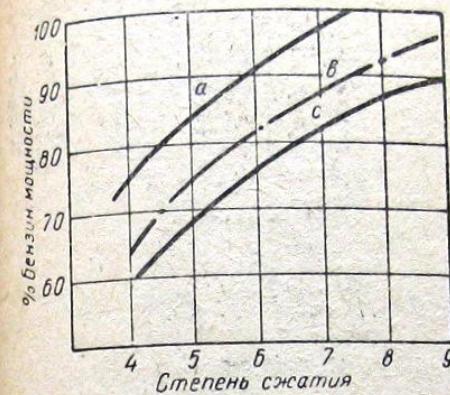


Рис. 89. Возможные мощности на газе.

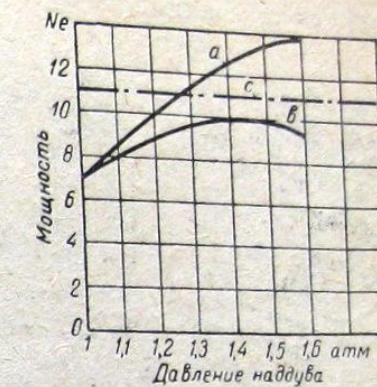


Рис. 90. Влияние наддува на мощность двигателя.

Наддув двигателей, переводимых с жидкого топлива на генераторный газ, дает возможность значительно повысить мощность без переделки двигателя, но на практике встречаются при этом некоторые затруднения.

Краткое описание наддувочных компрессоров. На рис. 91 и 92 приведен нагнетатель типа Рута с двухлопастным и трехлопастным роторами. В новейших конструкциях компрессоров Рута кожух изготавливается из алюминиевого сплава и имеет ребра для охлаждения.

Роторы изготавливаются из стали или легких алюминиевых сплавов с неболь-

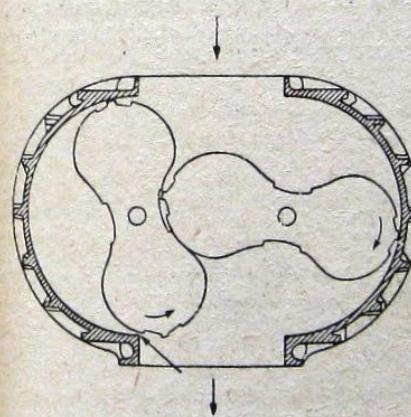


Рис. 91. Нагнетатель Рута с двухлопастным ротором.

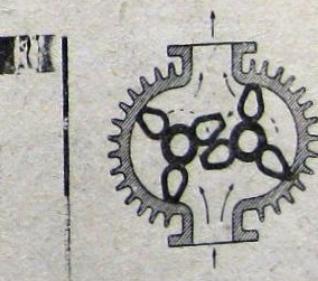


Рис. 92. Нагнетатель Рута.

шими зазорами между лопастями и кожухом. На рис. 93 и 94 даны детали нагнетателя Мерседес типа Рута, применяющегося для нагнетания автомобильных двигателей.

На рис. 95 приведен лодочный двигатель Сабим, с нагнетателем Рута. Карбюратор прикреплен к фланцу всасывающего отверстия компрессора. Для предохранения газопровода и нагнетателя от разрушения при обратной вспышке устанавливается предохранительный клапан в непосредственной близости после всасывающего коллектора.

Нагнетатель Рута широко применяется для наддува бензиновых двигателей (особенно гоночных автомобилей). В авиационных двигателях число оборотов компрессора Рута доводится до 4000—6000 в минуту. При малых оборотах нагнетатель Рута дает большую утечку смеси, с увеличением же числа оборотов до 2000—4000 утечка становится незначительной. К недостаткам компрессора следует отнести пульсирующий поток смеси, повышенный шум и производственные трудности при его изготовлении.

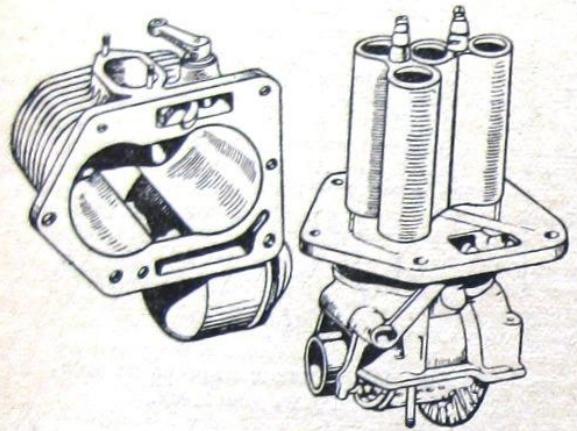


Рис. 93. Нагнетатель Рута с трехлопастным ротором.

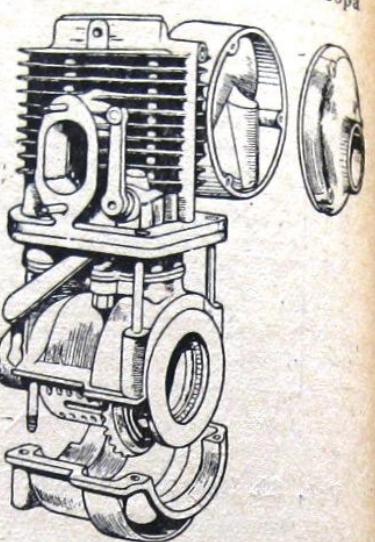


Рис. 94. Детали нагнетателя Мерседес типа Рута.

На рис. 96 приведен эксцентриковый компрессор конструкции „Пауэр-плюс“. Компрессор работает с фиксированным зазором между лопастями и кожухом, имеет принудительную смазку и бесшумную передачу. „Пауэр-плюс“ дает высокое давление наддува и является одним из простейших типов.

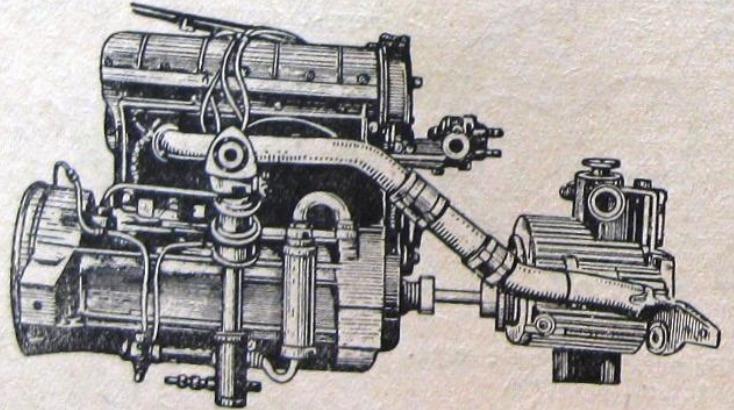


Рис. 95. Лодочный двигатель Санбим с нагнетателем Рута.

На рис. 97 приведен одноступенчатый компрессор Стюрцеванта. Отношение числа оборотов коленчатого вала к числу оборотов компрессора поддерживает равным 1 : 10. Передача осуществляется при помощи ремня и зубчатой передачи. Включение компрессора производится при помощи натяжного ролика, действующего на ремень.

При изменении числа оборотов двигателя проскальзывание ремня смягчает удары в шестернях. На рис. 98 приведена схема механического привода центробежного компрессора посредством шестерен от коленчатого вала двигателя.

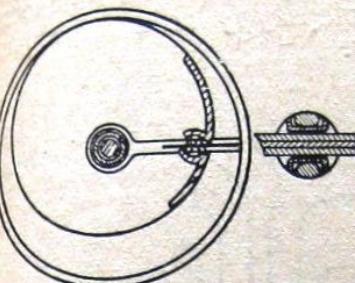


Рис. 96. Эксцентриковый нагнетатель „Пауэр-плюс“.

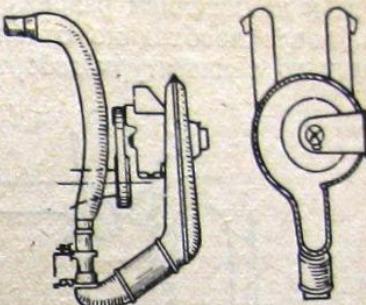


Рис. 97. Схема центробежного компрессора Стюрцеванта.

Регулирование количества поступающей смеси в двигатель производится от руки помочью включения компрессора во время работы двигателя или же при помощи дроссельной заслонки во всасывающей трубе компрессора. Для предохранения компрессора от обратных вспышек во всасывающем трубопроводе устанавливается редукционный клапан.

Кроме приведенных типов компрессоров имеются компрессоры, приводимые во вращение посредством выхлопных газов двигателя; называют их турбокомпрессорами.

На рис. 99 и 100 представлены схемы турбокомпрессоров, состоящих из турбины типа Рато. Турбина приводится в действие выхлопными газами двигателя и на одном валу с ней закреплена крыльчатка центробежного компрессора. Выхлопные газы двигателя проходят через насадки турбины и, приводя ее во вращение, выходят в атмосферу. При указанной схеме работы турбокомпрессоров

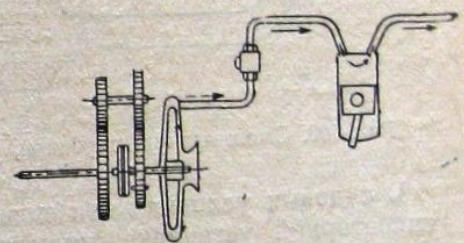


Рис. 98. Схема авиационного приводного центробежного нагнетателя.

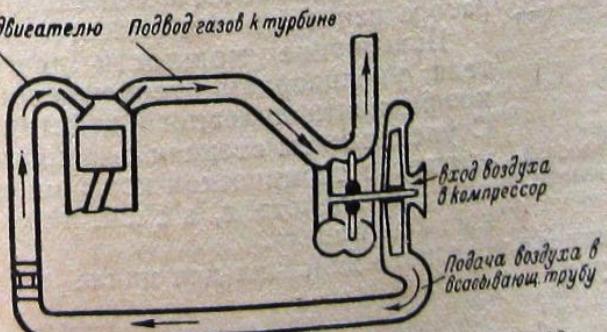


Рис. 99. Схема работы турбокомпрессора.

должны быть изготовлены очень тщательно из самых высококачественных металлов, выдерживающих высокие температуры и большие механические напряжения. Учитывая невысокий к. п. д. и повышенные требования к изготавлению, турбокомпрессор осложняет свое применение в качестве средства

воздушной подачи карбюратором.

На рис. 101 показан ротор турбокомпрессора, который изготавливается вместе с лопастями из одной поковки специальной высокохромистой жароустойчивой стали.

Турбокомпрессоры должны быть изготовлены из самых высококачественных металлов, выдерживающих высокие температуры и большие механические напряжения. Учитывая невысокий к. п. д. и повышенные требования к изготавлению, турбокомпрессор осложняет свое применение в качестве средства

для повышения мощности двигателя при переводе его с жидкого на газогенераторное топливо.

Повышение мощности двигателя усиленным охлаждением газа и понижением разрежения. В целях увеличения мощности двигателя необходимо охлаждать температуру газа и рабочей смеси до температуры забортной воды.

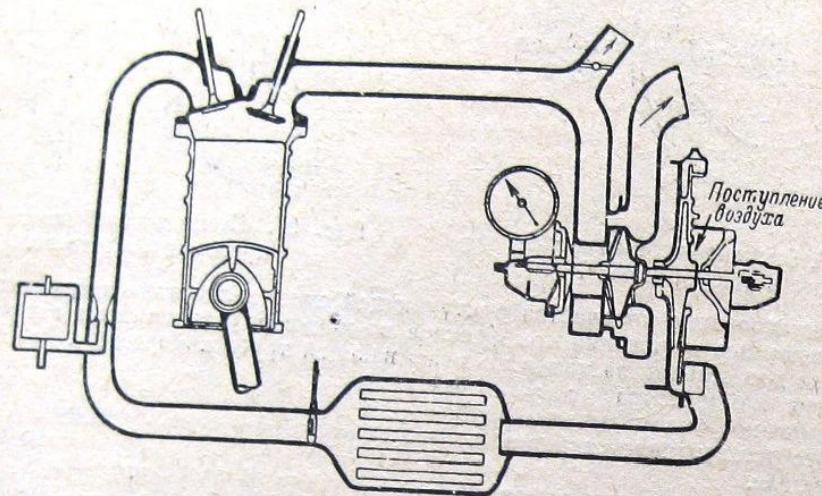


Рис. 100. Схема наддува турбиной, работающей выхлопными газами.

В судовых условиях при правильно сконструированной газогенераторной установке (включая и смеситель) и надлежащем обслуживании можно получить повышение мощности двигателя за счет усиленного охлаждения генераторного газа и рабочей

смеси (ниже температуры окружающего воздуха) и можно добиться более низкого разрежения в газопроводе за счет замены карбюратора рациональным смесителем.

Повышение мощности двигателя увеличением термического коэффициента полезного действия. С увеличением степени сжатия повышается термический коэффициент полезного действия, а с ним и мощность двигателя.

Термический коэффициент полезного действия для цикла Отто вычисляется по формуле

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^k - 1}$$

где: ε — степень сжатия,
 k — показатель адиабаты.

Ранее было установлено, что при повышении степени сжатия с $\varepsilon=4$ до $\varepsilon=8$ при $k=1,35$ термический коэффициент полезного действия возрастает с $\eta_t=0,384$ до $\eta_t'=0,52$. Отношение этих коэффициентов

$$\frac{\eta_t'}{\eta_t} = \frac{0,52}{0,38} = 1,37$$

дает увеличение η_t на 37%.

Полагая, что повышение мощности двигателя пропорционально повышению η_t и принимая мощность двигателя на газе без изменения степени сжатия равной 65% от мощности на лигроине, будем иметь $N_e = 0,65 N_{e1,37} = 0,89 N_e$, т. е. мощность на газе увеличивается с 65% до 89% от мощности на лигроине; потеря мощности для данного случая будет равна 11%.

Вопросу влияния степени сжатия на термический коэффициент полезного действия и на мощность двигателя был посвящен ряд экспериментальных работ.

На рис. 102 представлена кривая, показывающая влияние степени сжатия на термический коэффициент полезного действия.

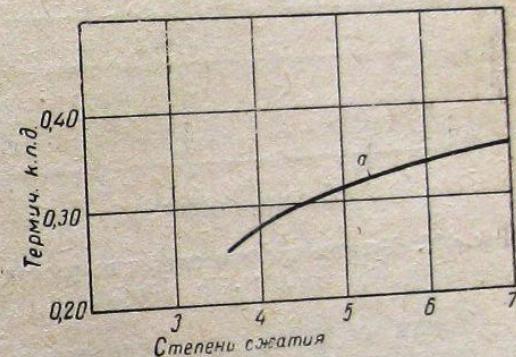


Рис. 102. Влияние степени сжатия на термический к. п. д.

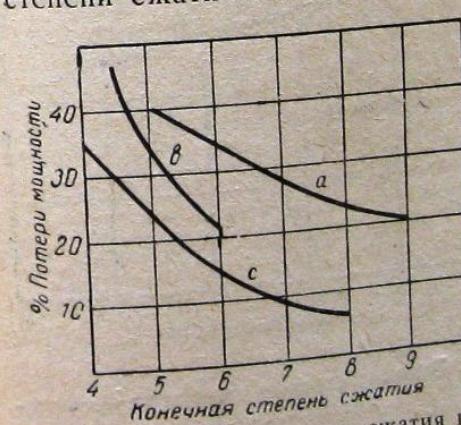


Рис. 103. Влияние степени сжатия на восстановление мощности.

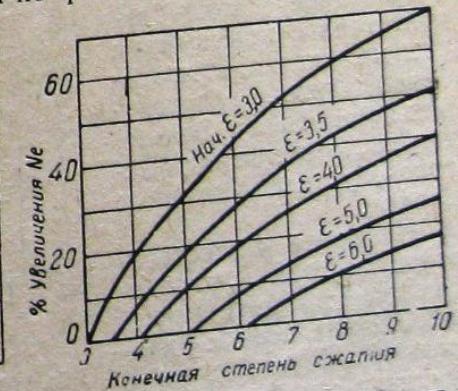


Рис. 104. Влияние степени сжатия на мощность двигателя.

Из приведенного рисунка видно, что при повышении степени сжатия с 3,5 до 7 η_t возрастает с 0,25 до 0,36.

На рис. 103 и 104 показано влияние степени сжатия на повышение мощности двигателя по опытным данным Юнэ, Бавричинек, Курклунг и Шлюнфер. Из этих рисунков видно, что при

увеличении степени сжатия с 4 до 8, потеря мощности в среднем колеблется от 8 до 22% в зависимости от качества газа, от температуры газовой смеси и от сопротивления установки.

Кривая рис. 104 показывает, что при повышении степени сжатия с $\epsilon = 4$ до $\epsilon = 10$ мощность двигателя повышается на 40%.

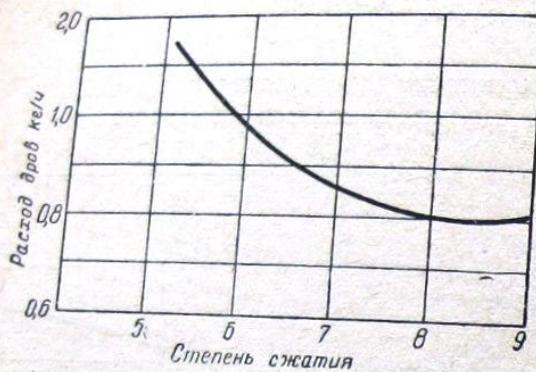


Рис. 105. Влияние степени сжатия на расход дров.

Таким образом, из приведенных теоретических подсчетов и опытных данных видно, что повышение степени сжатия является наиболее радикальным средством для восстановления мощности двигателей, переводимых с жидкого топлива на генераторный газ. Однако, следует иметь в виду, что, несмотря на непрерывное возрастание мощности двигателя с повышением степени сжатия, итти особенно далеко в направлении повышения ϵ нельзя, так как имеется ряд факторов, устанавливающих предел.

Наиболее существенными факторами, определяющими предел повышения степени сжатия у двигателей, переводимых с жидкого топлива на газ, являются:

1. Трудности пуска двигателя в ход.
 2. Высокое давление при воспламенении рабочей смеси.
 3. Невозможность работы двигателя с достаточной нагрузкой на жидкое топливо из-за детонации.
- Наиболее трудным и опасным фактором является детонация, которая может привести к разрушению двигателя.

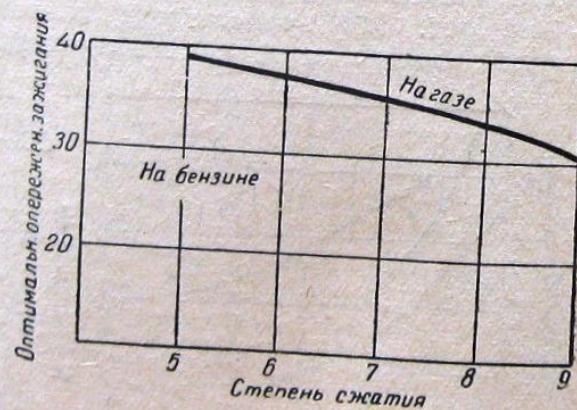


Рис. 106. Влияние степени сжатия на опережение зажигания.

Под детонацией принято понимать или подразумевать явление, вызываемое образованием волны взрыва в цилиндре. Явлением детонации занимались очень многие исследователи и из всех их теорий наибольшего внимания заслуживают теории Каллендара, Тизара, Егертона и Рикардо.

Рикардо полагает, что детонация имеет место в том случае, когда скорость сгорания некоторой части заряда горючей смеси, воспламеняющаяся ранее других частей так велика, что эта часть, вследствие своего расширения, производит давление на остальную, не воспламенившуюся еще, часть заряда. А, так как невоспламенившаяся часть под действием сжатия нагревается до очень высокой температуры и воспламеняется сама по себе и почти во всей своей массе, то образующаяся при этом волна взрыва, как молотом, ударяет в стенки цилиндра.

Для предотвращения детонации применяются следующие средства.

§ 52. Факторы, предупреждающие детонацию

Дросселирование смеси, которое снижает давление конца сжатия и температуру вспышки, вследствие уменьшения плотности смеси в цилиндре.

Обогащение рабочей смеси, равно как уменьшение опережения зажигания и одновременное усиленное охлаждение цилиндров.

Примешивание выхлопных газов к рабочей смеси способствует снижению максимальной температуры сгорания и максимального давления, что в свою очередь допускает повышение степени сжатия без образования детонации. Перед смешением выхлопные газы должны быть охлаждены. Расход горючего при этом на силу-час сильно увеличивается.

Примешивание к топливу антидетонирующих веществ, вроде тетраэтилового свинца (бесцветная жидкость, подобная бензину, но вдвое тяжелее его), спирта, иода и др.

Одним из лучших антидетонирующих топлив является спирт, так как он содержит в своем составе кислород, поглощающий при испарении много тепла.

Вообще говоря, спирт, как топливо, имеет большое преимущество перед другими видами топлива: при всех прочих равных условиях его термический коэффициент полезного действия выше, чем у бензина; при работе на нем детонации не наблюдается даже при степени сжатия $\epsilon = 8$, при усиленном охлаждении цилиндров мощность двигателя повышается и, наконец, нагар в цилиндрах от сгорания спирта никогда не бывает.

Прыскивание воды во всасывающей трубопровод двигателя, давшего значительные результаты в опытах «Американского Бюро Стандартов», Рикардо и других исследователей. Так например, на автомобильном двигателе с главными размерами цилиндров 120×125 при степени сжатия $\epsilon = 7$ впрыск 0,136 до 0,2 кг воды на 1 л. с./час не влиял на мощность,

расход горючего и общую работу двигателя; но зато устранил детонацию.

Наиболее значительный эффект получается путем растворения от 5 до 10% воды в топливе. По мнению Рикардо этот метод дает возможность увеличить коэффициент наполнения, а с ним и мощность двигателя на 6—7%, без изменения степени сжатия; увеличить степень сжатия до $\epsilon = 7$ —8 и мощность двигателя на 15—20%, поддерживать более низкую температуру выпускаемых клапанов и уменьшить нагар на днищах поршней и клапанах.

Ниже приводится ряд выполненных переделок в двигателях отечественного производства для перевода их на генераторный газ.

§ 53. Перевод тракторного двигателя ЧТЗ с жидкого топлива на генераторный газ

Челябинский тракторный завод наряду с лигроиновыми двигателями изготавливает также и газогенераторные для тракторов и газоходов. При переводе двигателя с лигроина на генераторный газ для судовых установок в него вносятся следующие изменения.

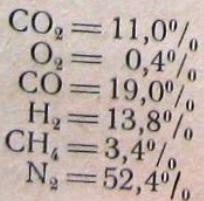
- 1) Степень сжатия увеличена с $\epsilon = 3,96$ до $\epsilon = 6$ путем изготовления новых головок цилиндров с соответствующим укорочением толкателей и шпилек, крепящих головки цилиндров.
- 2) Всасывающий и выхлопной коллектора выполняются отдельно.
- 3) Дополнительно устанавливается смеситель.
- 4) На вентиляторном валике устанавливается шкив для привода в действие специального центробежного насоса, который подает воду в скруббер и двигатель.

Стандовые испытания двигателя ЧТЗ. Центральным научно-исследовательским институтом водного транспорта произведено испытание двигателя ЧТЗ на генераторном газе при степени сжатия $\epsilon = 5,8$.

Увеличение степени сжатия было произведено посредством подреза головок цилиндров двигателя на 26 мм.

На рис. 107 показана головка цилиндра с линией подреза. Двигатель испытывался на генераторном газе, полученном из установки ЦНИИВТ-1 при степени сжатия $\epsilon = 3,96$ и $\epsilon = 5,8$. Топливом служили чурки размером $40 \times 40 \times 100$ мм влажностью в 23%.

Средний состав генераторного газа получен следующий:



Теплотворная способность газа $Q = 1225$ кал./м³. Температура газа перед смесителем $t_r = 30^\circ$.

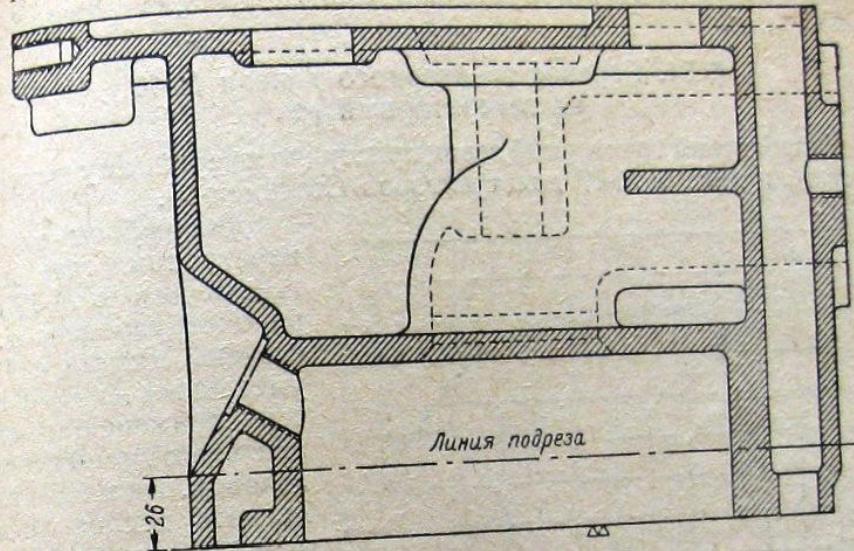


Рис. 107. Головка цилиндра двигателя ЧТЗ с подрезом.

На рис. 108 представлена внешняя характеристика, по которой видно, что мощность двигателя при $n = 650$ оборотов в минуту равна 55,5 л. с.

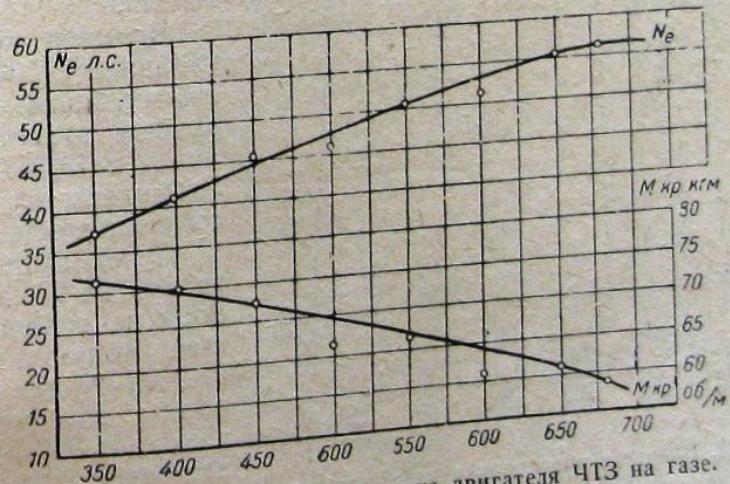


Рис. 108. Внешняя характеристика двигателя ЧТЗ на газе.

Отношение мощности двигателя, работающего на генераторном газе, к мощности его, развиваемой им на лигроине,

$$\frac{N_e^r}{N_e^l} = \frac{55,5}{72} = 0,77$$

т. е. потеря мощности при работе на газе по сравнению с работой на лигроине равна 23%.

Мощность на газе при степени сжатия $\epsilon = 3,96$ равна $N_e = 45,7$ л. с.

§ 54. Перевод тракторного дизеля М-17 на генераторный газ

Челябинский тракторный завод приступил к серийному выпуску двигателя дизеля М-17 для тракторов Стalinец-65.

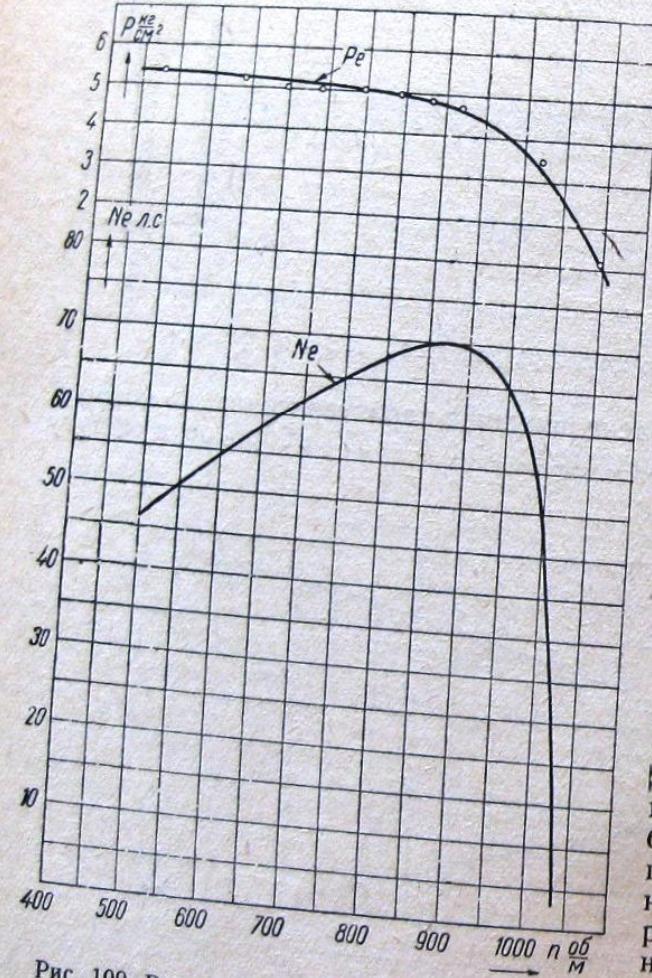


Рис. 109. Внешняя характеристика двигателя МГ-17 на газе.

как-то: добавлены водяные и масляные насосы для охлаждения генераторного газа и реверсивной муфты. Двигатель МГС-17 заводится от стартера на газе.

Двигатель МГ-17 заводится непосредственно на газе путем проворачивания коленчатого вала при помощи пускового бензи-

нового двигателя. Потребное время для пуска двигателя на газе лежит в пределах 3—5 минут.

Двигатель "МГ-17" испытывался на стаде в газогенераторной лаборатории НАТИ. Результаты стендовых испытаний представлены на рис. 109.

§ 55. Перевод тракторных двигателей ХТЗ и СТЗ с жидкого топлива на генераторный газ

Харьковским и Сталинградским тракторными заводами строились двигатели одинаковой конструкции и одинаковой мощности. Эти тракторные двигатели получили некоторое распространение на газоходах.

При переводе данного типа двигателя с керосина на генераторный газ в него вносятся следующие изменения:

1) степень сжатия увеличивается с $\epsilon = 4,25$ до $\epsilon = 5,65$ путем установки более высоких поршней;

2) всасывающий и выхлопной коллекторы выполняются отдельно;

3) дополнительно устанавливается смеситель;

4) на вентиляторном валике устанавливается шкив для приведения в действие насоса, который подает воду в скруббер и двигатель.

Стандовые испытания двигателя на жидким топливе и газе. Данные испытания имели своей целью выяснить эффективность работы двигателя на газе по сравнению с жидким топливом, для чего снимались внешние характеристики на следующих топливах:

на керосине при $\epsilon = 4,25$, на генераторном газе при $\epsilon = 5,65$ и на бензино-бензольной смеси при $\epsilon = 5,65$.

На рис. 110 показаны полученные результаты, где N_1 — внешняя характеристика на керосине при угле опережения $\alpha = 52^\circ$,

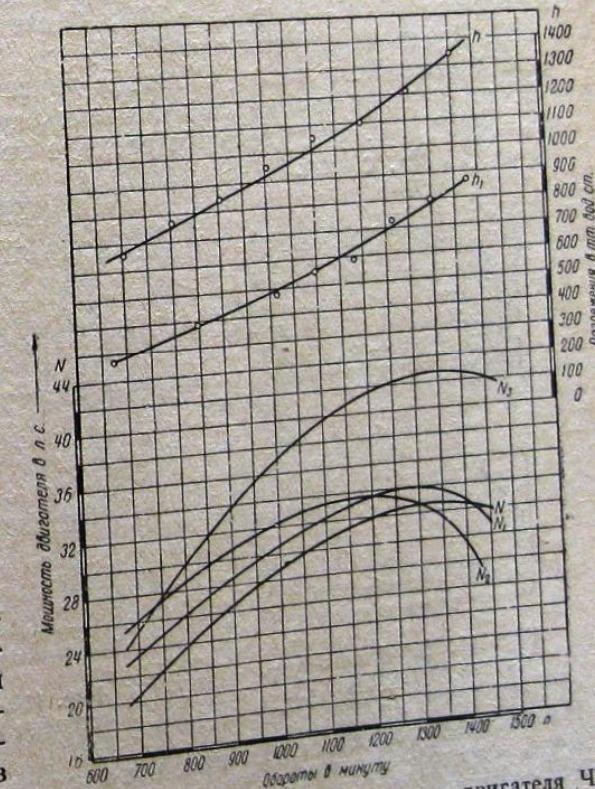


Рис. 110. Внешняя характеристика двигателя ЧТЗ на газе.

N_2 — внешняя характеристика на керосине при угле опережения $\alpha = 32^\circ$.

Перед снятием характеристик карбюратор отрегулирован на минимум расхода керосина $g = 310-320 \text{ г./л. с./час.}$

Сравнительные испытания показали, что максимальная мощность двигателя и наивыгоднейший расход топлива получены на газе сравнивались с испытанием на керосине при $\alpha = 32^\circ$. При нормальном числе оборотов двигателя $n = 1050$ и при $\alpha = 32^\circ$ полученная мощность на газе $N = 29,8 \text{ л. с.}$

Внешняя характеристика на бензино-бензольной смеси (70% бензина + 30% бензола). Степень сжатия $\epsilon = 5,65$. Угол опережения $\alpha = 52^\circ$.

При нормальном числе оборотов двигателя $n = 1050$ и при $\alpha = 32^\circ$ полученная мощность двигателя равна

$N_3 = 38,7 \text{ л. с.}$ при удельном расходе топлива, $g = 240 \text{ г./л. с./час.}$

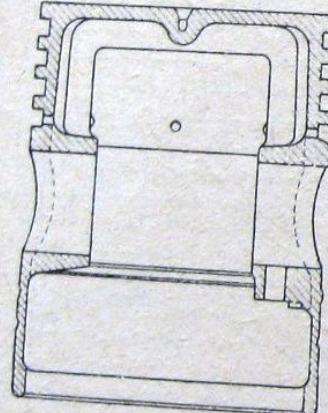


Рис. 111. Нормальный поршень двигателя Х73.

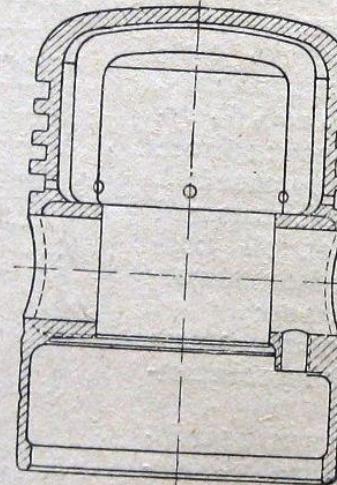


Рис. 112. Поршень для степени сжатия = 5,65.

Внешняя характеристика на генераторном газе. Степень сжатия $\epsilon = 5,65$. Угол опережения $\alpha = 32^\circ$. Топливо: дубовые чурки. Влажность $W_p = 23,5\%$.

На том же рисунке представлена внешняя характеристика на генераторном газе, при нормальном числе оборотов двигателя $n = 1050$ и $\alpha = 32^\circ$.

Мощность на газе, полученная при длительных испытаниях, была равна $28,3 \text{ л. с.}$, следовательно потеря мощности на газе по сравнению с керосином при длительных испытаниях составила

$$\Delta N_e = \frac{33,0 - 28,3}{33,0} \cdot 100 = 14,0\%$$

Небольшой процент потери мощности по данным НАТИ объясняется следующими причинами: повышенной степенью сжатия

тия $\epsilon = 5,65$, хорошим охлаждением газа до 15° перед смесителем, небольшим сопротивлением всей установки и в частности в два раза меньшим сопротивлением во всасывающем коллекторе (на газе давление = 525 мм в. с., а на керосине 970 мм в. с.) и сравнительно хорошей теплотворной способностью газа $Q = 1100 \text{ кал./м}^3$.

На рис. 111 представлен нормальный поршень для $\epsilon = 4,25$, а на рис. 112 поршень для степени сжатия $\epsilon = 5,65$.

§ 56. Перевод автомобильного двигателя ЗИС с жидкого топлива на генераторный газ

В настоящее время завод им. Сталина выпускает газогенераторный автомобиль, созданный на базе стандартного автомобиля ЗИС-5. Изменения, внесенные в стандартный двигатель, свелись к изменению конструкции головки двигателя всасывающего и выхлопного коллекторов, а также и электрооборудования.

Изменения головки цилиндров. Взамен стандартной бензиновой головки двигателя сконструирована новая специальная головка со степенью сжатия $\epsilon = 7$ и с увеличенными проходными сечениями над кромкой цилиндра. Этот наивыгоднейший предел степени сжатия определился условиями потребной пусковой мощности стартера и удовлетворительного зажигания при хорошем наполнении двигателя.

Свеча расположена ближе к всасывающему каналу для лучшего ее охлаждения. На рис. 113 показана цилиндровая головка, устанавливаемая на газогенераторном двигателе.

Изменение всасывающего и выхлопного коллекторов. На стандартном двигателе ЗИС-5 всасывающий и выхлопной коллекторы объединены в целях подогрева всасываемого воздуха выхлопными газами, а в газогенераторном двигателе, в целях увеличения коэффициента подачи, выхлопной и всасывающий коллекторы выполнены отдельно друг от друга. Увеличены также сечения всасывающего коллектора с $36,5 \times 36,5$ до $42 \times 42 \text{ мм}$. Диаметр конца выхлопной трубы в коллекторе увеличен с 41 до 46 мм.

Кроме указанных изменений, на всасывающем коллекторе сделан фланец для установки карбюратора горизонтального типа, предусмотренного для запуска двигателя на бензине.

Изменения в системе электрооборудования. Практикой установлено, что у двигателей с повышенной степенью сжатия тре-

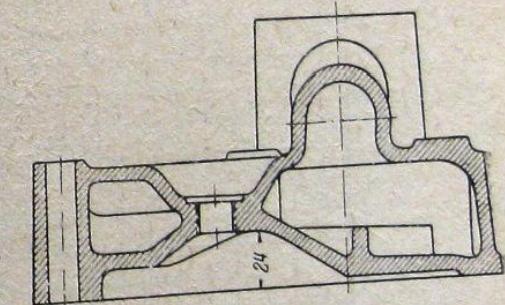


Рис. 113. Головка цилиндра двигателя ЗИС-13.

буется более сильная искра, чем у двигателей с низкими степенями сжатия.

Поэтому на газогенераторном двигателе батарейное зажигание заменено магнетом типа СС-6.

Кроме того установлено 2 аккумулятора по 6 V, емкостью в 144 A·h (3-СТА-IX), динамо типа ГА-27, мощностью 225 W и усиленный стартер типа стандартный "МАФ". Необходимость применения усиленного электрооборудования диктовалась повышенной степенью сжатия.

Двигатель запускается непосредственно на газе от стартера.

На рис. 114 представлена внешняя характеристика двигателя ЗИС на генераторном газе.

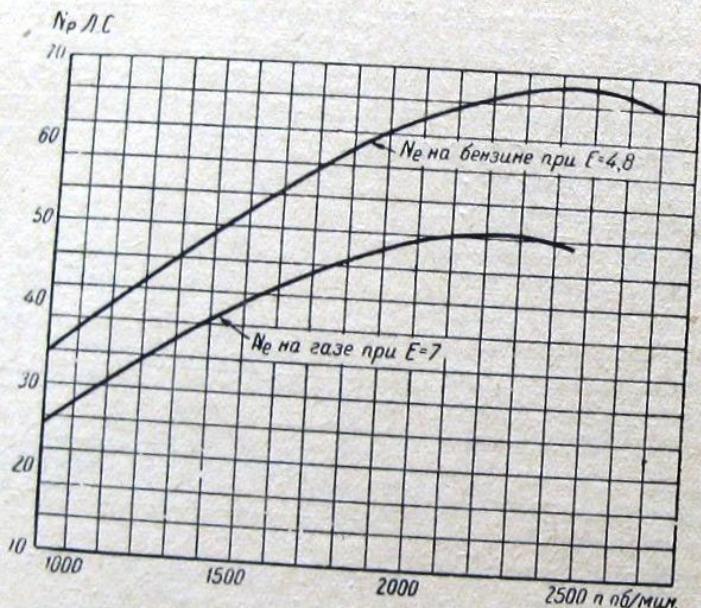


Рис. 114. Внешняя характеристика двигателя ЗИС.

В качестве топлива применялись березовые чурки размером 80×60×60 мм с влажностью 12—18%.

Температура газа перед смесителем поддерживалась в пределах 25—35°.

Торможение двигателя осуществлялось электрической балансирной машиной постоянного тока.

Из приведенной кривой видно, что максимальная эффективная мощность двигателя при $n = 2200$ оборотов в минуту равна 50 л. с.

Потеря мощности по отношению к работе на бензине (72 л. с.) составляет

$$\frac{N_e^r}{N_e^b} = \frac{50}{72} = 0,71$$

т. е. потеря мощности равна 29%.

§ 57. Перевод автомобильного двигателя ГАЗ с жидкого топлива на генераторный газ

В настоящее время Горьковским автозаводом для газогенераторных автомобилей выпускается двигатель со степенью сжатия $\varepsilon = 7,0$.

Увеличение степени сжатия получается за счет специально сконструированной головки двигателя.

Стендовые испытания двигателя ГАЗ. В автотракторной лаборатории Индустриального института произведено испытание двигателя ГАЗ на генераторном газе, полученном из установки конструкции инж. Володина, при степени сжатия $\varepsilon = 4,2$ и $\varepsilon = 7,15$.

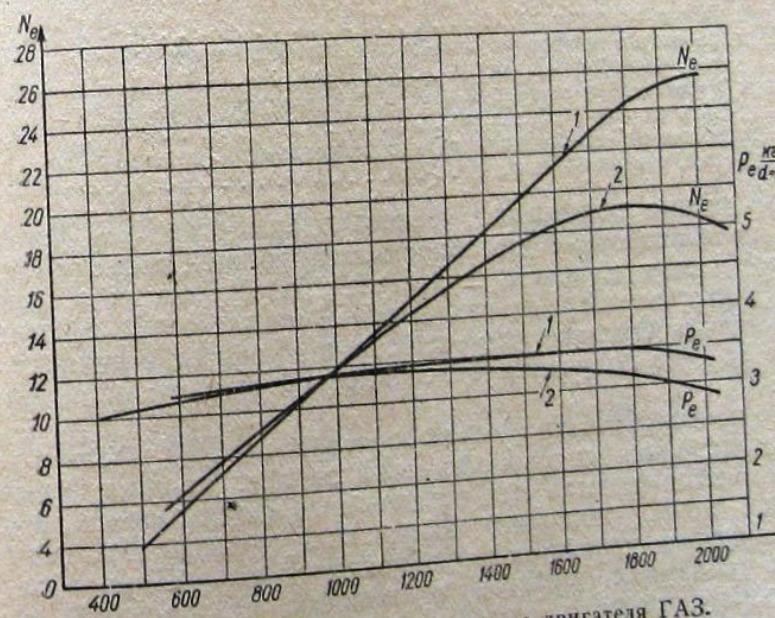


Рис. 115. Внешняя характеристика двигателя ГАЗ.

На рис. 115 приведены результаты испытания, где N_e — эффективная мощность, а p_e — эффективное давление.

Из приведенных кривых видно, что максимальная эффективная мощность при $\varepsilon = 4,2$ получается при $n = 1800$ оборотов в минуту и равна 19,2 л. с., а при степени сжатия $\varepsilon = 7,15$ и при $n = 2000$ оборотов в минуту она равна 25,6 л. с.

Мощность двигателя на газе по отношению к мощности на бензине составляет для первого случая

$$\frac{N_e^r}{N_e^b} = \frac{19,2}{40} = 0,48$$

т. е. потеря мощности равна 52%.

для второго случая

$$\frac{N_e^r}{N_e^6} = \frac{25,6}{40} = 0,64$$

т. е. потеря мощности равна 36%.

Повышение мощности двигателя увеличением теплотворной способности газа. Мощность двигателя находится в прямой зависимости от теплотворной способности газа.

Соответственные мощности согласно приведенному ранее расчету, могут быть получены от обычного лигроинового двигателя без его переделки (без изменения степени сжатия) в зависимости от теплотворной способности газа примерно в следующих величинах:

при работе на лигроине	100%
при работе на генераторном газе с теплотворной способностью, равной 1 647 кал./м ³	86%
при работе на генераторном газе с теплотворной способностью, равной 1 262 кал./м ³	75%
при работе на генераторном газе с теплотворной способностью, равной 837 кал./м ³	59%

Эти данные показывают, насколько существенным фактором является теплотворная способность газа в общей системе средств для повышения мощности двигателей, переводимых с жидкого топлива на генераторный газ. В самой конструкции газогенератора имеются большие возможности повышения мощности двигателя за счет получения более высокой теплотворной способности.

При конструировании газогенератора следует иметь в виду, что теплотворная способность газа зависит от типа применяемого процесса (прямой или обращенный), формы шахты, высоты активной зоны, теплового напряжения поперечного сечения топливника на уровне подвода воздуха, способа подвода воздуха в топливник (щелевой, фурменный, центральный, комбинированный), скорости воздуха в фурмах, подогрева воздуха, подогрева газифицируемого топлива, рода используемого топлива, размера и влажности топлива и других факторов.

В действующем газогенераторе высокая теплотворная способность газа может быть получена при оптимальном размере и оптимальной влажности топлива. Оптимальный размер и влажность топлива определяются опытным путем. Влажность газифицируемого топлива в газогенераторах, работающих по обращенному процессу, не должна превышать 20—25%.

Глава VII

ИСПЫТАНИЕ СУДОВЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

В зависимости от целевой установки испытания судовых газогенераторных установок производятся: а) на стаде и б) в ходовых условиях.

При испытании на стаде в целях составления теплового баланса установки определяются следующие величины:

1. Индикаторная мощность двигателя.
2. Эффективная мощность двигателя.
3. Число оборотов двигателя.
4. Расход топлива.
5. Расход генераторного газа и воздуха.
6. Определение состава генераторного и выхлопного газов двигателя.
7. Температура генераторного газа.
8. Температура в топливнике и на поверхности генератора.
9. Разрежение в различных точках установки.
10. Температура поступающей и отходящей воды из скруббера и двигателя.
11. Расход воды на охлаждение газов в скруббере и на охлаждение двигателя.
12. Барометрическое давление и температура в машинном и генераторном помещениях.
13. Составление теплового баланса двигателя.

При испытании газогенераторной установки в ходовых условиях определяются следующие величины:

1. Число оборотов двигателя.
2. Скорость газохода порожнем.
3. Скорость газохода с возом.
4. Тяговое усилие на гаке.
5. Расход топлива (твердого и жидкого) и смазочного материала на 1 км пути:
 - а) при пробеге газохода порожнем,
 - б) —————— с возом
6. Температура генераторного газа в различных точках установки.
7. Температура воды, поступающей в двигатель и скруббер.
8. Температура воды, выходящей из двигателя и скруббера.
9. Разрежение в различных точках установки.

Таблица 54

ФОРМА (образец)

Журнал записи наблюдаемых величин при испытании на стande
Газогенераторная установка

год, месяц, число.

Время замера	Число оборотов двигателя	Нагрузка двигателя	Разрежение в мм водяного столба					Температура генераторного газа				Температура			
			после генератора	после скруббера	после очистителя	перед смесителем	перед клапанами	после генератора	после скруббера	после очистителя	перед смесителем	охлаждающей воды после скруббера	двигателя	поступающей воды	
1	2	3 4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
<hr/>															
Расход воды на охлаждение газа	Средний состав газа в %														
	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	N ₂	25	26	27	28	29	30	Примечание	
17	18	19	20	21	22	23	24								

ФОРМА (образец)

Журнал записи наблюдаемых величин
Газогенераторная установка

топливо год, месяц, число

Время замера	Число оборотов двигателя	Усилие на гаке в кг	Скорость движения газохода	Разрежение					Температура генераторного газа				Температура			Температура помещения и барометрическое давление	Примечание
				после генератора	после скруббера	после очистителя	перед смесителем	перед клапанами	после генератора	после скруббера	после очистителя	перед смесителем	охлаждающей воды после скруббера	двигателя	поступающей		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<hr/>																	

В период испытания газогенераторной установки ведется журнал, в котором отмечаются наблюдаемые отдельные показатели установки, а также характеристика отдельных этапов работы: длительность разжига генератора и перевод двигателя на газ, остановки из-за неисправностей генератора, двигателя и друг.

Примерный образец записи наблюдаемых величин измерения при стендовых и ходовых испытаниях заносится в таблицы.

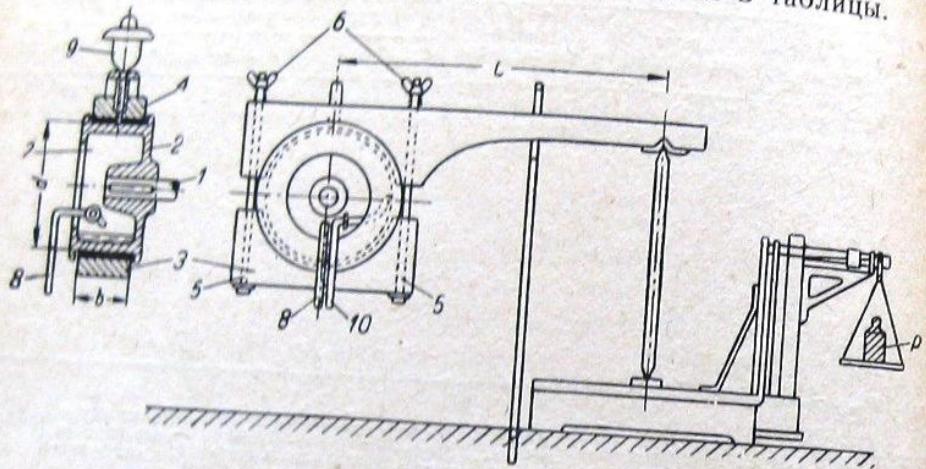


Рис. 116. Схема тормоза Прони.

1) Измерение индикаторной мощности. Индикаторная мощность двигателя определяется по индикаторным диаграммам, снимаемым индикатором, и вычисляется по формуле

$$N_i = \frac{\pi D^2 s p_i n i m}{4 \cdot 60 \cdot 75} \text{ л. с.}$$

где: D — диаметр поршня,
 s — ход поршня,

p_i — среднее индикаторное давление,
 i — число цилиндров,

m — коэффициент тактности.

2) Измерение эффективной мощности. Мощность, развиваемая двигателем на валу, измеряется, так называемыми, тормозами.

На практике обычно применяются для испытания двигателей тормоза: механические, гидравлические и электрические.

Среди механических тормозов "тормоз Прони" имеет наиболее широкое распространение, вследствие простоты устройства, дешевизны его изготовления и достаточной точности показаний.

На рис. 116 представлена конструкция тормоза Прони. Устройство и принцип действия тормоза Прони заключается в следующем. На конце коленчатого вала двигателя 1 укрепляется плавкий чугунный шкив 2, охватываемый двумя колодками 3 и 4, которые стягиваются болтами 5 с барашками 6. Во время тор-

можения шкив нагревается, поэтому для охлаждения его в по- лость 7 подводится вода по трубке 8, а через масленку 9 под- водится масло.

Регулируя во время работы двигателя силу нажима тормоз- ных колодок барашками 6, можно получить от двигателя раз- личное число оборотов при полном или частичном открытии дросселя горючей смеси. Вся получаемая работа от двигателя расходуется на работу трения, которая полностью превращается в тепло.

Для надлежащего отвода выделяющегося тепла размеры тор- мозного шкива высчитываются по формуле

$$bd > \frac{75N_e}{W} \quad \dots \dots \dots \quad (82)$$

где: d — диаметр шкива в см,

b — ширина колодки в см,

W — удельная мощность в $\frac{\text{м кг}}{\text{сек}}$ на 1 см² проекции площа-ди колодок на диаметр шкива.

По Баху W принимается от 2,5 до 5 $\frac{\text{м кг}}{\text{сек}}$.

Подсчет эффективной мощности производится на основании следующих соображений.

Обозначив силу трения на ободе шкива через F , радиус шкива через r , длину рычага от точки опоры (на весах) до центра шкива через L , груз на весах через p , можно при установив-шемся равновесии написать равенство

$$Fr = pL \quad \dots \dots \dots \quad (83)$$

откуда

$$F = \frac{pL}{r} \quad \dots \dots \dots \quad (84)$$

Путь, проходимый точкой приложения силы за одну секунду, равен

$$S = \frac{2\pi rn}{60} \quad \dots \dots \dots \quad (85)$$

В случае равновесия рычага эффективная мощность двига-теля определяется из уравнения

$$N_e = \frac{FS}{75} = \frac{2\pi r p L}{60 \cdot 75} = \frac{pLn}{716,2} \text{ л. с.} \quad \dots \dots \dots \quad (86)$$

или

$$N_e = \frac{M_{kp}n}{716,2} \text{ л. с.} \quad \dots \dots \dots \quad (87)$$

где: $M_{kp} = pL$ — крутящий момент двигателя,
 L — длина рычага в м,
 p — показание весов в кг без давления на весы соб-ственного веса тормоза,
 n — число оборотов коленчатого вала в минуту.

Решая уравнение относительно M_{kp} , получаем

$$M_{kp} = 716,2 \frac{N_e}{n} \text{ кг} \dots \dots \dots \quad (88)$$

Вторым механическим тормозом является тормоз Навье, тормозной шкив которого охвачен веревкой. Одним концом веревка соединена с динамометром, а на другом конце веревки висит уравновешивающий груз.

На рис. 117 представлена схема тормоза Навье.

Эффективная мощность при работе с этим тормозом вычисляется по формуле

$$N_e = \frac{(p_2 - p_1)(d + \delta)n}{2 \cdot 716,2} \text{ л. с.} \dots \dots \dots \quad (89)$$

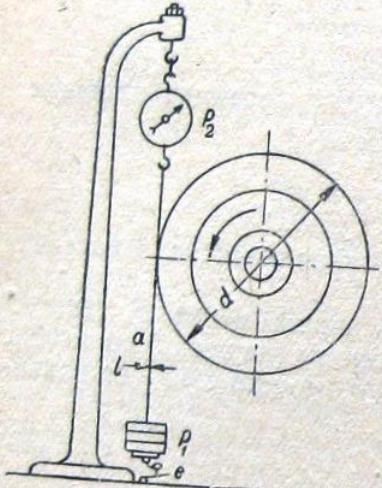


Рис. 117. Схема тормоза Навье.

Механические тормозы имеют некоторые недостатки, как например, неравномерность в работе, вследствие которой приходится часто регулировать нажим колодок, или же разбрызгивание воды и масла во время работы тормоза.

Пример. Определить эффективную мощность двигателя ЧТЗ, замеренную на тормозе Прони, если

длина рычага $L = 716,2 \text{ мм}$
показание весов $p = 92,4 \text{ кг}$
число оборотов коленчатого вала в минуту $n = 650$.

Эффективная мощность определяется по формуле

$$N_e = \frac{pLn}{716,2} = \frac{92,4 \cdot 0,7162 \cdot 650}{716,2} = 60 \text{ л. с.} \dots \dots \dots \quad (90)$$

3) Число оборотов двигателя определяют счетчиком оборотов, тахометром или тахоскопом.

Счетчик оборотов состоит из ряда зубчатых колесиков с числом зубьев кратным 10 на каждом. Первое из них приводится во вращение таким образом, что при каждом обороте двигателя оно поворачивается на один зубец. По ободу колесика нанесены цифры от 0 до 9 так, что при каждом обороте двигателя одна из цифр по порядку появляется перед отверстием для наблюдения. Каждый раз как колесико переходит от 9 к 0, оно посредством промежуточной шестеренки поворачивает следующее десятковое колесико на один зубец и после каждого

10 оборотов первичного колесика подводит к зрительному отверстию новую по порядку цифру. Подобным же образом после 10 оборотов десяткового колесика поворачивается на один оборот сотенное колесико и т. д.

Замер числа оборотов производится путем присоединения (прижатия трехгранных концов валика счетчика или насаженного на валик счетчика резинового наконечника) к валу, обороты которого желательно определить на определенный промежуток времени, например, за одну минуту.

Для того, чтобы судить о мгновенной скорости двигателя пользуются тахометрами.

Тахометры устраивают на принципе действия центробежной силы, на принципе увлечения магнитом алюминиевого цилиндра или диска, благодаря индукции и на других принципах. Увлекаемый диск соединен с стрелкой, которая, поворачиваясь на известный угол, указывает на градуированном циферблете соответствующее число оборотов.

Если требуется зафиксировать число оборотов испытуемой машины, то пользуются тахографом.

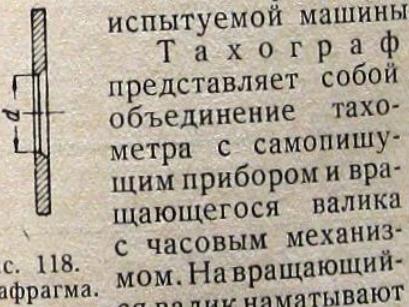


Рис. 118. Диафрагма.

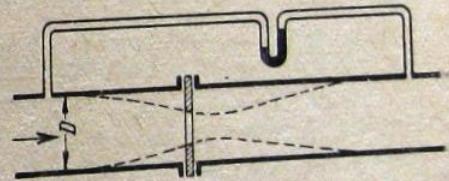


Рис. 119. Диафрагма в газопроводе.

ролик миллиметровой или иначе разграфленной бумаги, которая во время работы часового механизма перематывается на другой ролик, находясь все время под пишущим пером. Таким образом самопищий аппарат наносит на бумагу число оборотов и длительность замера.

4) Измерение газифицируемого топлива. Расход топлива за период испытания измеряется взвешиванием на весах всего загружаемого в генератор топлива. Для выяснения элементарного состава топлива отбирается средняя проба. Средняя проба составляется путем отбора от каждого загружаемого в генератор ковша топлива (несколько кусков его) с последующим выполнением существующего правила для взятия проб. Отобранные проба исследуется в химической лаборатории в отношении состава горючей массы, влажности, зольности, теплотворной способности, выхода и состава летучих.

5) Измерение количества газа и воздуха. Количество газа и воздуха, поступающего в двигатель, определяется при помощи диафрагмы или трубки Пито или Прандтля.

Диафрагма. На рис. 118 и 119 показана диафрагма и установка ее в газопроводе.

Расход газа в секунду определяется по следующей формуле

где: f_0 — площадь диафрагмы в м^2 ,

$$k = \frac{\mu}{1 - m\mu},$$

μ — коэффициент сжатия газовой струи, зависящий от отношения $\frac{f_0}{F}$ и может быть взят из табл. 55,

$$m = \frac{f_0}{F},$$

F — площадь трубы в м².

g-9,81,

D — измеренная разность давлений в *U*-образной трубке в мм в. с.,

γ — удельный вес газа $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Коэффициенты k и m

Таблица 55

Коэффициенты k и m					
$m = \frac{f_0}{F}$	$\sqrt{m} = \frac{d}{D}$	k	$m = \frac{f_0}{F}$	$\sqrt{m} = \frac{d}{D}$	k
0,15	0,387	0,610	0,50	0,707	0,700
0,20	0,447	0,617	0,55	0,741	0,725
0,25	0,500	0,625	0,60	0,774	0,755
0,30	0,548	0,634	0,65	0,806	0,759
0,35	0,592	0,645	0,70	0,836	0,845
0,40	0,632	0,669	0,75	0,866	0,910
0,45	0,671	0,680			

Трубка Пито в соединении с дифференциальным манометром дает возможность измерить динамическое давление $P = h\gamma$ в мм в. с. и из уравнения

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2g \frac{P}{\gamma}}$$

где: γ — удельный вес газа,
 P — измеренное

— измеренное давление в мм в. с., можно подсчитать скорость в газопроводе. Секундный объем газа будет

$$V = Fv \frac{M^3}{cek}$$

Для приведения этого объема к 0° и 760 мм р. с. необходимо еще взять температуру t и давление газа P' в газопроводе.

Приведенный объем газа к 0° и 760 мм р. с. по закону Бойль-Мариотта и Гей-Люссака, будет

$$V_0 = V \frac{273}{273+t} \frac{B_6 + P^n}{760}$$

где: $P'' = \pm \frac{P'}{13,6}$ мм р. с.

6) Определение состава газов. Анализ газов при испытании газогенераторных установок и двигателей внутреннего сгорания производится с целью определения химического состава исследуемого газа. Контроль состава газа дает представление о процессе газификации, о теплотворной способности генераторного газа и о полноте его использования в двигателе.

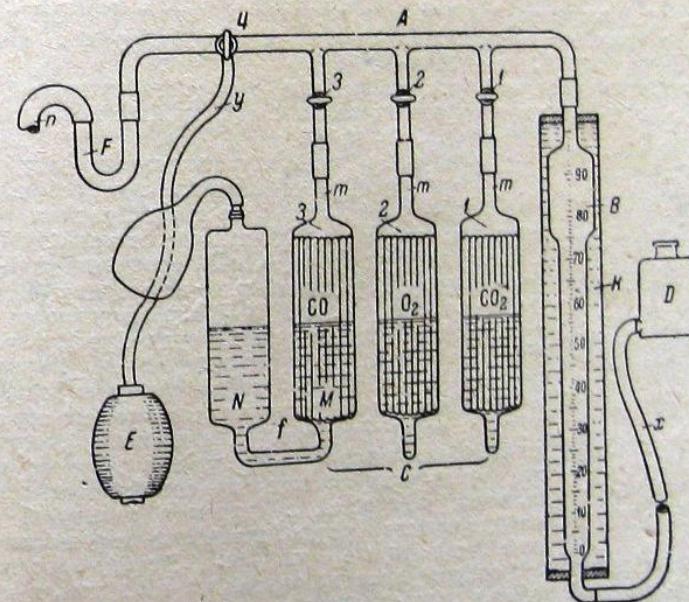


Рис. 120. Газоанализатор Орса-Фишер.

Наиболее распространеными в СССР газоанализаторами для анализа на CO_2 , O_2 и CO считаются прибор Орса-Фишера, а для анализа на CO_2 , O_2 , CO , H_2 , CH_4 и C_2H_4 — прибор Норзе. Прибор Фишера пользуется особенном распространением, благодаря своей простоте и легкости

Прибор Орса-Фишера пользуется особой популярностью благодаря простоте своей конструкции, быстроте и легкости операций и малой стоимости. Некоторые неудобства в пользовании этим прибором представляют то обстоятельство, что в нем могут быть определены лишь углекислота, кислород и окись углерода. Ниже приводится описание указанных приборов и обращение с ними.

Прибор Орса и обращение с ним. Прибор Орса-Фишер состоит из следующих основных частей изготавляемых из стекла (рис. 120). Крановая трубка *A* с тонким внутренним каналом, содержит три обыкновенных крана и один трехходовой кран. Первые три крана (*1*, *2* и *3*) сообщают

канал трубы *A* с каждым из сосудов *C*, а четвертый кран 4 сообщает полость трубы *A* во-первых с атмосферой через трубку *у* и грушу *E* и во-вторых с газоотводами через трубку *п* и *U*-образный сосуд *F*, кроме того, этот же кран через трубку *п* и сосуд *F* сообщает газоходы с атмосферой. Таким образом, через трехходовой кран можно: 1) газы из трубы *A* вытолкнуть в атмосферу; 2) из газоотводов вытолкнуть газы в атмосферу через трубку *п* и сосуд *F*. Подробное устройство трехходового крана видно на чертеже рис. (121) где начало выводного крана *A* отмечено на головке крана черной пуговкой.

Измерительная бюретка *B* представляет собой сосуд, разделенный на 100 см³, от 0 до 100, при этом нижние деления в свою очередь разделены на 10 более мелких делений.

Верхним своим концом бюретка соединяется при помощи короткой резиновой трубы с правой стороной крановой трубы *A*, а нижним концом при помощи длинной резиновой трубы *x* с открытым стеклянным сосудом *D*, наполненным водой.

В бюретку *B* засасывается объем испытуемого газа в 100 см³ и для поддержания постоянной температуры этого газа вся бюретка помещается в стеклянный цилиндр *K*, наполненный водой.

Три различных реагтива, находящиеся в трех поглотительных сосудах *C* (1, 2 и 3), поглощают при соприкосновении с испытуемым газом последовательно CO₂, O₂ и CO.

Каждый из этих поглотительных сосудов верхним своим концом соединяется при помощи короткой резиновой трубы с соответствующим крановым отростком трубы *A*. Все три поглотительных сосуда *C* состоят из двух камер *M* и *N*, соединенных между собой снизу трубкой *f*, что видно на сосуде 3 (CO). В действительности и сосуд 3 расположен по отношению к наблюдателю так же, как и сосуды 1 и 2, т. е. камера *N* расположена сзади за камерой *M*, но на нашем чертеже сосуд 3 умышленно вычерчен так, как он может быть виден, когда на него смотрят сбоку.

Поглащающие реагтивы наливаются приблизительно до половины высоты поглащающих сосудов; при этом для увеличения поверхности соприкосновения поглащающих жидкостей с газами в камеру *M* каждого поглащающего сосуда вставлены вертикально стоящие стеклянные трубы. Чтобы поглащающие жидкости не портились от соприкосновения со свежим воздухом, в камере *N* верхний отросток этой камеры заканчивается резиновой трубкой с резиновым же тонкостенным мешком на конце; благодаря этому воздух, находящийся в верхней части камеры *N*, не соприкасается с наружным воздухом. На верхнем отростке каждого из поглащающих сосудов *C* имеется черта *m*, до которой обычно приходится подводить реагент, о чём будет сказано ниже.

Левый конец крановой трубы *A* короткой резиновой трубкой соединяется с *U*-образной трубкой *F*, через которую и засасывается анализируемый газ по резиновой трубке *п*. В сосуде *F* обычно помещается стеклянная вата для очистки дымовых газов от сажи, и кроме того, наливается вода для охлаждения газа и для насыщения его парами воды.

Задний конец стержня трехходового крана *C* при помощи длинной резиновой трубы *у* соединяется с аспиратором-грушей *E*, которая служит для прокачивания воздуха и газов по заборной трубке *п* от места забора газов до трехходового крана 4. Чтобы самый процесс прокачивания газов был по возможности короче, необходимо весь прибор ставить по возможности ближе к месту забора газов; в таком случае трубка *п* будет достаточно коротка и прокачивание по ней „старого“ газа будет проходить сравнительно скоро.

Основные принципы работы прибора. Когда мы правой рукой поднимаем сосуд *D* с водой на высоту приблизительно сотового деления *B*, то вода из сосуда *D* самотеком стремится перейти в бюретку *B*, а следовательно, весь газ, находившийся до этого в бюретке *B*, стремится выйти в кра-

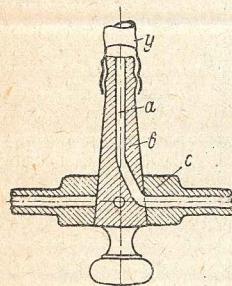


Рис. 121. Кран трехходовой.

жидкости не портились от соприкосновения со свежим воздухом, в камере *N* верхний отросток этой камеры заканчивается резиновой трубкой с резиновым же тонкостенным мешком на конце; благодаря этому воздух, находящийся в верхней части камеры *N*, не соприкасается с наружным воздухом. На верхнем отростке каждого из поглащающих сосудов *C* имеется черта *m*, до которой обычно приходится подводить реагент, о чём будет сказано ниже.

Левый конец крановой трубы *A* короткой резиновой трубкой соединяется с *U*-образной трубкой *F*, через которую и засасывается анализируемый газ по резиновой трубке *п*. В сосуде *F* обычно помещается стеклянная вата для очистки дымовых газов от сажи, и кроме того, наливается вода для охлаждения газа и для насыщения его парами воды.

Задний конец стержня трехходового крана *C* при помощи длинной резиновой трубы *у* соединяется с аспиратором-грушей *E*, которая служит для прокачивания воздуха и газов по заборной трубке *п* от места забора газов до трехходового крана 4. Чтобы самый процесс прокачивания газов был по возможности короче, необходимо весь прибор ставить по возможности ближе к месту забора газов; в таком случае трубка *п* будет достаточно коротка и прокачивание по ней „старого“ газа будет проходить сравнительно скоро.

Основные принципы работы прибора. Когда мы правой рукой поднимаем сосуд *D* с водой на высоту приблизительно сотового деления *B*, то вода из сосуда *D* самотеком стремится перейти в бюретку *B*, а следовательно, весь газ, находившийся до этого в бюретке *B*, стремится выйти в кра-

новую трубку *A* и через один из кранов, который мы открываем левой рукой, направляется дальше; если же все четыре крана будут закрыты, то газ соединяется в трубке *A* и в верхней части бюретки и в крановой трубке *A* получается разреженное пространство. Вследствие этого через любой из открытых кранов газ устремляется в трубку *A* и в верхнюю часть бюретки *B*, заполняя последнюю до самого низа по мере того, как вода переливается в сосуд *D*. Если же ни один из кранов не будет открыт, тогда в верхней части бюретки получится определенное разрежение, после чего вода из бюретки перестанет переходить в сосуд *D*.

Обратно, когда мы приподнятый предварительно сосуд начнем опускать ниже деления 0 на бюретке *B*, то вся вода из бюретки начнет переливаться в сосуд *D*, благодаря чему в верхней части бюретки и в крановой трубке *A* получается разреженное пространство. Вследствие этого через любой из открытых кранов газ устремляется в трубку *A* и в верхнюю часть бюретки *B*, заполняя последнюю до самого низа по мере того, как вода переливается в сосуд *D*. Если же ни один из кранов не будет открыт, тогда в верхней части бюретки получится определенное разрежение, после чего вода из бюретки перестанет переходить в сосуд *D*.

Таким образом, если мы желаем весь газ, помещающийся в бюретке *B*, вытолкнуть через один из четырех кранов, то нам необходимо правой рукой приподнять сосуд *D* на определенную высоту, а левой рукой открыть соответствующий кран, если же мы желаем заполненную водой бюретку *B* наполнить газом, проходящим через любой из четырех кранов, то нам необходимо опустить правой рукой сосуд *D* ниже нуля на бюретке, а левой рукой открыть соответствующий кран.

Газ, заполняющий собой бюретку *B* до некоторого уровня, измеряется по объему в см³, а так как объем данного газа при постоянной температуре (поддерживаемой находящейся в цилиндре водой) будет в сильной степени зависеть от давления, под которым он находится, то при каждом измерении объема газа необходимо приводить его давление к давлению наружного воздуха. Делается это таким образом: сосуд *D* поднимают или опускают правой рукой на такую высоту, чтобы уровень воды в сосуде *D* стоял на одинаковой высоте уровня воды в бюретке *B*. В таком случае на основании законов сообщающихся сосудов давление в бюретке *B* будет равно давлению атмосферного воздуха. В этот именно момент и производится отсчет объема газа по шкале, помещенной на стенке бюретки *B*. Прочитанное на шкале при этом число (например, 15, 2) будет показывать, сколько см³ не хватает для того, чтобы объем данного газа равнялся 100 см³.

Поглощение CO₂, O₂ и CO в сосудах *C* происходит следующим образом. В сосуд 1 наливают раствор едкого калия в воде, эта жидкость при соприкосновении с газом энергично поглощает CO₂. Для лучшего соприкосновения этого реагтива с газом большую часть этого реагтива из передней части *M* сосуда 1 перегоняют в заднюю часть *N* того же сосуда, благодаря чему все трубы, помешающиеся в передней части *M* сосуда *C*, а также и вся внутренняя поверхность самого сосуда *M*, сильно смоченные реагентом, образуют весьма большую площадь соприкосновения жидкости с газами. Для полного поглощения CO₂ из данной пробы газов приходится перекачивать жидкость из сосуда *M* в сосуд *N* и обратно по несколько раз (3—4 раза).

Далее в сосуд 2 наливают раствор пирогаллола в едком кали, которой поглощает кислород O₂, находящийся в анализируемом газе. Перекачивание реагтива из одной части сосуда в другую и в данном случае производится так же, как и в предыдущем; в сосуд 3 наливают аммиачный раствор хлористой меди, который поглощает окись углерода CO. В этом сосуде перекачивание реагтива из одной части в другую производится точно так же, как и в двух предыдущих сосудах.

Необходимо обратить особое внимание на то, что второй и третий из перечисленных реагентов поглощают кислород из воздуха, а поэтому сосуды 2 и 3 нужно особенно тщательно оберегать от соприкосновения с атмосферным воздухом. Кроме того, необходимо поглощать газы в таком порядке, как указано выше, т. е. CO₂, O₂ и CO, а самые сосуды располагать так, как указано на чертеже.

Работа с прибором. При исследовании анализируемого газа при помощи прибора Орса приходится много раз перекачивать отмеренный в бюретке *B* газ из этой бюретки в каждый из поглотительных сосудов и обратно путем поднимания или опускания сосуда *D*. При каждом подъеме сосуда реагент будет подниматься вверх в бюретке *B*, или же в одном из трех сосудов *C*, и при неаккуратном обращении с прибором или порывистых

движениях правой руки с сосудом *D* может случиться, что названная жидкость поднимется в крановую трубку *A* и перельется в другой сосуд. Во избежание этого нужно всегда придерживаться одного общего правила: при поднимании или опускании правой рукой сосуда *D*, надо глазами следить за уровнем жидкости, которая поднимается, и в необходимый момент прекратить движение правой руки с сосудом *D*, само собой разумеется, что во-время можно остановить движение правой руки только в том случае, когда это движение производится очень плавно.

Подведение уровня всех жидкостей до отметки. Перед началом анализа газов необходимо поднять уровень всех реактивов в сосудах *C* и в бюретке *B* вверх до метки.

Делается это следующим образом: поднимается в сосуде *I* уровень реактива до метки *m*. Для этого правой рукой поднимается сосуд *D* вверх настолько, чтобы вода в бюретке *B* поднялась приблизительно до деления 90, при этом левой рукой поворачиваем трехходовой кран так, чтобы он сообщил бюретку *B* и трубку *A* с атмосферным воздухом. Таким образом, при поднятии уровня воды в бюретке *B* воздух из бюретки будет выходить в атмосферу. Когда уровень воды дойдет приблизительно до деления 95, тогда левой рукой закрывается кран *4*. После этого левой рукой открывается кран *I* и правой рукой начинаем опускать сосуд *D*; вода в бюретке *B* начинает опускаться вниз и тянется за собой газ из сосуда *I*-го *C* и поэтому в самом сосуде *C* реактив начнет переливаться из резервуара *N* в резервуар *M*, а в последнем реактив будет подниматься все вверх. В это время движения правой руки с сосудом *D* должны быть особенно плавными. Когда уровень реактива в резервуаре *M* станет на черту *m*, тогда движения правой руки приостанавливаются, а левой рукой закрывается кран *I*. В этот момент заканчивается подведение уровня реактива в сосуде *I* до черты *m*.

Точно также поднимается уровень жидкости до черты и в двух других сосудах *C*.

Далее надо поднять уровень воды в бюретке *B* до деления 100. Как уже указывалось раньше, правой рукой поднимается сосуд *D*, а левой открывается трехходовой кран в атмосферу; воздух из бюретки *B* выходит наружу и не мешает воде подниматься вверх. Когда уровень воды дошел уже до верхнего конца расширенной части бюретки, движения правой руки должны быть особенно медленны и плавны, так как при резком движении руки, благодаря резко суживающемуся поперечному сечению бюретки в этом месте, уровень воды может моментально подняться в трубку *A*.

Кроме того, необходимо сделать так, чтобы уровень воды в бюретке дошел до деления 100 при атмосферном давлении, а этого можно достигнуть лишь в том случае, когда уровень воды в сосуде *D* и в бюретке *B* будет стоять на одной и той же высоте. Когда при указанных условиях уровень воды в бюретке *B* станет на деление 100, правую руку с сосудом *D* необходимо задержать на данной высоте, а левой рукой закрыть трехходовой кран. В этот момент заканчивается подведение уровня воды в бюретке *B* до деления 100.

Подведение свежего газа к прибору. Когда прибор установлен на место, где необходимо анализировать газ, то в трубке *n*, ведущей от *U*-образного сосуда и до конца заборной трубы, находится воздух. Если же в прибор засасывали газ хоть один раз, то названная трубка заполнена "старым" газом, т. е. тем газом, анализ которого был произведен в предыдущий раз. Нам, однако, желательно знать состав этого газа, который в настоящий момент движется по газопроводу. Естественно, что для этого необходимо удалить из трубы старый газ в атмосферу, а в трубку засосать свежий газ. Делается это при помощи груши-аспиратора *E*. Трехходовой кран *4* ставим в положение, когда полость трубы *n* соединяется через грушу *E* с атмосферным воздухом, и начинаем качать грушей *E*, сжимая ее постепенно и давая ей возможность расправиться; благодаря этому через некоторый промежуток времени весь "старый" газ из трубы *n* выйдет в атмосферу через трубку *F* и у и на его место поступит свежий газ. Число качаний груши *E* в каждом частном случае приходится определить в зависимости от объема самой груши и от длины и внутреннего диаметра резиновой трубы *n* и следующей за ней трубы, проникающей в газопроводы. Чем короче трубка и чем больше груша *E*, тем

меньше качаний надо произвести. Обычно число качаний колеблется между 4 и 8.

Засасывание в бюретку пробы газа в 100 см³. Свежий газ к прибору уже подведен: бюретка *B* заполнена уже водой до деления 100, необходимо только засосать пробу газа в бюретку. Для этого правой рукой опускаем сосуд *D*, а левой рукой поворачиваем трехходовой кран так, чтобы газы из трубы *n* через *U*-образную трубку *F* могли проходить в трубку *A* и дальше в бюретку *B*. Когда вода в бюретке *B* опускается до нуля, необходимо совместить уровень воды в бюретке и в сосуде *D* и когда при этом условии вода в бюретке *B* станет опять на нуль, левой рукой закрывают трехходовой кран. В этот момент заканчивается засасывание объема свежего газа 100 см³.

Анализ газа. Как уже указывалось раньше, анализ газа проводится сначала на CO₂, потом на O₂ и, наконец, на CO.

Левой рукой открываем кран *I*, благодаря чему полость бюретки *B* через крановую трубку *A* сообщается с полостью сосуда *C*.

Правой рукой поднимаем сосуд *D*, благодаря чему газ из бюретки *B* переходит в переднюю часть сосуда *C*, а жидкость из сосуда *M* переходит в сосуд *N*. Когда уровень воды в бюретке *B* поднимается приблизительно до деления 95, то сосуд *D* правой рукой опускаем, в результате чего газ переходит назад в бюретку *B*, а жидкость в сосуде *M* поднимается опять вверх. Данная операция перекачивания газа из бюретки в сосуд *C*-*I* и обратно производится обычно от 4 до 6 раз, в зависимости от снегности реактива. После этого уровень жидкости в сосуде *C* подводится к метке *m* обычным приемом и газ опять попадает в бюретку *B*, но уже без углекислоты CO₂, которая поглощена содержимым сосуда *C*-*I*.

Сколько же процентов углекислоты было в газе? Для ответа на данный вопрос поднимаем правой рукой сосуд *D* до тех пор, пока в нем уровень воды не совместится с уровнем воды в бюретке *B*; после этого правую руку с сосудом *D* задерживаем на месте и делаем отсчет на шкале бюретки. Число, которое мы прочтем на шкале, показывает, на сколько см³ уменьшился объем газа после перекачивания его в сосуд *C*. Это и составляет процентное содержание CO₂ в данном газе.

После этого полученное число записывают в соответствующую таблицу и еще раз проверяют, действительно ли вся углекислота поглощена в сосуде *C*. Для этого еще несколько раз перекачивают газ из бюретки *B* в сосуд *C* и потом опять, подняв уровень жидкостей в сосуде *C* до метки *m*, делают отсчет на шкале. Если в результате второго отсчета получается число весьма близкое к первому, значит CO₂ поглощена полностью, если же второй отсчет больше первого более чем на 0,2%, то необходимо еще раз заняться перекачиванием газа в сосуд *C*, для полного поглощения CO₂. В дальнейшем точно так же производится перекачивание оставшегося газа в сосуд *C*, для поглощения O₂ и в сосуд *C* для поглощения CO.

В результате анализа газов у нас получается три отсчета: первый для CO₂, второй для CO₂ + O₂ и третий для CO₂ + O₂ + CO.

Ясно, что путем вычитания можно найти отдельно O₂ и отдельно CO. После окончания анализа остаток газа обычным путем через трехходовой кран выталкивается в атмосферу, уровень воды в бюретке *B* подводится к делению 100 и прибор опять готов к анализу новой пробы газа.

Реактивы для поглощения CO₂ одна весовая часть твердого калия растворяется в двух весовых частях воды.

Для поглощения O₂ 5 г пирогаллола растворяется в 15 см³ горячей воды и полученное смесьивается с раствором 120 г едкого калия в 80 см³ воды.

Для поглощения CO необходимо 250 г нашатыря растворить в 750 см³ воды и к смеси прибавить 200 г хлористой меди; к каждым трем объемам данного раствора необходимо добавить один объем аммиака (нашатырный спирт) с удельным весом 0,99 и в смесь, влияемую в сосуд *C*, рекомендуется класть немного металлической меди. В сосуд *D* и бюретку *B*, а также и в окружающий последнюю стеклянный цилиндр *K* лучше всего наливать дистиллированную или же прокипяченную воду; при этом, когда в бюретку *B* налита свежая горячая вода, перед анализом газа необходимо эту воду привести в соприкосновение

ние с газами для ее насыщения этими газами; для этого в бюретку *B* несколько раз засасывается обычным приемом порция свежего газа и потом через некоторый промежуток времени эта порция выталкивается в атмосферу, а на ее место засасывается новая порция газа.

Прибор Норзе и обращение с ним (рис. 122). Подготовка прибора. Снимают крышки ящика, откidyвают боковую полку *21* и вынимают из своих гнезд и держатели *30*, *31* склянку *1*, горелку *22* и вынимают из ящика держатель *S'*. Откинув рамку попытка, вынимают разрежающее приспособление *20* и соединяют его с фильтром *13*. Дожигательный штепсель *S'* (держать за деревен-

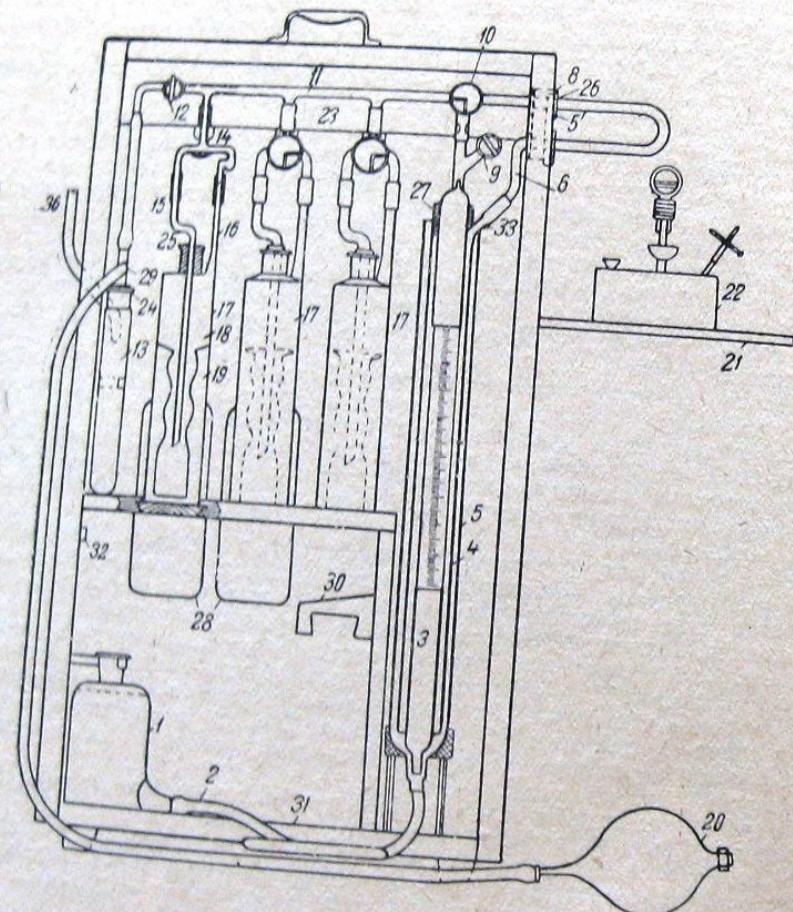


Рис. 122. Газоанализатор Норзе.

вленную часть его — штепсель) вставляют сбоку аппарата, для чего, падвигая его правой рукой, левой заводят в него нижнюю пробку конец трубочки *b*, а затем, придерживая распределитель *11*, насаживают верхнюю пробку штепселя до отказа на оплавленный конец последней и дожимают трубочку *b*, придерживая штепсель *8*. Перед вышеизложенной установкой полезно смочить отверстие пробок *26* водой (но не вазелином) для лучшего скольжения стекла. Горелку *22* (или тип Бартель) наполняют бензином, открывают зажим на резиновой трубочке, через которую вдувают ртом в резервуар воздух и зажим закрывают (если пользоваться Бартелем, то подкачку воздуха производят насосом). Затем зажженная горелка может быть установлена для работы на полочку *21*. Величина пламени регулируется подкачиванием или выпуском воздуха.

В склянку *1* наливают кипяченую воду (ее желательно заблаговременно насытить углекислотой, прокачав через нее газ, во избежание поглощения углекислоты при анализе). Кипяченой же водой наполняют стакан *5*, подтягивают ее, манипулируя склянкой *1* и кранами *9* и *10*, в колоколе *4* до капилляра *33*, следя за тем, чтобы после этого уровень воды в стакане *5* стоял не ниже деления *30* бюретки *3*, в противном случае воду доливают. В случае надобности бюретка *3*, колокол *4* и стакан *5* легко друг от друга отделяются, но при последующей сборке необходимо следить, чтобы резиновая трубка *2* плотно закрывала нижнее отверстие стакана *5*. Опоражнивание стакана и колокола производится, в случае необходимости, через имеющуюся внизу стакана резиновую трубку со стеклянной пробкой. Пробка *27* не должна пропускать воздух, в чем можно убедиться, подняв воду в колоколе *4* до капилляра *33*. Одновременно, действуя краном *10*, проверяют плотность соединений дожигательного штепселя. Затем наливают воды в фильтр *13* для образования гидравлического затвора высотою ~ 10 мм и приступают к зарядке поглотительных сосудов *17*, для чего кран *14* каждого из них устанавливают на соединение с внутренней камерой *18* через капилляр *16* с распределителем *11*, который сообщается с атмосферой при помощи соответствующей установки кранов *10* и *9*. Надев затем резиновую трубку с воронкой на задний тубулусик сосуда *17*, лют в воронку реактив. Последний, сжав несколько воздуха в наружной камере *19*, начинает подниматься во внутренней камере *18*, виду свободного выхода из нее воздуха через краны *14*, *10* и *9*. Добавкой реактива и поднятием воронки подводят его в капилляр *16* сосуда и закрывают кран *14*. Тогда вся внутренняя камера *18* поглотителя окажется заполненной реактивом, которого для этой цели требуется около 110—120 см³. Нажатием резиновой трубки воронки, наполненной реактивом, вбрызгивают в наружную камеру *19*, для большей надежности гидравлического затвора, еще несколько см³ раствора, сливают из воронки оставшийся реактив, снимают воронку с трубкой и одевают на тубулусик резиновый мешочек для разобщения внутренности поглотителя с воздухом, во избежание порчи реактива. На склянке с едким калием мешечка не требуется. В качестве реактивов употребляются: в 1-м от бюретки поглотитель для поглощения CO₂ водный раствор едкого калия (1:2); во 2-м от бюретки поглотитель для поглощения C₂H₄ водный раствор брома; в 3-м от бюретки поглотитель для поглощения O₂ раствор 18 г пирогаллола в 40 см³ горячей воды, залитый 70 см³ раствора едкого калия (1:2).

Бром употребляется в крепком растворе, но не пересыпанном (светло-красного цвета). В случае пользования в качестве реактива для поглощения C₂H₄ дымящей серной кислотой, разъедающей резину, надо в аппарате заменить средний поглотительный сосуд с резиновой пробкой сосудом с впаянной в него форсункой.

Для смены или промывки какого-нибудь из поглотительных сосудов, снимают с его капилляра *16* и форсунки *15* резиновые трубки, соединяющие их с краном *14* и, выдвинув из-под поглотителя движок, опускают сосуд в открытуюсь в подставке отверстие. При промывке сосудов лучше всего пускать струю через капилляр *16*, не трогая форсунки, тогда промывная вода будет вытекать под давлением через задний тубулусик. Если форсунка *15* и пробка *25* вынуты, то при обратной установке пробку надо воткнуть глубоко и плотно для того, чтобы при работе аппарата пузырьки газа не застревали у пробки и не влияли на точность анализа.

а) Анализ. Перед анализом пробы полезно сделать анализ окружающего аппарата воздуха для определения содержания в нем кислорода. Так как количество кислорода, входящее в формулы для подсчетов испытуемого газа, может отличаться от общепринятого 20,9%, то это значительно отразится на результате анализа. То же соображение касается и содержания CO₂ в воздухе.

Фильтр *13* продувают перед самым анализом, присоединив к нему газопровод *36*. Продувка самого аппарата производится подниманием и опусканием склянки *1* через краник *9* бюретки *3* и краны *12* и *10* распределителя *11* или специальной резиновой грушей.

Подводя уровень воды в бюретке до краника *9*, открывают кран *12* и забирают в бюретку спусканием склянки *1* пробу газа, несколько большую 100 см³. Закрыв кран *12* и сжав газ поднятием склянки *1* в бюретке до объема в 100 см³,

зажимают рукой резиновую трубку 2 и, повернув краник 9, выбрасывают через него излишек для приведения газа к атмосферному давлению.

Поставив склянку 1 на верх прибора, поворачивают кран 14 на соединение бюретки 3 с форсункой 15 первого поглотителя справа, перекачивая в него, таким образом, газ. Перед окончанием перекачки, подтормаживая воду зажатием левой рукой трубы 2 и не снимая с аппарата склянки 1 (чтобы не затянуть реактива в форсунку 15 и далее в кран), переводят кран 14 направо на соединение с капилляром 16 и затем уже опусканием склянки 1 поднимают уровень реактива. Подводя его в капилляр 16 и закрыв кран 14, судят о количестве поглощенного CO_2 по уменьшению объема газа в бюретке 3. Затем повторяют то же со вторым поглотителем; при этом пары брома (или серной кислоты) наполняют бюретку и увеличивают объем. После двух-трех прокачек через реактив, он (реактив) подводится в капилляр 16 и кран закрывается, а оставшийся в бюретке газ перегоняется опять в едкий калий до полного поглощения паров брома или серной кислоты. Затем уже по уменьшению объема против первого отсчета судят о поглощенных C_2H_4 , после чего подобным же образом перекачкой в третий сосуд определяют содержимое O_2 , для полного поглощения которого требуется при свежем реагенте от 2 до 4 качаний. Число CO_2 2—3 качания, для C_2H_4 2—3 качания и для O_2 3—4 качания. Крановая часть 14 третьего поглотителя имеет на правом колене уширение для улавливания пузырьков раствора пирогаллола, в случае попадания их в капилляр.

б) Дожигание. Закончив поглощение CO_2 , C_2H_4 и O_2 , приступают к определению CO , CH_4 и H_2 путем дожигания в платиновой или кварцевой, наполненной через кран 9 поднятием склянки 1 большую часть пробы, оставляя 30 см³. Уменьшив пробу, добавляют в нее опусканием склянки 1 воздух так, чтобы 100 см³ (т. е. "0") не следует, так как легко перейти за 100, и анализ будет затруднен введением поправок.

Установив кран 10 на соединение бюретки с дожигательным штепслем 5', загибают горелку 22 и, раскалив ее петлю 7, три—четыре раза медленно пропускают через последнюю всю пробу при помощи склянки 1. По окончании дожигания (в некоторых случаях показателем этого является исчезновение дымка, появляющегося в начале дожигания) гасят горелку 22 и несколькими перекачиваниями пробы из бюретки 3 в колокол 4 охлаждают газ. Способствует этому двойное охлаждение колокола 4 поднимающейся водой в бюретке 3 и в стакане. Охлаждение должно производиться до тех пор, пока при подтянутой в капилляре 33 воде уровень последней в бюретке 3 не будет постоянным. От полноты охлаждения в значительной степени зависит точность анализа. Большинство ошибок происходит из-за недоохлаждения.

Охладив пробу, подводят воду в колоколе 4 до капилляра 33 и, переключив кран 10 на соединение бюретки с распределителем 11, отсчитывают уменьшение объема пробы после дожигания. Затем, перекачкой ее в соответствующие поглотители, дополнительно определяют содержание CO_2 , образовавшейся из горевших газов и оставшегося неизрасходованного на дожигание O_2 .

По соответствующим зависимостям определяют содержание CO , CH_4 и H_2 в пробе следующими подсчетами.

Подсчеты:

1. Определено непосредственно поглощением $\text{CO}_2 \text{ см}^3$
2. " " " $\text{C}_2\text{H}_4 \text{ см}^3$
3. " " " $\text{O}_2 \text{ см}^3$
4. Из остатков газа удалена часть и оставлено $K \text{ см}^3$
5. Добавлено воздуха так, что полный объем $V^{\text{до}} \text{ см}^3$
6. После дожигания объем газа $V^{\text{по}} \text{ см}^3$
7. Определено дополнительным поглощением $\text{CO}_{2\text{доп}} \text{ см}^3$
8. " " " $\text{O}_{2\text{ост}} \text{ см}^3$

тогда, обозначив: $O_{\text{см}} = (V^{\text{до}} - K) \frac{O_{\text{возд}}}{100}$ и определив $a = O_{\text{доп}} = O_{\text{см}} - O_{\text{ост}} =$

$$= (V^{\text{до}} - K) \frac{O_{\text{возд}}}{100} - O_{\text{ост}}; b = \text{CO}_{2\text{доп}}$$

$c = V - V^{\text{по}}$, получаем содержание метана (CH_4), окси углерода (CO) и водорода (H_2) в уменьшенной и разбавленной пробе на основании законов горения

$$\text{ch}_4 = \frac{3a - b - c}{3}, \text{co} = b - ch_4; h_2 = c - a$$

Умножив полученные величины на отношение $\epsilon = 100 - \frac{(\text{CO}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{O}_2)}{K}$,

т. е. приводя к первоначальной пробе, получим содержание H_2 , CH_4 и CO во всей взятой пробе.

В случае заметного содержания CO_2 в воздухе, в формулу для b необходимо внести поправку, считая

$$b = \text{CO}_{2\text{доп}} - \text{CO}_{2\text{см}}, \text{ где } \text{CO}_{2\text{см}} = (V^{\text{до}} - K) \frac{\text{CO}_{2\text{возд}}}{100}$$

Для получения теплотворной способности 1 м³ газа умножаем содержание горючих в газе, выраженное в процентах, на соответствующие теплотворные способности (деленные на 100) и, просуммировав, получаем искомую калорийность газа.

Для подсчетов можно пользоваться следующей формулой

$$Q = 25,80 \text{ H}_2 + 30,45 \text{ CO} + 85,90 \text{ CH}_4 + 143,00 \text{ C}_2\text{H}_4$$

Термоэлектрические пиromетры. Эти приборы получили в настоящее время широкое распространение. Они основаны на термоэлектрических явлениях, открытых Зебеком, и заключаются в следующем. Если сварить между собой две проволоки из различных металлов и поддерживать в месте спайки или сварки некоторую температуру, не одинаковую с температурой несваренных концов, то в месте сварки возникает электродвижущая сила.

Для изготовления пиromетров пользуются комбинациями различных металлов и сплавов, дающих разные электродвижущие силы.

Наиболее часто встречаются следующие комбинации металлов (табл. 56).

Таблица 56

№ по пор.	Наименование термопары	Электродвижущая сила в милливольтах на 100°							
			1	2	3	4	5	6	7
1	Платина и сплав платины с родием	1,1							
2	Серебро и константан	1,2							
3	Медь и константан	5,6							
4	Никель и константан	5,8							
5	Никель и медь	2,3							
6	Железо и константан	6,1							
7	Железо и никель	6,7							
8		7,5							

Измерение температуры посредством термопары сводится к измерению некоторой разности потенциалов. Для этой цели пользуются схемой замкнутой цепи, представленной на рис. 123, где 2 и 3 представляет собой термопару (две разнородные проволоки), включенную в зажимы гальванометра 6 при помощи проводников 4 и 5.

T_0 — температура „холодного спая“ проволок поддерживается равной 0°C , т. е. они обычно помещаются в сосуд с тающим льдом.

Оптические пирометры (Гольборна, Ваннера и другие) употребляются только при измерении раскаленных тел.

7) Измерение температуры генераторного газа. Температура отходящего из генератора газа измеряется в выходном патрубке посредством железно-константановой или никель-никель-хромовой термопары, или другими. Потеря тепла с отходящими газами, отнесенная на 1 кг газифицируемого топлива, определяется следующим выражением:

$$Q_{o.r.} = V_r^c C_p (t_2 - t_1) + W C_p' (t_2 - t_1) \text{ кал./кг}$$

где: $Q_{o.r.}$ — физическая теплота газа в кал./кг,

V_r^c — выход газа из 1 кг топлива в $\text{м}^3/\text{кг}$, средняя объемная теплоемкость газа при постоянном давлении в $\text{кал./м}^3 \text{ }^\circ\text{C}$,

t_2 — средняя температура отходящих газов, за время испытания,

t_1 — средняя температура газа, поступающего в двигатель,

W — влажность газа в $\text{м}^3/\text{кг}$,

C_p' — средняя теплоемкость водяного пара при постоянном давлении в $\text{кал./м}^3 \text{ }^\circ\text{C}$.

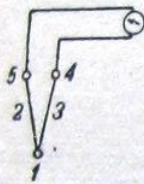
Рис. 123. Схема гальванометра с термопарой.

На рис. 124 приведена градуировочная кривая хромель-алюминевой CrAl—Al термопары, где по оси абсцисс отложены милливольты, а по оси ординат градусы Цельсия.

8) Измерение температур в топливнике и на поверхности генератора. Измерение температур в топливнике генератора производится по высоте и радиусу топливника в целях выяснения распределения температур в активной части генератора. Измерение производится посредством оптических приборов Гольборн, Ваннер или термопарами. В зависимости от высоты перепада температур употребляются термопары железо-константановые (Fe—Const), никель-никель-хромовые (Ni—NiCr) или платино-платинородиевые (Pt—PtRh).

Для предохранения термопар от разрушения, они заключаются в железные, в фарфоровые или в кварцевые чехлы, при чем градуировка их производится в этих чехлах.

Температура на поверхности генератора измеряется термошупом, представляющим собой термопару специального устройства.



Для определения теплоотдачи генератора в окружающую среду производится измерение температуры на его поверхности в нескольких точках для нанесения результатов на кривую. Подсчет потери тепла производится по формуле

$$Q_2 = \alpha F (t_1 - t_2) \text{ кал./час} \dots \dots \dots (92)$$

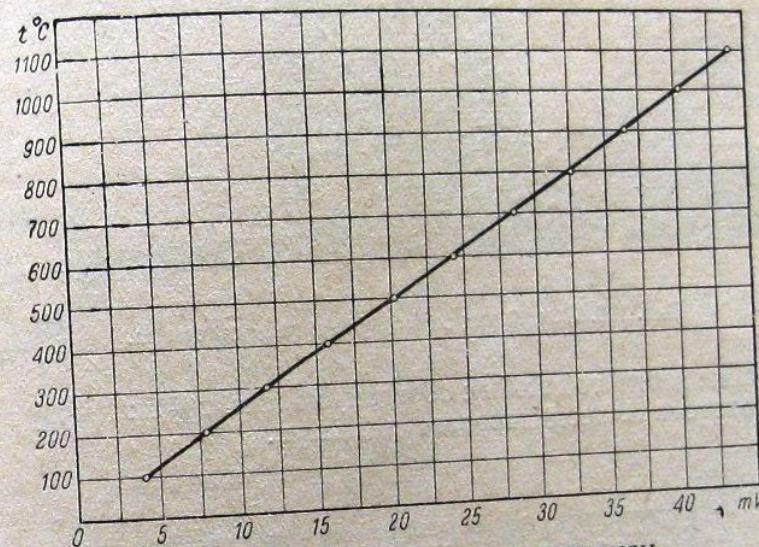


Рис. 124. Градуировочная кривая термопары.

где: Q_2 — теплоотдача генератора в окружающую среду в кал./час, F — поверхность генератора в м^2 , t_1 — температура на поверхности генератора, t_2 — температура воздуха, $\alpha = \alpha_r + \alpha_c$ — суммарный коэффициент теплоотдачи, $\alpha_r = \frac{(t_1 + 273)}{100} - \frac{(t_2 + 273)}{100}$ — коэффициент тепlop передачи излучением,

$\alpha_c = 2,2 \sqrt[4]{t_2 - t_1}$ — коэффициент тепlop передачи конвекцией для вертикальной поверхности,

$\alpha_c = 2,8 \sqrt{t_2 - t_1}$ — для горизонтальной поверхности.

На рис. 125 и 126 представлен общий вид термошупа, милливольтметра и кривая термошупа.

9) Измерение разрежения в газопроводе производится, так называемым, водяным манометром. Простейший манометр (рис. 127) состоит из U-образной трубки, прикрепленной к деревянной дощечке, на которую наклеена полоска миллиметровой бумаги. Трубка наполнена наполовину ртутью или окрашенной водой. Если один конец такой трубки соединить с газопроводом, в котором давление ниже атмосферного, то жидкость поднимается в этом колене, а во втором на столько же опускается, и разность их покажет степень разрежения в газопроводе по

сравнению с атмосферным давлением. Форма трубки не имеет значения, она может быть прямой вертикальной, прямой наклон-



Рис. 125. Общий вид термощупа и гальванометра.

ной или же изогнутой любым образом, колена трубы могут быть одинакового или неодинакового диаметра.

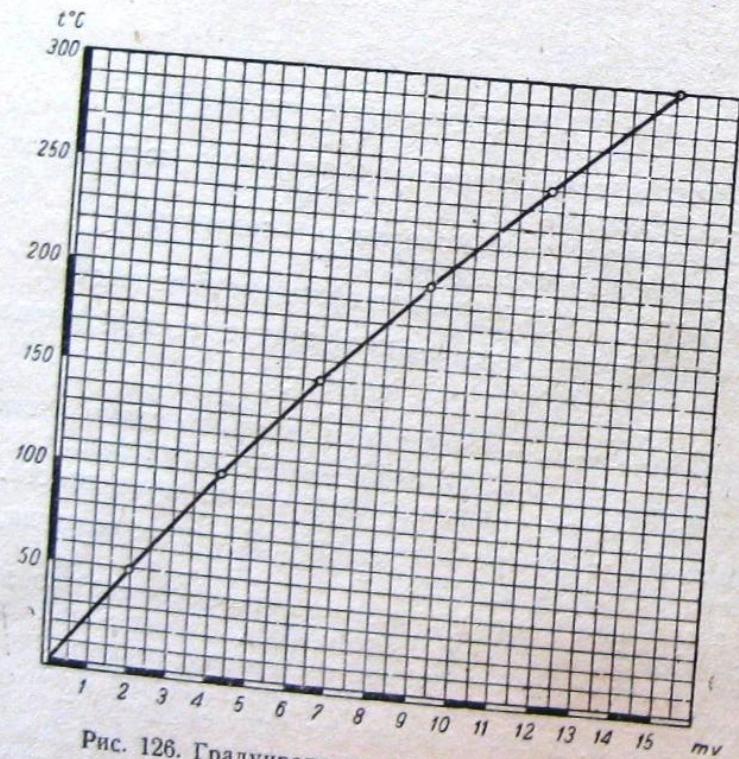


Рис. 126. Градуировочная кривая термощупа.

10) Измерение температуры воды, поступающей и выходящей из скруббера и двигателя, производится

с помощью обыкновенных ртутных термометров со шкалой от 0° до 100° Ц.

11) Измерение расхода воды на охлаждение газа в скруббере и на охлаждение двигателя производится при помощи различного рода мерительных бачков.

12) Измерение температуры помещения производится помощью обыкновенных термометров.

13) Тепловой баланс двигателя. Тепловой баланс составляется с целью выявления экономичности работы двигателя. Уравнение теплового баланса имеет следующий вид

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \dots \dots \dots \quad (93)$$

где: Q — тепло, расходуемое в 1 час,

q_1 — тепло, полезно использованное,

q_2 — тепло, израсходованное на механические потери,

q_3 — тепло, теряемое с охлаждающей водой,

q_4 — тепло, теряемое с отходящими газами,

q_5 — тепло, теряемое на лучеиспускание, неполноту горения топлива и проч.

Количества теплоты q_1 , q_2 , q_3 и т. д. относят при составлении теплового баланса двигателя к 1 л. с./час.

Тепловой баланс составляется по следующей схеме.

1) Тепло, подведенное с топливом в двигатель в час, определяется по формуле

$$Q = G_t Q_t \text{ кал./час} \dots \dots \dots \quad (94)$$

где: G_t — часовой расход топлива в кг,

Q_t — низшая теплотворная способность топлива;

2) Тепло, полезно использованное

$$q_1 = 632 N_e \text{ кал./час}$$

3) Тепло, израсходованное на механические потери

$$q_2 = 632 (N_i - N_e) \text{ кал./час} \dots \dots \dots \quad (95)$$

4) Тепло, потерянное с охлаждающей водой

$$q_3 = g_w (t_2 - t_1) \text{ кал./час} \dots \dots \dots \quad (96)$$

где: g_w — часовой расход воды на двигатель в кг или в л,

t_2 — температура воды, выходящей из двигателя,

t_1 — температура воды, поступающей в двигатель.

5) Тепло, потерянное с отходящими газами

$$q_4 = C_p G_t g (t_r - t_n) \text{ кал./час} \dots \dots \dots \quad (97)$$

где: C_p — средняя теплоемкость отработавших газов при постоянном давлении в кал./кг,

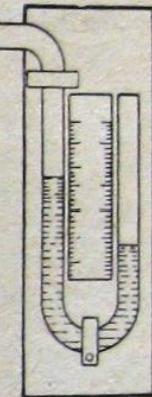


Рис. 127. Водяной манометр.

G_m — часовой расход топлива в кг,

g — все продукты горения 1 кг топлива в кг,

t_r — температура отработавших газов при выхлопе,

t_n — температура машинного отделения.

6) Тепло, теряемое на лучеиспускание, неполное сгорание топлива, неточности наблюдений и другие малоучитываемые потери определяются как разность между подведенным количеством тепла и количеством тепла, затрачиваемого на все остальные потери

$$q_5 = Q - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4) \text{ кал./час.} \dots \dots \dots (98)$$

На рис. 128 приведен примерный график распределения тепла по указанным выше статьям при различных режимах работы двигателя.

Тепловой баланс дает ясное представление об отдельных потерях тепла и указывает на методы более рационального использования топлива.

Для составления теплового баланса необходимо произвести замер и подсчет следующих величин.

1) G_t — расход топлива двигателем в кг/час,

2) Q_t — низшая теплотворная способность топлива,

3) $N_i = \frac{F_{spinim}}{60 \cdot 75}$ л. с. — индикаторная мощность,

4) $N_e = \frac{P_{Ln}}{716,2}$ л. с. — эффективная мощность,

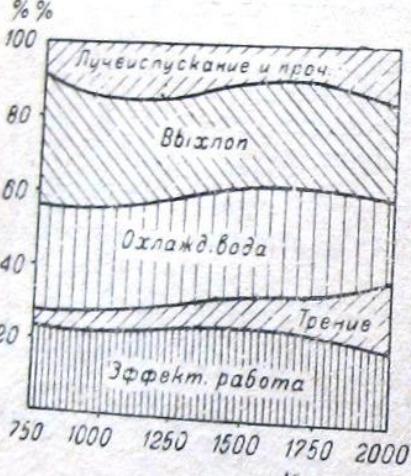


Рис. 128. График теплового баланса.

5) $g_e = \frac{G_t}{N_e}$ кг/час — удельный эффективный расход топлива,

6) $g_i = \frac{G_t}{N_i}$ кг/час — удельный индикаторный расход топлива,

7) g_b — расход охлаждающей воды в кг/час,

8) t_1 — температура воды, поступающей в двигатель,

9) t_2 — температура воды, выходящей из двигателя,

10) t_n — температура машинного отделения,

11) t_r — температура отходящих газов,

12) g — вес продуктов сгорания в кг/час,

13) C_p — теплоемкость продуктов сгорания кал./кг,

14) C, H, O — химический состав топлива по весу,

15) CO_2, O_2 и CO — состав продуктов сгорания.

Глава VIII МОНТАЖ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Монтаж газогенератора, скруббера и очистителя. При монтаже газогенератора, скруббера и очистителя необходимо обратить самое серьезное внимание на плотность всех соединений и устанавливать для этого в местах соединения надежные азbestовые прокладки. Ненадежная герметичность допускает засасывание воздуха в местах соединения и в связи с этим нарушается режим работы газогенераторной установки. В особенности вреден подсос воздуха в горячей части газогенератора (в зольнике и зольниковой дверце), вызывающей частичное сгорание газа и перегрев отдельных частей.

При монтаже газогенератора на катере необходимо предотвратить возможный нагрев деревянных частей, расположенных близко к газогенератору. Для этого нужно изолировать нагретые поверхности газогенератора азbestом.

Монтаж газопроводов. Соединение газогенератора со скруббером (водяным охладителем), скруббера с очистителем и очистителя с двигателем производится посредством газовых труб на фланцах. Соединение газопроводов посредством муфт не рекомендуется, ввиду трудности разборки.

При монтаже газогенераторной установки газопроводы следует выполнять возможно короче и избегать резких поворотов (углов) и сужений, так как при этом сильно возрастает сопротивление прохождению газа и мощность двигателя снижается.

Точно также необходимо при монтаже газопроводов обратить особое внимание на плотность всех соединений. Для этого необходимо между фланцами устанавливать азbestовые прокладки толщиной в 3—5 мм, а сами фланцы приваривать к газопроводам.

Неплотность соединений газопроводов в горячей части установки (например, газопровод, соединяющий генератор с скруббером, где температура газа доходит до 600—700°) ведет к засасыванию воздуха в газопровод и частичному сгоранию газа в месте подсоса.

Подсос воздуха в холодных частях установки (в газопроводах после скруббера, где температура газа равна 15—25°) ведет к обеднению газа и к повышению сопротивления. В зависимости от количества подсасываемого воздуха оба фактора нарушают гибкость регулирования двигателя и вместе с тем понижают его мощность.

После монтажа газопроводов испытывается вся установка на плотность. Для этого газопровод заглушают около двигателя, разжигают генератор на дровах (для получения газа темного цвета) и нагнетают в него воздух вентилятором. В этом случае выход газа в местах соединений указывает на наличие неплотностей.

Подготовка газогенераторного агрегата к пуску. Перед пуском в ход газогенераторной силовой установки необходимо проверить действие магнето, уровень и качество масла в картере двигателя, наличие бензина в баке и карбюраторе (если двигатель пускается на бензине), открытие и закрытие всасывающих и выхлопных клапанов, а также компрессию двигателя путем проворачивания коленчатого вала двигателя (проверка производится в целях выяснения засмоления клапанов и поршневых колец), исправность открытия и закрытия бензинового и газового дросселей и воздушных заслонок, а также и смазку трущихся частей двигателя. Затем надо открыть кран, подводящий воду в двигатель и скруббер, прочистить зольник и колосниковую решетку газогенератора, проверить герметичность крышки очистителя, скруббера, а также герметичность всех соединений и приступить к розжигу газогенератора.

Розжиг газогенератора. Для того, чтобы перевести двигатель с бензина на газ или запустить двигатель непосредственно на газе, надо предварительно разжечь газогенератор и получить горючий газ.

Розжиг газогенератора может быть осуществлен двумя способами: естественной и искусственной тягой при помощи двигателя или посредством вентилятора.

Примечание. В настоящее время Челябинский тракторный завод, автомобильный завод им. Сталина и Горьковский автозавод выпускают газогенераторные автомобили, тракторы и газогенераторные двигатели, которые заводятся непосредственно на генераторном газе.

Розжиг газогенератора, работающего по обращенному процессу на древесине, посредством естественной тяги. При розжиге газогенератора естественной тягой могут встретиться два случая: 1) когда в газогенераторе нет топлива, 2) когда в газогенераторе осталось топливо от предыдущей работы.

Для того чтобы разжечь газогенератор, в котором нет остатков топлива, необходимо проделать следующие операции: открыть загрузочный люк и загрузить газогенератор древесным углем выше фурм на 200—300 мм; открыть зольниковый люк, зажечь факел и поместить его в зольник; дать слою угля раскалиться до высоты воздушных фурм; догрузить газогенератор древесиной до крышки загрузочного люка; закрыть герметически сперва зольниковый, а затем загрузочный люк; запустить двигатель на бензине и посредством регулировки бензинового и газового дросселей и воздушных заслонок перевести его на генераторный газ.

В том случае, когда в газогенераторе осталось топливо от предыдущей работы, перед розжигом необходимо прочистить зольник и колосниковую решетку, сохранив остальной порядок розжига и перевод двигателя с жидкого топлива на газ точно в том же порядке, как в предыдущем случае. Длительность розжига газогенератора (поднятие раскаленного слоя угля до уровня фурм) равна 30—40 мин., а длительность перевода двигателя с жидкого топлива на газ сводится к 0,5—1,0 мин.

В случае отсутствия древесного угля розжиг газогенератора может быть произведен на древесине. При этом высоту раскаленного слоя угля следует поднять выше фурм, в целях более полного обугливания древесины, находящейся в топливнике. При несоблюдении этого требования засмолятся клапана и поршневые кольца двигателя.

Недостатком розжига газогенератора естественной тягой следует считать чрезмерную длительность этой подготовительной операции (30—40 минут).

Розжиг газогенератора, работающего по обращенному процессу на древесине, при помощи двигателя производится в следующем порядке: открывают загрузочный люк и загружают газогенератор древесным углем выше уровня фурм на 200—300 мм; догружают газогенератор древесным топливом до крышки загрузочного люка; закрывают герметически зольниковый и загрузочный люки; запускают двигатель на бензине и посредством регулирования бензинового и газового дросселей устанавливают поток воздуха через всю систему газогенераторной установки; разжигают факел и помещают его в смотровом люке, расположенным на уровне фурм. После 2—3-минутной работы двигателя на смеси бензина и газа приступают к регулированию воздуха в смесителе, т. е. приступают к частичному открытию воздушно-газовой заслонки смесителя, и после того, как двигатель начнет работать исправно на газе, перекрывают приток бензина.

Продолжительность розжига газогенератора данным способом и перевод двигателя с бензина на газ продолжается от 5 до 7 минут.

В случае наличия в газогенераторе топлива, оставшегося от предыдущей работы, розжиг осуществляется в той же последовательности; причем перед розжигом необходимо додогрузить газогенератор топливом полностью и очистить зольник и колосниковую решетку от золы, угольной мелочи и шлака.

Розжиг газогенератора вентилятором. В целях экономии жидкого топлива, а также сохранения двигателя от засмоления и повышенного износа, розжиг газогенератора лучше всего производить посредством центробежного вентилятора, приводимого в движение от руки или от электромотора.

Вентилятор в судовых условиях должен работать как нагнетатель воздуха в газогенератор, так как это дает возможность проверить установку на герметичность, а также производить

режиг генератора без засорения скруббера и очистителей и подавать газ непосредственно к смесителю.

На газоходах, имеющих аккумуляторы, следует устанавливать электромотор для приведения в действие вентилятора, как это сделано, например, на трехтонных газогенераторных грузовиках завода им. Сталина.

Потребная мощность электромотора составляет 200 ватт при напряжении в 12 вольт. Число оборотов вентилятора в минуту равно 4000.

Продолжительность розжига газогенератора ручным вентилятором составляет 15—20 минут, а при помощи электромотора около 5—10 минут.

Последовательность операций при розжиге газогенератора посредством вентилятора остается неизменной, а продолжительность перевода двигателя с бензина на газ составляет 0,5—1,0 мин.

Обслуживание газогенератора. Обслуживание газогенератора сводится к следующим основным требованиям.

Во время работы газогенератора уровень топлива в бункере следует поддерживать в газогенераторе обращенного процесса не ниже 100—200 мм над уровнем фурм, а в газогенераторе прямого процесса не ниже пояса, устанавливаемого в зависимости от рода газифицируемого топлива, его размера и производительности газогенератора.

Периодичность шуровки газогенератора зависит от образования сводиков перед фурмами и от количества образующегося шлака.

Чистка зольника и колосниковой решетки от угольной мелочи, золы и шлака производится в зависимости от сопротивления газогенератора и количества угольной мелочи и золы в зольнике и, как правило, не чаще чем через 24—36 часов работы двигателя. Сопротивление газогенератора допускается до 200—300 мм в. с., после чего следует вычистить зольник и прочистить колосниковую решетку.

Обслуживание скруббера. Обслуживание скруббера сводится к следующим наблюдениям:

Наблюдение за температурой отходящего из скруббера газа, которая не должна превышать 20—25°.

Наблюдение за величиной сопротивления, которое лежит в пределах 100—400 мм в. с. В случае повышения температуры газа, выходящего из охладителя, до 40—50°, необходимо выяснить причину и устранить ее.

Наблюдение за манометром, фиксирующим давление воды, поступающей в скруббер.

Наблюдение за герметичностью люков и отдельных соединений.

Обслуживание очистителя. Обслуживание очистителя сводится к наблюдению за сопротивлением после очистителя, которое лежит в пределах 300—600 мм в. с.

При повышении сопротивления после очистителя выше 600 мм в. с. следует произвести чистку.

Необходимо также вести тщательное наблюдение за герметичностью крышки очистителя, люков и отдельных соединений.

Остановка газогенераторного агрегата. Перед остановкой газогенераторного агрегата следует проделать следующее:

Перевести двигатель с газа на бензин (если двигатель заводится на бензине) и дать ему проработать в течение 2—3 минут.

Уровень топлива в газогенераторе оставить выше уровня фурм на 200—300 мм.

Во избежание вспышки газа в газогенераторе после остановки двигателя, желательно сразу же открыть топливный люк на 2—3 минуты.

По истечении 2—3 минут следует герметически закрыть топливный люк, после чего газогенератор заглохнет.

Обтереть двигатель и привести в надлежащий вид машинное и газогенераторное отделения.

Возможные неполадки в работе газогенераторного агрегата и их устранение. Неисправность в работе газогенераторного агрегата может появиться вследствие невыполнения инструкции по обслуживанию установки. Среди неисправностей установки, нарушающих нормальную работу двигателя, наблюдаются следующие:

Мощность двигателя падает, двигатель сбавляет число оборотов, газоход уменьшает скорость вследствие того, что топливо в бункере задерживается, т. е. образовывается выше фурм свод, и активная зона газогенератора обращенного процесса опускается.

Для устранения этого необходимо газогенератор прошуровать и, если зона низко опустилась и мощность (скорость газохода) не восстанавливается, то необходимо поднять зону газогенератора до нормального уровня (до уровня воздушных фурм); причем, поднятие зоны производится в этом случае вторичным розжигом газогенератора, т. е., не останавливая двигатель, подносят горящий факел в смотровый люк и поджигают топливо, находящееся на уровне фурм.

Мощность двигателя падает (газоход снижает скорость), сводика нет, но зона снизилась, т. е. на уровне воздушных фурм нет горящего топлива. Необходимо зону поднять методом, указанным в предыдущем пункте.

Мощность двигателя падает все ниже и ниже, настолько, что приходится выключить реверсивную муфту.

Зоны в смотровом люке не видно, разрежение перед смесителем нормально, т. е. лежит в пределах 400—600 мм в. с. В этом случае необходимо остановить двигатель, а розжиг генератора произвести сызнова, т. е. открыть сначала загрузочный, а потом зольниковый люк и поднять зону до уровня фурм и несколько выше (50—100 мм). Когда зона восстановлена, надо закрыть сначала зольниковый, а потом загрузочный люк и перевести двигатель с бензина на газ.

Зона в газогенераторе может снижаться от следующих причин:

Образование свода выше фурм (образование сводиков может происходить исключительно из-за повышенного размера топлива).

Несвоевременная засыпка топлива (газовщик несвоевременно загрузил топливо, т. е. топливо в генераторе выгорело ниже фурм, после чего газовщик приступил к загрузке).

Влажность газифицируемого топлива повышена, т. е. выше 20—25%. На влажность топлива следует обратить самое серьезное внимание, так как при повышенной влажности все современные газогенераторы обращенного процесса работать не могут, а следовательно, топливо должно своевременно заготовляться и храниться в закрытых помещениях.

Мощность двигателя падает, а зона находится на уровне фурм, т. е. установилась нормально. В этом случае необходимо проверить разрежение после генератора, очистителя перед смесителем, или перед клапанами.

Если при проверке обнаружилось, что сопротивление перед клапанами повышенено, т. е. оно поднялось с 400—600 мм в. с. до 1500—2000 мм в. с., то в этом случае необходимо прочистить тот объект (генератор, скруббер, очиститель), в котором обнаружено повышенное сопротивление. Падение мощности двигателя в этом случае произошло от уменьшения коэффициента наполнения двигателя.

Генераторный газ из скруббера выходит с повышенной температурой (выше 40—50°), газопровод нагрет, вследствие чего мощность двигателя постепенно уменьшается. В этом случае необходимо прочистить разбрзгиватель.

Воздушная заслонка смесителя при работе двигателя не может быть открыта, так как двигатель при незначительном уже открытии ее начинает уменьшать число оборотов. В этом случае следует искать подсос воздуха в люках, в местах соединения газопроводов или в крышках и после нахождения устранить их.

После розжига генератора двигатель с трудом переводится на газ или совсем не переводится. В этом случае необходимо проверить герметичность зольниковой дверцы газогенератора и остальных люков. В случае герметичности всех приведенных мест, двигатель после розжига должен исправно и быстро переводиться на газ.

Если и после проверки двигатель не переводится на газ, то необходимо проверить открытие клапанов, т. е. не засмолились ли они (засмоленные клапаны обычно не опускаются).

Засмоление клапанов может произойти исключительно по причине неправильного обслуживания, т. е. вследствие недостаточно хорошего розжига газогенератора, или вследствие длительной работы двигателя на холостом ходу или с пониженной нагрузкой.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	СТР.
Предисловие	3
Глава I. Возникновение, назначение и общее устройство газогенератора	5
Введение	5
§ 1. Сущность газогенераторного процесса	6
§ 2. Устройство газогенераторов прямого процесса	6
§ 3. Устройство газогенератора обращенного процесса	10
Глава II. Горение и топливо	
§ 4. Твердые топлива	14
§ 5. Торф и его газификация	16
§ 6. Бурый уголь	17
§ 7. Каменный уголь и его газификация	18
§ 8. Антрацит и его газификация	18
§ 9. Кокс и его газификация	20
§ 10. Дрова и их газификация	21
§ 11. Древесный уголь и его газификация	24
§ 12. Теплотворная способность и элементарный состав твердого топлива	26
§ 13. Горение топлива и подсчет потребного для него количества воздуха	29
§ 14. Количество продуктов полного сгорания, получаемое от сжигания 1 кг топлива при теоретическом количестве воздуха	31
§ 15. Уравнение сгорания газов, их весовые и объемные соотношения	32
§ 16. Определение теоретически необходимого количества воздуха для сгорания 1 м ³ и 1 кг генераторного газа	34
§ 17. Газообразное топливо	36
Глава III. Теория генераторного процесса	
§ 18. Образование генераторного газа при прямом процессе	38
§ 19. Образование генераторного газа при обращенном процессе	44
§ 20. Теоретический количественный состав газа при воздушном процессе	47
§ 21. Коэффициент полезного действия генератора	49
§ 22. Определение теоретической температуры в генераторе при воздушном процессе для двух случаев	52
§ 23. Факторы, определяющие соотношение компонентов генераторного газа	54
§ 24. Теплотворная способность газа	67
§ 25. Теплоемкость газа	72
§ 26. Определение весового содержания отдельных химических элементов в 1 м ³ газа	72
§ 27. Определение выхода газа из 1 кг газифицируемого топлива	73
§ 28. Определение количества воздуха, потребного для газификации 1 кг топлива	75
§ 29. Определение содержания влаги газа	77
§ 30. Факторы, влияющие на процесс генерации	79
§ 31. Материальный и тепловой баланс генератора	83
Глава IV. Конструктивный расчет газогенератора	
§ 32. Конструктивный расчет газогенератора обращенного процесса	95
§ 33. Пример расчета древесного газогенератора для двигателя ЧТЗ-60	101

§ 34. Пример расчета антрацитового газогенератора для двигателя мощностью в 240 л. с.	106
§ 35. Очистка и охлаждение газа	109
§ 36. Расчет очистителя и скруббера	116
§ 37. Пример расчета скруббера (по схеме НАТИ)	121
§ 38. Смесители газа и воздуха	125

Глава V. Отечественные судовые газогенераторные установки

§ 39. Судовая газогенераторная установка ЦНИИВТ-3 для газоходов мощностью в 60 л. с.	135
§ 40. Судовая газогенераторная установка конструкции московской судостроительной верфи МСВ-84 для газоходов мощностью в 60 л. с.	141
§ 41. Судовая газогенераторная установка Лесосудомаштрома ЛС-2 для газоходов мощностью в 60 л. с.	145
§ 42. Судовая газогенераторная установка ЦНИИ Лесосплава СВК-9 для газоходов мощностью в 60 л. с.	150
§ 43. Судовая швырковая газогенераторная установка ЦНИИ Лесосплава Ш-5 для газоходов мощностью в 60 л. с.	153
§ 44. Судовая швырковая газогенераторная установка конструкции ЦНИИВТ-7 для газоходов мощностью в 60 л. с.	157
§ 45. Судовая швырковая газогенераторная установка конструкции ЦНИИВТ-6 для газоходов мощностью в 120 л. с.	161
§ 46. Судовая антрацитовая газогенераторная установка Техконбюро-1 для газоходов мощностью в 240 л. с.	173
§ 47. Антрацитовый газогенератор завода „Красный Дон“ для газоходов мощностью 60 л. с.	177

Глава VI. Перевод автотракторных двигателей с жидкого топлива на генераторный газ

§ 48. Общие сведения по двигателям внутреннего сгорания, которые переводятся с жидкого топлива на генераторный газ	178
§ 49. Характеристики двигателей	191
§ 50. Факторы, определяющие эффективную мощность двигателя при переводе его на газ	195
§ 51. Способы повышения мощности двигателей, переводимых с жидкого топлива на генераторный газ	208
§ 52. Факторы, предупреждающие детонацию	217
§ 53. Перевод тракторного двигателя ЧТЗ с жидкого топлива на генераторный газ	218
§ 54. Перевод тракторного дизеля М-17 на генераторный газ	220
§ 55. Перевод тракторных двигателей ХТЗ и СТЗ с жидкого топлива на генераторный газ	221
§ 56. Перевод автомобильного двигателя ЗИС с жидкого топлива на генераторный газ	223
§ 57. Перевод автомобильного двигателя ГАЗ с жидкого топлива на генераторный газ	225

Глава VII. Испытание судовых газогенераторных установок

Глава VIII. Монтаж и обслуживание газогенераторных установок

Ответственный редактор М. Б. Фабрикант.

Технический редактор К. М. Волчок.

Корректор Е. К. Шишакова.

Сдано в набор 10/II 1939 г.

Подписано к печати 8/III 1939 г.

Изд. № ЛО-6. Леноблголрнт № 1079. Тираж 2000 экз. Заказ № 824. Формат бумаги 60×92 см (1/16).
Бум. л. 8. Печ. л. 16. Авт. л. 17,65. Уч.-авт. л. 19,23. Тип. зн. в 1 печ. л. 47800.

Цена 4 р. 25 к., переплет 1 р. 50 к.

2-я типография ОГИЗа РСФСР треста „Полиграфкнига“ „Печатный Двор“ им. А. М. Горького.
Ленинград, Гатчинская, 26.