Л. К. КОЛЛЕРОВ

ГАЗОМОТОРНЫЕ УСТАНОВКИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1951 ЛЕНИНГРАД

Книга посвящена вопросу использования в народном хозяйстве СССР генераторного газа, получаемого из местных твердых топлив, в качестве горючего для двигателей внутреннего сгорания.

Излагаются характеристика твердых топлив и технология их подготовки для газификации, описываются конструктивные элементы газомоторных установок и газовых двигателей и приводятся примеры компоновки технологических схем. Даются краткие сведения по эксплоатации газомоторных установок.

Книга рассчитана на инженерно-технический персонал, работающий в области производства и эксплоатации газомоторных установок.

Рецензенты: канд. техн. наук *Л. М. ГУСЕВ* и канд. техн. наук *В. И. ГРИБАНОВ*
Редактор канд. техн. наук *А. Б. ГЕНИН*

ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА
Редакция литературы по машиностроению
Заведующий редакцией инж Ф. И. ФЕТИСОВ

«Обеспечить массовое строительство в сельских местностях... тепловых электростанций с локомобильными и газогенераторными двигателями».

(Из Закона о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг.)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Экономия жидкого топлива — одна из важнейших народнохозяйственных задач, выполнению которой партия и правительство уделяют исключительное внимание.

Крупными потребителями нефтяного топлива являются двигатели внутреннего сгорания, и перевод этих двигателей на местное топливо путем его газификации является наиболее эффективным практическим решением задачи экономии жидкого моторного топлива.

Указания партии и правительства, в особенности решения XVIII съезда ВКП(б) послужили могучим стимулом в деле производства и внедрения в народное хозяйство газомоторных установок. Наиболее значительные успехи в этом направлении были достигнуты в области легких транспортных газогенераторов автотракторного типа.

Территория Советского Союза богата разнообразными видами местного твердого топлива. Значительное количество этого топлива ежегодно возобновляется (растительные отходы, древесина), что определяет устойчивость энергетического хозяйства, создаваемого на базе такого топлива.

Наряду с транспортными двигателями, в различных отраслях народного хозяйства работает большое количество стационарных двигателей внутреннего сгорания, потребляющих жидкое топливо.

Вопросами перевода двигателей на газ, получаемый из твердого топлива, исследованием и созданием для этой цели конструкций газогенераторных установок успешно занимается в Советском Союзе ряд учреждений. Среди них необходимо отметить Энергетический институт Академии наук СССР имени академика Кржижановского, Центральный научно-исследовательский дизельный институт (ЦНИДИ), институт Энергетики Академии наук УССР, Всесоюзный научно-исследовательский институт Министерства железнодорожного транспорта, Центральный научно-исследовательский институт речного флота, Лесотехническую академию имени С. М. Кирова, Оргкоммунэнерго, Союздизельмонтаж и др.

Трудами различных организаций создан ряд газогенераторных установок, часть из которых строится сериями (например, конструкции ЦНИДИ — на заводах имени 25-го Октября и имени А. И. Микояна).

Следует особо отметить развитие в СССР теории горения и газификации твердого топлива, значительно опередившее состояние этих

вопросов за рубежом. Здесь в первую очередь следует упомянуть о коллективном капитальном труде советских ученых „Горение углерода", удостоенном в 1950 г. Сталинской премии.

В части практического перевода стационарных двигателей на местное твердое топливо сделано меньше, чем в области транспортных установок, хотя стационарные условия более благоприятны для применения генераторного газа, чем транспортные.

Если автотракторные и судовые газогенераторные установки более или менее широко освещены в технической литературе, то в части стационарных газомоторных установок такой литературы значительно меньше, и отечественный опыт в этой области обобщается совершенно недостаточно.

Настоящая работа является первой попыткой обобщить отечественный опыт в области стационарных газомоторных установок и представить хотя бы вкратце весь комплекс вопросов этой темы.

В связи с этим в работе даются характеристика твердого топлива и технология его подготовки для газификации, описываются конструктивные схемы газомоторных установок и даются основы их расчета, приводятся конструкции газогенераторов, газовых двигателей и примеры компоновки газомоторных установок. Заключительный раздел книги посвящен эксплоатации газомоторных установок.

Создание книги, охватывающей широкий круг вопросов по газомоторным установкам, представляет не мало трудностей, поэтому в ней возможны и некоторые недочеты.

Все замечания и полезные советы читателей будут приняты автором с благодарностью.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

В исследованиях о развитии техники тепловых устройств и теории теплоты в работах русских новаторов и ученых вопрос получения газа в „высоком слое" топлива почти не разбирался, в то время как этот вопрос имеет непосредственное отношение к зарождению принципов ведения газогенераторного процесса в России.

Одновременное появление механической теории теплоты М. В. Ломоносова, первого универсального двигателя И. И. Ползунова, серии экспериментальных исследований разнообразных тепловых процессов в работах М. В. Ломоносова, Г. В. Рихмана и И. И. Ползунова было важнейшим событием в истории мировой науки. Только создание механической теории теплоты и разгром лженаучных теорий флогистона и теплорода поставили физику и химию на действительно научную почву исследования, создав прочную основу для материалистического понимания изучаемых этими науками явлений природы.

Практическое использование тепла создало основу всего современного производства, открыв перед человечеством неограниченные возможности в овладении природой.

Основы этой научно-технической революции заложены в 1740—1760 гг. в России.

„Россия по праву является действительной родиной механической теории теплоты и первого универсального теплового двигателя" [8][1].

Большого мастерства в то время достигли и русские литейщики как в части технологии литья, так и в части техники постройки печей специальных конструкций и сжигания в них твердого топлива [1, 11, 16].

Получение газа из твердого топлива путем его „томления" или выжига в „высоком слое" можно отнести ко времени создания Петром Первым на Урале „железоделательного производства", т. е. в этой области Россия примерно на 135 лет опередила зарубежные страны.

Первые русские металлурги демонстрировали иностранцам способ получения тепла и плавку руды в „домнице". Именно тогда, впервые

[1] Цифры в квадратных скобках указывают литературный источник в списке литературы, приведенном в конце книги.

в истории, русские металлурги прокладывали путь к современному газогенератору.

О том, что русские мастера в этом деле достигли больших успехов, свидетельствует в своих записках западно-европейский историк конца XVIII в. металлург Л. Берг.

Опыт России широко использовался за границей, так как „творчество русского народа развивалось не где-то в стороне от столбовой дороги мирового прогресса. Русское творчество, охватывая все его отрасли, шло по тому же направлению и подчинялось тем же законам, как и развитие всего мирового творчества" [6].

Русская доменная техника, на базе которой возник газогенератор, всемерно культивировалась за границей, и иностранцы были частыми посетителями русских заводов и промыслов.

Поэтому не является случайностью то обстоятельство, что дата создания газогенератора за рубежом (1837 г.) совпадает с наибольшим расцветом доменного дела в России и дает возможность с большой долей достоверности высказать мнение о том, что именно на основе богатейшего опыта русских металлургов за границей было осуществлено создание самостоятельной газовой печи — газогенератора.

Реакционная политика царского самодержавия, стремившегося замалчивать достижения русского народа, привела впоследствии к тому, что в Россию газогенераторные установки стали поступать в качестве „импортной техники".

Роль газогенераторных установок в дореволюционной России была ничтожно мала. Это были маломощные установки с ручным обслуживанием; поставлялись они главным образом для металлургии и стекольной промышленности. Общее их количество накануне 1917 г. составляло около пятисот.

Не лучше обстояло дело и с газовыми двигателями.

Первые газовые двигатели в России начали работать в металлургическом производстве в 1899 г. Это были двигатели небольшой мощности (30 *л. с.*), которые в качестве топлива использовали доменный газ.

Незадолго до первой мировой войны было начато производство газовых двигателей большой мощности на Харьковском паровозостроительном заводе, которому удалось выпустить только две машины мощностью 3200 *л. с.*, так как с началом войны это производство было прекращено.

Наибольшего расцвета газогенераторо- и газомоторостроение в России достигло после установления советской власти. Почти с первых дней существования Советского государства партия и правительство твердо и неуклонно стали держать курс на самое широкое развитие добычи местных видов топлива и изыскание наиболее эффективных способов их энергетического использования.

Так, например, в период 1921—1922 гг., когда вся топливная промышленность только восстанавливала дореволюционные объемы производства, торфяная промышленность более чем утроила добычу по сравнению с 1913 г. Идея всемерного развития местных видов топлива, изложенная в Ленинском плане электрификации страны,

успешно проводилась и проводится в годы сталинских пятилеток.

XVI съездом ВКП(б) в качестве одной из задач социалистической реконструкции была выдвинута задача „максимального увеличения добычи и использования местных топлив (торф, сланцы, местные угли, природные газы), заменяя ими везде, где это возможно, дальнепривозное топливо" [23].

XVII съездом ВКП(б) еще раз была дана директива „Развернуть во всю добычу местных углей во всех известных районах, организовать новые районы угледобычи" [23].

На фоне общих энергетических задач меняется и газогенераторное хозяйство Советского Союза. К концу второй пятилетки общее число установленных стационарных газогенераторов доходит до 1500. Растет мощность отдельных агрегатов и увеличивается число полностью механизированных газогенераторов.

С целью замены дальнепривозного топлива местными видами твердых топлив для получения генераторного газа, за годы первой и второй пятилеток были проведены многочисленные опытные работы по газификации подмосковных, челябинских, кизелевских углей, торфа, горючих сланцев, соломы и других видов твердого топлива.

Период первой и второй пятилеток знаменателен началом работ по подземной газификации, идея которой принадлежит Д. И. Менделееву [19].

Недостаток жидкого моторного топлива для транспортных и стационарных установок с двигателями внутреннего сгорания уже в период 1918—1923 гг. приводит к мысли о необходимости расширения производства силового газа, открывая этим первую страницу в развитии советского газомоторостроения.

В 1921 г. создается первая советская автомобильная газогенераторная установка для древесного угля. В период 1918—1923 гг. С. И. Декаленков осуществил постройку тракторных газогенераторных установок „Пионер Д-1" и „Пионер Д-2". Большие работы по созданию отечественных автотракторных газогенераторных установок были развернуты в Научном автотракторном институте (НАТИ), в ЦНИИМЭ, в ВИСХОМ, в Московском высшем техническом училище имени Баумана, в Ленинградской лесотехнической академии имени Кирова и в других организациях.

Наиболее широкий размах газогенераторостроение принимает в период 1932—1936 гг., когда начинается массовый выпуск транспортных газогенераторных двигателей и принимаются к производству стационарные газовые двигатели и газогенераторные установки силового газа.

Большая заслуга в деле создания первых конструкций отечественных стационарных газовых двигателей и газогенераторов принадлежит Центральному научно-исследовательскому дизельному институту, которым был разработан также и первый стандарт 7107 на газовые двигатели, явившийся историческим этапом развития этой отрасли советского энергетического машиностроения.

Газогенерастростроение в СССР получает большое развитие

в результате постановления СНК СССР и ЦК ВКП(б) от 19 января 1935 г. — „О недостатках в работе Народного комиссариата лесной промышленности в области лесозаготовок и лесосплава и о мерах ее улучшения". СНК СССР и ЦК ВКП(б) в этом решении указали на необходимость скорейшего перевода тракторов и автомобилей, занятых на лесных работах, с жидкого на древесное топливо и организации массового производства на заводах автотракторостроения газогенераторов и деталей к ним.

В связи с постановлением СНК СССР от 23 февраля 1935 г. „О производстве газогенераторных автомобилей и тракторов и других видов транспортных машин" выпуск газогенераторных установок для работы на древесном топливе принял широкие размеры.

СНК СССР и ЦК ВКП(б) постановлением от 15 ноября 1938 г. „Об улучшении работы лесозаготовительной промышленности СССР" признали важнейшей задачей в области механизации лесозаготовок перевод в 1939 г. автотракторного парка лесной промышленности на древесное топливо; обязали лесозаготовительные организации Наркомлеса создать специальные пункты по заготовке древесного газогенераторного топлива с обеспечением не менее чем 10-месячного запаса древесных чурок для работы тракторов и автомобилей.

Решения XVIII съезда ВКП(б) определили задачи и направления дальнейшего развития газификации народного хозяйства. Съезд постановил: „Широко развернуть газификацию всех видов топлива и подземную газификацию углей, превратив в третьем пятилетии подземную газификацию углей в самостоятельную отрасль промышленности. Увеличить добычу газа из чисто нефтяных и чисто газовых месторождений, а также за счет подземной газификации углей за третью пятилетку в 3,5 раза. Построить и ввести в эксплоатацию ряд промышленных станций подземной газификации в Донбассе и в Подмосковном бассейне и на востоке СССР, с использованием получаемого газа для энергетики, химической промышленности и коммунального хозяйства. В крупных городах, в первую очередь в Москве и Ленинграде, дровяное отопление заменить газовым, а также паровым на базе местного топлива. Развить использование коксовых и доменных газов путем строительства сети магистральных газопроводов, в первую очередь в Донбассе" [23].

Необходимость дальнейшего развития газомоторных установок нашла отражение и в Постановлении партии и правительства от 8 июля 1939 г. об изготовлении для животноводческих ферм колхозов газогенераторных двигателей, в целях замены тысяч нефтяных двигателей низкого сжатия, потребляющих большое количество жидкого топлива.

Благодаря социалистической реконструкции всей топливной промышленности, проведенной за годы сталинских пятилеток, топливно-энергетическое хозяйство Советского Союза выдержало тяжелые испытания войны.

Заготовки древесного топлива в центральных районах СССР резко возросли во время войны, так как дровами частично восполнялся недостаток минерального топлива, в особенности на первом этапе

войны. Наряду с этим значительное развитие получили заготовки такого топлива, как луговой торф, отходы сельского хозяйства, полынь, тростник, камыш и т. п.

В период Великой Отечественной войны значительное распространение получили автотракторные и стационарные газосиловые установки в сельском хозяйстве, лесной промышленности и промкооперации.

В период Отечественной войны значительно расширился ассортимент твердых топлив для газомоторных установок. В транспортных газогенераторах, кроме древесины, стали применяться торф, бурый уголь, антрацит, отходы хлопка, а в стационарных газогенераторах начали находить применение в более широких масштабах всевозможные растительные отходы.

Транспортные и стационарные газогенераторы в дни Великой Отечественной войны оказали народному хозяйству большую помощь. Опыт их работы должен быть максимально обобщен и использован в дальнейших работах по укреплению и развитию советской энергетики.

Однако перевод двигателей внутреннего сгорания на местные виды топлива нельзя рассматривать как мероприятие временное, вызванное войной. Война только дала мощный толчок развитию газосиловых установок и наиболее отчетливо показала их значение для народного хозяйства и обороны страны.

Газификация твердого местного топлива в целях производства силового газа также нашла соответствующее отражение в четвертом пятилетнем плане.

В Законе о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства на 1946—1950 гг. говорится: „Развернуть строительство в селах малых гидростанций, а в тех районах, где нет гидроресурсов, — тепловых электростанций с локомобильными и газогенераторными двигателями на местном топливе... Организовать массовый выпуск тракторов с дизельмоторами и газогенераторными установками". Новые топливные базы, создаваемые из различных сортов местных топлив, пригодных для газификации, значительно укрепят и расширят сеть низовой энергетики, обеспечивая широкие возможности механизации трудоемких процессов.

Опыт эксплоатации отечественных газомоторных установок весьма поучителен. Так, обследование действующих газомоторных установок, проведенное Центральным научно-исследовательским дизельным институтом в 1948 г., показало, что, например, на станции Буй две газогенераторные установки Г-2 с двигателем 4ГЧ 42,5/60 проработали безаварийно свыше 40 000 час. Столько же времени работает газогенераторная установка на станции Тихвин с двумя двигателями 2ГЧ 26/38.

В трудах Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта за 1947 г. были опубликованы данные об эксплоатации газогенераторной электростанции, построенной на одной из железных дорог Советского Союза в 1942 г. Эта станция оборудована двумя газовыми двигателями завода „Двигатель Революции" по 140 *л. с.* и двумя комплектами газогенераторного оборудования Г-2 производства того же завода. Газогенераторы работали

на влажной древесине с подсушкой в бункере, отчего удельный расход дров несколько превышал нормальный — в случае газификации сухой древесины. Представляют интерес некоторые эксплоатационные характеристики этой станции, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Данные эксплоатации газогенераторной электростанции

Показатели	По проекту	Фактически
Расход топлива в *кг/квт-час* . . .	1,32	2,6
Влажность топлива в %	32,0	45,0
Расход воды на охлаждение газа в *л/квт-час*	20—36,5	38,5
Общее сопротивление газогенераторной системы в *мм* вод. ст. . . .	до 350	300 – 400
Стоимость 1 *квт-час* электроэнергии в коп.	34,43	36,6—38,0

Годовая выработка электроэнергии газовыми двигателями электростанции составляет около 1 000 000 *квт-час*. Экономия средств на стоимости топлива после ввода в эксплоатацию газовых двигателей, по данным железной дороги, составила в 1945 г. 509 000 руб.

Согласно данным 1941 г., стоимость энергии сельскохозяйственной газогенераторной электростанции, работающей на древесном топливе, включая стоимость монтажа, составляет 400 – 500 руб. против 1200—1800 руб. за киловатт установленной мощности локомобильной или дизельной электростанции [22]. Эксплоатационные расходы газогенераторной электростанции, работающей на местном твердом топливе, в 2—3 раза ниже расходов электростанции, работающей на жидком топливе.

В Карагандинском совхозе в 1936 г. были начаты большие работы по переводу на генераторный газ из бурого угля двигателей мощностью 12—15 *л. с.*

Опыт работы газогенераторных установок в Карагандинском совхозе показывает, что стоимость бурого угля на один час работы двигателя составляла 15 коп. против 31 коп. при работе на нефти. Целесообразность внедрения газомоторных установок в народное хозяйство успешно подтверждена практикой социалистического строительства.

В настоящее время первоочередными задачами в этой области являются дальнейшее внедрение в народное хозяйство наиболее совершенных образцов газомоторных установок и разработка новых с целью повышения эффективности процесса газификации, расширение номенклатуры применяемых топлив и создание компактных малогабаритных газогенераторных установок с различной степенью автоматизации на основе современных достижений науки.

ГЛАВА I

ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

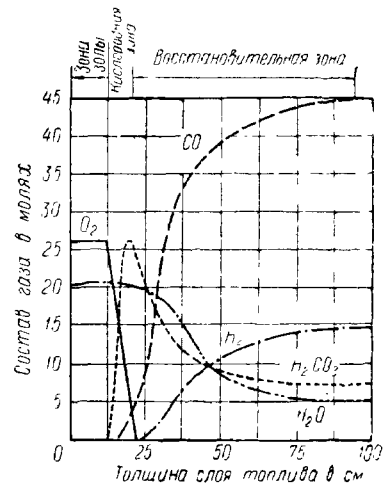
1. Сущность процесса газификации твердого топлива

Под газификацией твердого топлива понимают процесс превращения его горючей части в газ при взаимодействии кислорода с углеродом топлива в условиях высоких температур. Получаемый в результате такого процесса газ называют генераторным газом.

Кислород, необходимый для газификации топлива, может быть в свободном состоянии (воздух, чистый кислород или обогащенный кислородом воздух) или в виде газа или пара, содержащих кислород.

В соответствии с изменениями, претерпеваемыми топливом, и протеканием процесса газификации, слой топлива в газогенераторе может быть разделен на зоны.

Наличие зон в газогенераторах можно проследить по результатам исследований, приведенным на фиг. 1.



Фиг. 1. Ход газообразования в слое топлива в газогенераторе прямого процесса с паровоздушным дутьем.

Из диаграммы видно, что кислород полностью расходуется на очень небольшом участке слоя, следовательно, величина кислородной зоны относительно невелика. По мере расхода кислорода в газе быстро возрастает содержание углекислоты, достигая максимального значения внутри кислородной зоны, а к концу ее начинает несколько падать. Момент начала падения содержания углекислоты в газе совпадает с появлением окиси углерода и соответствует наличию небольшого количества кислорода в газе.

Окись углерода образуется, повидимому, одновременно с углекислотой во всем объеме кислородной зоны, однако в связи с наличием кислорода в газе она сгорает. Зона восстановления занимает значительную часть высоты активной зоны, под которой понимается высота кислородной зоны и зоны восстановления, взятых вместе.

В первой половине зоны наблюдается быстрое возрастание содержания окиси углерода, при резком снижении содержания углекислоты. Разложение водяного пара в восстановительной зоне приводит к появлению в составе газа водорода. В нижней части зоны восстановления, наряду со снижением температур, скорости реакции уменьшаются. В зависимости от применяемого дутья в технике различают следующие разновидности генераторных газов: воздушный, водяной, смешанный и парокислородный газы.

Газ, получаемый в результате взаимодействия сухого воздуха с углеродом, называют воздушным газом; в идеальном случае он содержит 34,7% окиси углерода и 65,3% азота. Теплотворность газа составляет 1060 *ккал/нм*³. Образование горючего газа может быть также достигнуто путем пропускания водяного пара через слой раскаленного топлива. В результате протекания химических реакций при таком способе газификации топлива получается водяной газ, состоящий из окиси углерода, углекислоты и водорода.

Теплотворность водяного газа составляет 2400—2700 *ккал/нм*³.

Если в газогенератор подавать наряду с воздухом и пары воды, то получается смешанный газ, состоящий из водорода, окиси углерода, углекислоты, метана и азота. В газогенераторах силового газа протекает смешанный процесс газообразования, а обычно применяемый термин „генераторный газ" относится к смешанному газу.

2. Схема процессов газификации твердого топлива

Современные стационарные и передвижные газогенераторы силового газа по способу газообразования подразделяются на четыре типа: а) газогенераторы прямого процесса; б) газогенераторы обращенного процесса; в) газогенераторы двухзонного процесса; г) газогенераторы горизонтального процесса.

Прямой процесс газификации. Схема газогенератора прямого процесса газификации приведена на фиг. 2.

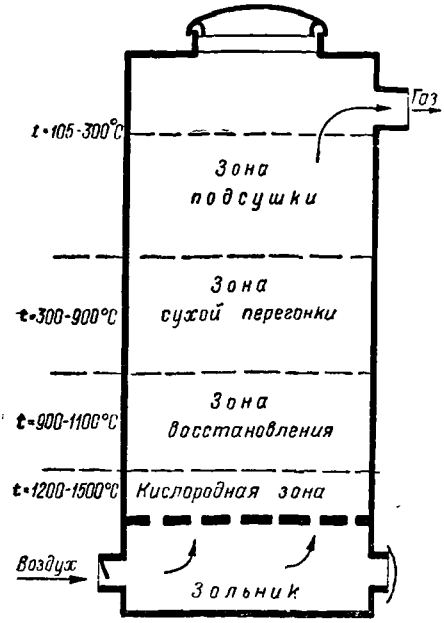
Воздух в слой газифицируемого топлива подводится под колосниковую решетку. Под действием разрежения, создаваемого в газогенераторе работой двигателя, воздух проходит через зазоры колосниковой решетки и поступает в кислородную зону. Процесс горения углерода протекает с выделением тепла, при этом температура в слое повышается до 1200—1500° С. Взаимодействие углерода с кислородом воздуха сопровождается образованием углекислоты.

Поток газов из кислородной зоны, поднимаясь кверху, нагревает расположенный выше слой топлива до температуры 900—1100° С. Здесь углекислота вступает в соединение с раскаленным углеродом и частично восстанавливается до окиси углерода.

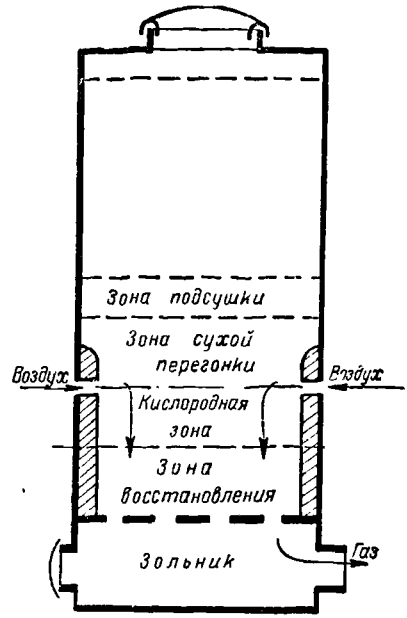
В зоне восстановления протекает также и реакция разложения паров воды с образованием окиси углерода и водорода, причем в зоне восстановления реакции протекают с поглощением тепла.

Температурные условия (300—900°С) слоев топлива, лежащих над активной зоной, не обеспечивают протекания реакции восстановления углекислоты и разложения воды, однако они являются достаточными для процесса сухой перегонки топлива. В результате процесса

разложения топлива, протекающего без доступа воздуха, при газификации битуминозного топлива (дрова, торф) образуются такие газы, как CO, CO_2, H_2, CH_4, C_nH_m, а также вода, смола, спирты и др.



Фиг. 2. Схема газогенератора прямого процесса газификации.



Фиг. 3. Схема газогенератора обращенного процесса газификации.

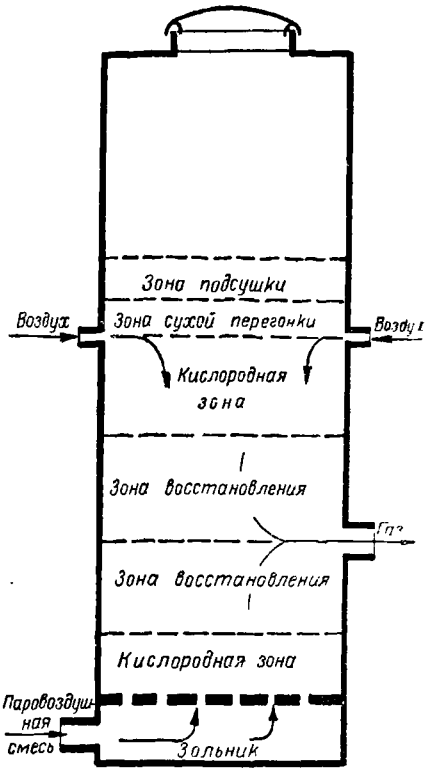
Верхние слои топлива в генераторе подсушиваются уходящим газом, образуя зону подсушки. Таким образом, в схеме прямого процесса газификации твердого топлива над активной зоной последовательно располагаются зона сухой перегонки и зона подсушки.

Нижняя часть газогенератора, отделенная колосниковой решеткой, является зольником; в нем накапливаются зола и шлаки, проваливающиеся через зазоры колосниковой решетки.

При отборе газа из верхней части газогенератора продукты газификации смешиваются с продуктами, полученными в зонах подсушки и сухой перегонки. Такой газ не пригоден для питания двигателей, а очистка его требует сложной аппаратуры. В связи с этим в стационарных и передвижных газогенераторных установках силового газа по прямому процессу газифицируют топливо, почти не содержащее смолы, как антрацит, древесный уголь, кокс и полукокс.

Обращенный процесс газификации. Схема газогенератора обращенного процесса газификации приведена на фиг. 3. В газогенераторе этого типа воздух подается в среднюю часть слоя топлива, а образующиеся газы отсасываются снизу. Таким образом, активная зона занимает нижнюю часть газогенератора — от места подвода воздуха до колосниковой решетки, ниже которой расположен зольник с газоотборным патрубком. В кислородной зоне кислород воздуха,

вступая в реакцию с углеродом топлива, образует главным образом углекислоту. Газы, образующиеся в кислородной зоне, опускаются в восстановительную зону и нагревают топливо до 900—1100° С; при этом часть углекислоты восстанавливается в окись углерода. Зоны сухой перегонки и подсушки здесь располагаются вблизи активной зоны. Однако выделившиеся влага топлива и летучие вещества, опускаясь вниз, проходят через зону с высокой температурой и подвергаются разложению. В зоне восстановления, наряду с восстановлением углекислоты, протекают также реакции между водяным паром и углеродом топлива с образованием водорода и окиси углерода или углекислоты.



Фиг. 4. Схема газогенератора двухзонного процесса газификации.

Из сказанного видно, что в газогенераторах обращенного процесса газификации имеются достаточные условия для получения бессмольного газа из таких богатых смолами топлив, как дрова, торф и растительные отходы. В силу этого обращенный процесс газификации и получил наибольшее распространение в силовых газогенераторах стационарного и транспортного типов.

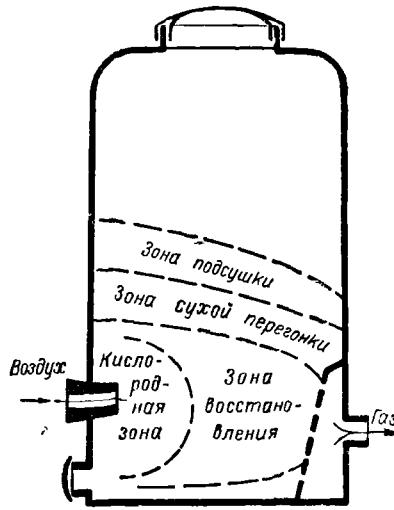
Двухзонный процесс газификации. Разобранные выше схемы прямого и обращенного процессов газификации могут быть объединены в единую схему. Такой метод газификации твердого топлива получил наименование двухзонного процесса. Как видно из приведенной на фиг. 4 схемы газогенератора, в нижней его части топливо газифицируется по прямому процессу, а в верхней — по обращенному. Газогенератор имеет две кислородные зоны и две зоны восстановления.

В кислородную зону верхней части газогенератора воздух подается периферийными фурмами или центральной трубой. Нижняя часть газогенератора питается воздухом, поступающим под колосниковую решетку. Отбор газа осуществляется между зонами восстановления, что приводит к более высокой температуре при выходе его из газогенератора и является одной из особенностей газификации топлива по двухзонному процессу. Если при обращенном процессе температура выхода газа из газогенератора составляет в среднем 400—500° С, то для двухзонного процесса она повышается до 700° С.

При работе газогенератора на древесном топливе древесный уголь, образующийся в активной зоне верхней части газогенератора, частично здесь используется при газификации, частично проходит в нижнюю часть газогенератора, работающую по прямому процессу.

Такая организация двухзонного процесса обеспечивает получение бессмольного газа.

Зола, образующаяся в верхней и нижней активных зонах газогенератора, опускается в зольник и здесь может удаляться во время работы газогенератора. Последнее обстоятельство является особо важным при работе на битуминозных топливах повышенной зольности, для которых двухзонный процесс газификации следует признать особо благоприятным.



Фиг. 5. Схема горизонтального процесса газификации.

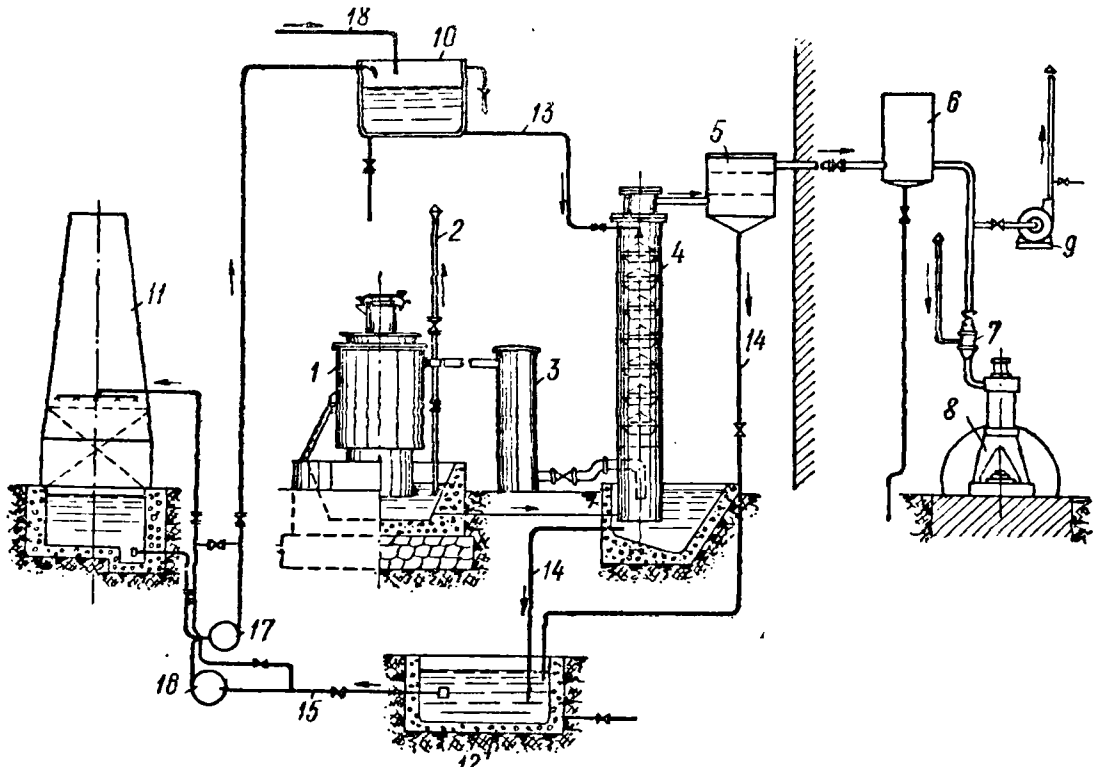
Горизонтальный процесс газификации. При горизонтальном процессе активная зона располагается в небольшом пространстве между входным отверстием для воздуха и газоотборной решеткой (фиг. 5). Вблизи над этой зоной располагаются зоны сухой перегонки и подсушки топлива. Благодаря такому расположению зон в газогенераторе его размеры заметно снижаются и уменьшается вес, что представляет особое преимущество для передвижных газогенераторных установок небольшой мощности.

Простота конструкции и газообразование в небольшом слое топлива при высокой скорости дутья также являются ценными качествами. Газогенераторы, работающие по горизонтальной схеме, отличаются большой гибкостью работы и быстрым розжигом.

Процесс восстановления углекислоты здесь происходит на незначительном расстоянии от устья фурмы (120—150 *мм*), что объясняется высоким температурным режимом газогенератора (1600—1700° С). Однако очаг высоких температур располагается на коротком участке между фурмой и газоотборной решеткой, а топливо, лежащее по периферии, выполняет роль изоляции, уменьшая потери тепла в окружающую среду и предохраняя стенки камеры от перегрева. К недостаткам горизонтального процесса газификации следует отнести невозможность применения топлива, содержащего смолу и с зольностью не свыше 5%.

3. Схема стационарной газомоторной установки

Газ, выходящий из газогенератора, в своем первоначальном виде не пригоден для непосредственного использования в двигателе. Он обладает высокой температурой (400—500° С), что уменьшает весо-



Фиг. 6. Принципиальная схема стационарной газомоторной установки для двигателей средней и большой мощности.

1 — газогенератор; *2* — газопровод со стояком для спуска конденсата и свечой розжига; *3* — стояк-охладитель; *4* — скруббер-очиститель и охладитель газа; *5* — тонкий очиститель газа и конденсатор-сборник; *6* — газосборник-ресивер; *7* — смеситель; *8* — двигатель; *9* — вентилятор розжига с газовыпускной трубой; *10* — расходный водонапорный бак; *11* — градирня для охлаждения циркуляционной воды газоочистки; *12* — бак-отстойник; *13* — трубопровод для подачи воды в скруббер; *14* — трубопровод для спуска воды из скруббера и вторичного очистителя в отстойник; *15* — отсасывающий трубопровод; *16* — насос для подачи воды из отстойника в градирню; *17* — насос для подачи воды из градирни или отстойника в расходный бак; *18* — трубопровод из водопровода для пополнения воды в системе.

вое количество газа, а следовательно, и тепловой заряд, поступающий в двигатель, и приводит к падению его мощности. В газе имеются водяной пар, механические примеси (зола и сажа), кислоты, а иногда и смолистые соединения, которые при попадании в двигатель могут вызвать его преждевременный износ и остановку.

Следовательно, газ, получаемый в газогенераторе, перед тем как поступить в двигатель, должен быть охлажден, очищен от посторонних примесей и максимально освобожден от паров воды, т. е. осушен.

Практикой выработан ряд устройств для охлаждения, очистки и осушки газа, конструкции которых весьма разнообразны и определяются назначением установки, условиями и характером ее использования.

На фиг. 6 приведена наиболее типичная принципиальная технологическая схема стационарной газомоторной установки для двигателей средней и большой мощности, с водяным охлаждением и очисткой газа и с водяным хозяйством, организованным в виде замкнутой циркуляционной системы.

Газогенераторная установка состоит из газогенератора *1*, газопровода со стояком *2* для спуска конденсата и свечи розжига. Газ, получаемый в газогенераторе, предварительно охлаждается в стояке-охладителе *3*, поступает в скруббер *4*, где подвергается дополнительному охлаждению и очистке. После скруббера газ проходит тонкую очистку в фильтре *5* и после ресивера-газосборника *6* поступает через смеситель *7* в двигатель *8*.

Розжиг газогенераторной установки осуществляется вентилятором *9*, находящимся перед двигателем, как это указано на схеме, или непосредственно за газогенератором.

Водяное хозяйство установки состоит из расходного водонапорного бака *10*, градирни *11* для охлаждения циркуляционной воды газоочистки, бака-отстойника *12*, трубопроводов *13* для подачи воды в скруббер, трубопроводов *14* для спуска воды из скруббера, трубопровода *15*, двух насосов *16* и *17* для подачи воды из отстойника в градирню и подачи воды из градирни или отстойника в расходный бак.

4. Развитие новых методов газификации твердого топлива

Расширение потребления искусственных горючих газов вызывает необходимость в изучении и развитии газификации твердого топлива на основе последних достижений современной техники.

Основными задачами здесь следует считать повышение теплотворности газа и эффективное использование местных низкосортных топлив, наряду с достижением более высокой интенсивности газификации.

Эти задачи сейчас решаются такими средствами, как парокислородное дутье при нормальном и высоком давлении, дутье воздухом, обогащенным кислородом, достижением в активной зоне газогенератора более высоких температур и развитием реагирующей поверхности топлива.

16889

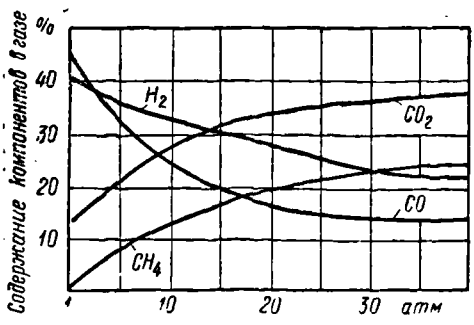
При газификации кускового топлива парокислородной смесью при нормальном давлении в идеальном случае должен был бы получиться газ, состоящий на 66% из окиси углерода и на 34% из водорода.

Однако в реальных условиях в парокислородном газе всегда содержится некоторое количество азота, углекислоты, метана и др.

При газификации твердого топлива воздухом, обогащенным кислородом, получается смешанный генераторный газ с пониженным содержанием азота. Полученный этим способом генераторный газ характеризуется следующими величинами.

Концентрация кислорода в сухом дутье в %

		21,0	40,0	70,6
Состав газа в % по объему	CO_2	6,0	14,7	17,4
	CO	26,0	30,9	35,2
	H_2	13,0	28,3	37,5
	CH_4	0,5	0,5	0,5
	N_2	54,5	25,6	9,4
Низшая теплотворность в *ккал/нм³*		1160	1715	2080



Фиг. 7. Изменение состава газа в зависимости от давления.

Существенное влияние на протекание процесса газификации оказывает увеличение давления. Последовательность протекания реакции здесь остается той же, что и при парокислородном дутье при атмосферном давлении, однако с повышением давления увеличивается скорость этих реакций, а следовательно, и интенсивность процесса газификации.

На фиг. 7 приведены кривые изменения состава газа, полученного при газификации бурого угля парокислородным дутьем под давлением от 1 до 40 *ата*.

Из этих кривых следует, что с повышением давления в газе повышается содержание метана и углекислоты и снижается содержание окиси углерода и водорода. Последнее объясняется развитием реакций конверсии окиси углерода и образования метана, протекающих с потреблением водорода.

Газификация топлива под давлением в газомоторных установках может осуществляться при наддуве воздуха в газогенераторную установку и в смеситель двигателя специальным нагнетателем.

Одной из важнейших для народного хозяйства задач в области газификации твердого топлива является освоение методов газификации пылевидного и мелкозернистого топлива. Эти виды топлива, обладая высокоразвитой суммарной реагирующей поверхностью, дают возможность значительно повысить интенсивность процесса.

Газификация пылевидного и мелкозернистого топлива в СССР разрабатывалась в следующих направлениях: газификация пыли (Институт торфа, 1929—1937 гг.); газификация мелкозернистого топлива во „взвешенном" слое (Институт азота и искусственного жидкого топлива, 1934—1941 гг.); газификация в „кипящем" слое (Институт азота, 1934—1940 гг.) и газификация измельченных растительных отходов по методу „воздушно-газовой решетки" (Центральный научно-исследовательский дизельный институт, 1944—1949 гг.).

Следует указать, что большинство новых методов газификации твердого топлива разрабатывается для целей промышленно-заводского использования, теплофикации и коммунального хозяйства и только лишь метод наддува газогенераторной установки и газификация измельченных растительных отходов по методу „воздушно-газовой решетки" стали применяться в газомоторных установках.

Изложенное указывает на необходимость значительного расширения объема работ в области улучшения рабочего процесса газификации твердого топлива в установках силового газа и разработки для этих установок новых, наиболее высокопроизводительных и экономичных схем.

ГЛАВА II

ТОПЛИВО

5. Классификация твердого топлива СССР, как сырья для получения генераторного газа

Современные газовые двигатели в качестве горючего используют генераторный газ, получаемый в результате газификации твердого топлива, а также естественные и промышленные газы.

Советский Союз располагает неисчерпаемой топливной базой для газовых двигателей и газомоторных установок, являющейся для народного хозяйства источником экономии жидкого моторного топлива.

Основные виды твердого топлива, нашедшие применение в газогенераторах силового газа, следующие: древесина, торф, бурый уголь, антрацит, а в последнее время — полукокс и всевозможные растительные отходы. Кроме этих широко известных и распространенных видов твердого топлива, имеется еще ряд сравнительно небольших топливных отходов местного значения. К такого рода топливам следует отнести отходы обработки хлопка, подсолнечную лузгу, получаемую как отход маслобойных заводов, кострy — на заводах первичной обработки льна, отходы крупяного производства, дубильное корье и т. п.

Изучение физико-химических особенностей твердого топлива показывает, что несмотря на разнообразие свойств различных видов топлива, применяемого в газогенераторах силового газа, все эти топлива можно разбить на несколько групп.

Конструкция газогенератора и технологическая схема газогенераторной установки для получения силового газа определяются в основном следующими характеристиками топлива: смолистостью, спекаемостью, зольностью и плавкостью золы. В соответствии с этими признаками можно классифицировать виды твердого топлива (табл. 2).

Первая группа. Древесина, торф и растительные отходы являются наиболее характерными представителями первой группы топлива. Обширные запасы древостоя, залежей торфа и растительных отходов на территории СССР представляют мощный источник газогенераторного топлива для получения силового газа. Древесина является наиболее широко распространенным газогенераторным топливом.

Таблица 2

Классификация видов твердого топлива СССР, применяемых для получения силового газа, и оптимальные показатели их газификации

Класс	Группа и основные виды топлива	Выход летучих V^r %	Содержание золы A^c %	Температура плавления золы в полувосстановительной газовой среде в °С: начало деформации	размягчение	плавкое состояние	Применяемый процесс газификации	Примерная интенсивность процесса: весовая $R_в$ кг/м² час	тепловая $R_т$ ккал/м² час	Среднее содержание серы в %	Среднее значение отношения $\frac{Q^p_н}{Q^p_в}$	Низшая теплотворность газа в ккал/нм³	К. п. д. газификации в %
I Смолистые	1 Древесина	80	до 4	—	—	—	Обращенный	320	1180	0,02	0,70	1100—1250	65—72
	Торф	70	до 30	1070	1158	1200	Обращенный / Двухзонный	220	850	0,3	0,56	1100—1200	
	Растительные отходы	65—85	5—12	800	950	1200	Обращенный	170	700	0,02	0,72	1150—1400	
	2 Бурые угли	50	8—25	1100	1160	1240	Обращенный	140—260	600—850	0,6	0,48	1200	—
	Газовый уголь	до 42	10—15	1050	1150	1210	Двухзонный	—	—	0,7	0,69	1050—1200	60—72
	Длиннопламенный уголь	до 47	13	1050	1160	1220	Прямой	—	—	0,7	0,71	—	—
	Сланцы	40—60	30—70	900	1000	1100	Двухзонный	200—300	650—950	—	0,48	850—1100	60—70
II Бессмольные (тощие)	3 Антрацит	3—5	10—30	1080	1180	1280	Прямой	120—150	840	1,0	0,81	1100—1250	72—77
	Кокс и полукокс	1—5,0	10—15	—	—	—	Прямой горизонтальный	100—150	700—1000	1,0	0,83	1000—1150	
	4 Древесный уголь	10—20	3—5	—	—	—	Прямой Горизонтальный	100—160	700—1100	0,3	0,88	1100—1300 [1]	70—75
	Торф и кокс	12—18	15	—	—	—		110—140	800—950	0,2	0,84	1250	

[1] При содержании летучих 8 и 24%.

Общая площадь лесов СССР достигает 900 млн. га, что составляет примерно 30% мировых запасов. Эти лесные богатства эквивалентны 18 млрд. тонн условного топлива, при ежегодном расходе около 70 млн. тонн.

Техника газификации древесины в достаточной мере освоена не только в стационарных, но и в транспортных газогенераторах.

Торф, являясь почти повсеместным топливом, представляет большой интерес как сырье для получения силового газа. Запасы торфа составляют примерно 26% топливных ресурсов СССР. Площадь торфяных залежей в СССР равна примерно 130 млн. га, с запасом торфа около 169 млрд. тонн условного топлива, при годовом его приросте около 300 млн. тонн.

Наличие торфяных залежей в различных областях СССР обуславливает большое значение проблемы использования торфа в качестве местного твердого топлива для газификации в газогенераторах силового газа.

Данные эксплоатации показывают, что различные виды торфа при газификации ведут себя не одинаково; сорт торфа, его влажность, зольность, способ добычи и ряд других показателей имеют решающее влияние на процесс газификации. Торф может быть использован в качестве горючего для газогенераторов в трех разновидностях: кусковой торф естественной сушки, торфяные брикеты и торфяной кокс.

Торф является топливом битуминозным, поэтому его газификацию, в целях получения бессмольного силового газа, ведут по обращенному или двухзонному процессам.

Растительные отходы только в последнее время, в результате трудов советских ученых и инженеров, стали использоваться в качестве топлива для получения силового газа. Они обладают разнообразными физико-химическими свойствами и, как подтверждают исследования, требуют специальных устройств и технологических схем. Растительные отходы являются ежегодно возобновляемым топливом местного значения.

Количество растительных отходов на 1950 г. можно характеризовать следующими величинами:

Отходы зерновых культур	132,06 млн. тонн
Отходы технических культур	14,6 „ „
Удобные для сбора и транспортировки запасы дикорастущей растительности (полынь, камыш, тростник)	86,164 „ „
Всего . .	232,824 млн. тонн

По теплотворности растительные отходы близки к дровам и торфу, что определяет их как важный дополнительный топливный ресурс и как надежную местную топливную базу для газомоторных установок, особенно в сельском хозяйстве.

Вторая группа. Основными представителями второй группы топлива являются бурые угли, каменные угли с различной степенью спекаемости и сланцы.

Основные трудности при газификации бурых углей вызываются их зольностью и малой термической стойкостью. Измельчение топлива приводит к росту сопротивления слоя и нарушению равномерности протекания режима газификации. Несмотря на некоторые отрицательные с точки зрения генераторного процесса свойства, бурые угли следует считать достаточно эффективным видом местного топлива не только для стационарных газомоторных установок, но и для транспортных газогенераторов.

Среди разнообразных видов каменного угля наибольший интерес для целей получения силового генераторного газа представляют длиннопламенные и газовые угли. Длиннопламенные угли марки Д при газификации в высоком слое спекаются слабо, в низком же слое газифицируются без заметного спекания. Газификация этих углей по обращенному процессу в Кузбассе и на Урале успешно решает вопрос как со смолами, так и с фенольными водами. Слабоспекающиеся газовые угли марок Г и СС спекаются и при газификации при низком слое, однако эта спекаемость легко устраняется применением шуровки.

Сланцы хотя и относятся к низкосортному топливу, однако, благодаря особым свойствам их органической массы, являются ценным сырьем не только для химической переработки, но и для целей газификации. До настоящего времени еще не создан образец промышленного газогенератора для получения силового газа при газификации сланцев, однако опыты показывают, что несмотря на содержание в сланцах большого количества летучих и золы, с применением смолоуловителей возможно получение силового газа с теплосодержанием до 1100 *ккал/нм*³. (4606 кДж/м³)

Организация промышленной эксплоатации сланцевых месторождений в СССР ставит вопрос о создании газогенератора силового газа для газификации сланца.

Третья группа. К этой группе относятся: антрацит, кокс, полукокс, тощие каменные и бурые угли. Антрацит представляет собой высококалорийное топливо с незначительным содержанием влаги и полным отсутствием смол в продуктах разложения. Вследствие этих качеств антрацит одним из первых нашел применение в качестве топлива для силового генераторного газа; для этой цели получили распространение донецкие антрациты марки АМ с размером кусков 13—25 *мм*, марки АС с размером кусков 6—13 *мм*, а также полтавские и брединские антрациты на Урале.

Тощие каменные угли широко применяются в газогенераторных установках. Вполне освоена техника газификации донецких углей, кузнецких—Ленинского и Прокопьевского районов.

Из карагандинских месторождений наиболее широко применяются для газификации угли Федоровского пласта.

Хорошими качествами отличаются средне-азиатские угли Сулюктинского и Кокянгакского месторождений.

Кокс, подобно антрациту, представляет собой высококалорийное топливо, содержащее незначительное количество серы, влаги и золы.

Вследствие отсутствия смолы и в силу его прочности кокс давно применяется в газогенераторах силового газа.

Наряду с коксом, в газогенераторах применяется также полукокс, получаемый при нагревании исходного топлива до 500—550° С. В отличие от кокса, полукокс обладает пониженной механической прочностью, плохо выдерживает перегрузки и дальние транспортировки и должен быть использован главным образом на месте.

Тощие бурые угли как газогенераторное топливо заслуживают положительную оценку, несмотря на присущую им высокую влажность и низкую термическую стойкость.

Отсутствие смолы в перечисленных видах топлива третьей группы создает особо благоприятные условия для их газификации и позволяет применить для этого простейшие технологические схемы.

Четвертая группа. Основными представителями четвертой группы являются древесный уголь и торфяной кокс.

Древесный уголь в качестве топлива для газогенераторов обладает рядом хороших показателей: высокой теплотворностью, малой зольностью, незначительным содержанием летучих, высокой реактивной способностью и небольшим содержанием влаги при правильном хранении. Более высокая стоимость древесного угля по сравнению с древесиной дает основание рекомендовать древесный уголь в качестве топлива для небольших по мощности газомоторных установок (до 10 *л. с.*) в основном передвижного типа.

Торфяной кокс представляет собой искусственное твердое топливо, получаемое путем нагрева воздушного сухого торфа без доступа воздуха до высокой температуры. Наилучшим для целей коксования является торф средней степени разложения — в пределах 35÷65%. Торфяной кокс является высококачественным топливом для получения силового газа. Его теплотворность около 4500 *ккал/кг*; зольность в пределах 15% и содержание летучих 12—18%. Приведенные характеристики древесного угля и торфяного кокса показывают, что их можно газифицировать по любому процессу. Практически для этих видов топлива наиболее распространен прямой и горизонтальный процессы газификации.

6. Основные характеристики твердого топлива и показатели газификации

Исследования газификации твердого топлива показывают, что протекание генераторного процесса зависит от следующих характеристик: реактивной способности топлива, плотности, содержания смолистых веществ, способности к спеканию, размера частиц, влажности, содержания в топливе серы и, наконец, его зольности.

Реактивная способность. Под реактивной способностью твердого топлива в восстановительном процессе обычно понимают скорость превращения углекислоты в окись углерода. Для выяснения факторов, влияющих на реактивную способность топлива, был проведен ряд исследований, в результате которых установлено, что:

1) наибольшее влияние на реактивную способность оказывает структура молекул углерода в данном топливе;

2) чем ближе эта структура к древесному углю, тем топливо активнее, и наоборот, чем ближе структура к графиту, тем топливо менее активно.

Установлено также, что реактивная способность зависит от возраста топлива, поэтому к топливу с высокой реактивной способностью относится древесная растительность, а к топливу с низкой реактивной способностью — антрацит.

Для генераторного процесса реактивная способность топлива является весьма важным показателем, определяющим интенсивность газификации, время розжига топлива и др.

Плотность. Плотность газогенераторного топлива зависит от вида топлива, способа его заготовки или обработки. Чем выше плотность топлива, тем выше его ценность. Это прежде всего сказывается на увеличении насыпного веса топлива в бункере газогенератора, что увеличивает время между загрузками и ведет к облегчению обслуживания.

Наряду с плотностью топлива, имеет значение и его механическая прочность. При недостаточной прочности образующаяся мелочь создает в слое газифицируемого топлива участки высокого сопротивления, которые приводят к нарушению нормального процесса газификации.

Содержание смолистых веществ. Этот показатель твердого топлива является одним из главных, определяющих схему процесса газификации. Газификацию топлива, богатого летучими, в газогенераторах силового газа чаще всего ведут по обращенному процессу. При этой схеме установка в целом получается проще, а газ оказывается свободным от смолистых примесей, которые частично сгорают, а частично разлагаются, проходя через зону высоких температур.

Спекаемость. Свойство газогенераторного топлива сохранять свою форму при прохождении по зонам газогенератора без значительных изменений также определяет одну из качественных сторон процесса газификации твердого топлива. Спекание топлива в большие куски затрудняет его продвижение по шахте, приводит к образованию в слое газогенератора пустот и прогаров и нарушает процесс газификации. Измельчение кусков топлива во время пребывания в газогенераторе также отрицательно сказывается на протекании процесса газификации, так как приводит к резкому возрастанию сопротивления слоя.

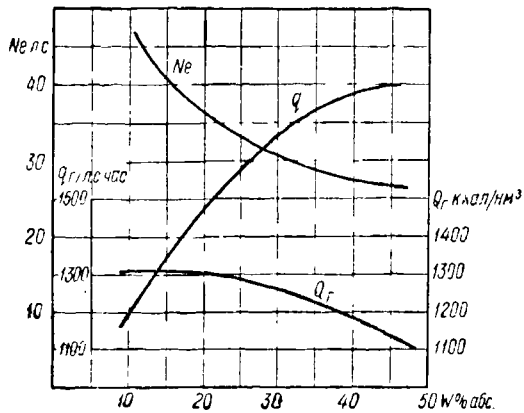
Размер частиц топлива. Размер частиц топлива оказывает большое влияние на протекание процесса газификации, его интенсивность и качество получаемого газа.

Основные реакции генераторного процесса являются гетерогенными, т. е. происходят в плоскости соприкосновения двух фаз — твердой и газообразной. В отличие от газовых гомогенных реакций, идущих во всем объеме, газификация твердого топлива может происходить только в месте соприкосновения топлива с кислородом воздуха, поэтому размеры кусков газифицируемого топлива имеют большое

влияние на работу газогенератора. От величины кусков топлива зависит удельная поверхность, т. е. общая поверхность кусков, приходящихся на единицу объема, с увеличением которой повышается производительность газогенератора.

Влажность. Содержание влаги в топливе является важной характеристикой его пригодности как газогенераторного топлива.

Исследования показывают, что при обращенном процессе увеличение влажности оказывает существенное влияние на протекание реакций в активной зоне газогенератора. С увеличением влажности топлива химический состав газа ухудшается, а мощность двигателя падает. На фиг. 8 приведены данные [2] о влиянии влажности древесного газогенераторного топлива на мощность двигателя.



Фиг. 8. Влияние влажности древесного газогенераторного топлива на мощность двигателя.

Высокое содержание влаги в топливе снижает термический коэффициент полезного действия газогенератора и приводит к увеличению расхода топлива.

Влажность топлива определяется как отношение веса содержащейся в нем воды к первоначальному весу топлива или к его весу в абсолютно сухом состоянии. Различают абсолютную и относительную влажность твердого топлива.

Отношение веса влаги, содержащейся в топливе, к первоначальному весу топлива называется относительной влажностью и выражается в процентах формулой

$$W_{\text{отн}} = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100. \qquad (1)$$

Отношение веса влаги, содержащейся в топливе, к весу сухого топлива называется абсолютной влажностью и выражается формулой

$$W_{\text{абс}} = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \cdot 100, \qquad (2)$$

где G_1 — вес влажного топлива;

G_2 — вес топлива, высушенного до постоянного веса при 105° С.

Для перевода относительной влажности в абсолютную и обратно можно пользоваться табл. 3.

Влажность древесины определяется по ОСТ Наркомлеса 250 „Методы физико-механических испытаний древесины"; отбор проб для определения влажности коротких дров производится по ОСТ

Таблица 3

Перевод относительной влажности топлива (в %) в абсолютную и обратно

Влажность топлива в %							
отн.	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.
1	1,01	19	23,46	37	58,73	55	122,22
2	2,04	20	25,00	38	61,29	56	127,27
3	3,09	21	26,58	39	63,93	57	132,56
4	4,17	22	28,20	40	66,49	58	138,09
5	5,26	23	29.87	41	66,67	59	143,90
6	6,38	24	31,58	42	72.41	60	150,00
7	7,53	25	33,33	43	75,44	61	156,41
8	8,69	26	35,13	44	78,75	62	163,16
9	9,89	27	36,99	45	81,82	63	170,27
10	11,11	28	38.89	46	85,18	64	177,77
11	12,36	29	40,84	47	88,68	65	185,71
12	13,64	30	42,86	48	92,31	66	194,12
13	14,94	31	44,93	49	96,08	67	203,33
14	16,28	32	47,06	50	100,00	68	212,50
15	17,65	33	49,25	51	104,08	69	222,58
16	19,05	34	51,51	52	108,33	70	233,33
17	20,48	35	53,85	53	112,77	—	—
18	21,95	36	56,25	54	117,39	—	—

Наркомлеса 8649/163 „Дрова для отопления. Методы определения влажности".

Сушка древесного топлива может производиться искусственным и естественным путем. Примерные сроки естественной воздушной сушки дров составляют: для ошкуренной древесины лиственных пород от 12 до 18 мес.; для хвойных — 10—12 мес.; для колотых дров — 6—9 мес. Путем воздушной сушки содержание влаги в дереве может быть доведено до 15—20%

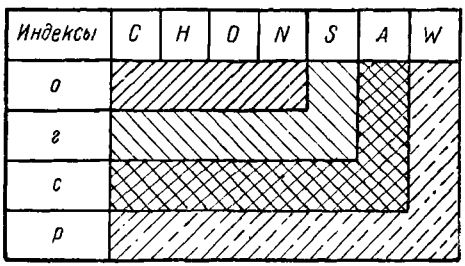
Из искусственных видов сушки древесины следует указать на сушку в огневых сушилах, сушку отработавшими газами двигателя и подсушку топлива в бункере газогенератора.

Содержание серы. Содержание серы в генераторном газе зависит от ее количества в топливе и может меняться в широких пределах. Без специальной очистки силовой газ не пригоден для употребления в двигателях внутреннего сгорания. Из известных видов твердого топлива только дрова, растительные отходы и некоторые

сорта торфа могут считаться бессернистыми. Сера в топливе содержится в форме различных неорганических и органических соединений. Ее количество в торфе доходит до 2%, в донецких углях до 4%, а в кизеловских углях до 8,3%.

Зольность. Чем меньше содержание золы и чем выше температура ее жидкоплавкого состояния, тем лучше топливо. Золы, имеющие низкие температуры плавления, образуют шлаки и затрудняют протекание процесса газификации.

Зольность древесины и древесного угля не превышает 2—3%, а температура плавления золы лежит в пределах 1200—1400° С, поэтому газификация древесины и древесного угля может производиться без опасения шлакования газогенератора. Зольность торфа колеблется в широких пределах, однако для стационарных газомоторных установок употребляется торф с зольностью не выше 15—18%. Золы торфа относятся к среднеплавкой и легкоплавкой и часто требуют специальных мероприятий, ограждающих футеровку газогенератора, стенки топливника и колосниковую решетку от налипания шлака.



Фиг. 9. Характеристика элементарного состава твердого топлива.

Большинство каменных углей дает легкоплавкую золу с температурой плавления 800—1000° С; для таких видов топлива применяются специальные конструкции газогенераторов и способы ведения процесса газификации.

Элементарный состав твердого топлива характеризует: органическую массу (*о*), горючую массу (*г*), сухую массу (*с*), рабочее топливо (*р*). Каждая из них определяется входящими в нее элементами. Представление об этих характеристиках дает схема на фиг. 9.

Суммарное содержание золы и влаги характеризует балласт топлива. Выделение органической массы, как суммы CHO и N дает возможность определить природу топлива.

Углерод — наиболее важная составная часть топлива; является основным источником его потенциального тепла. Углерода в топливе обычно содержится больше, чем водорода. Если в топливе отношение $\frac{C}{H}$ значительно, то такие твердые топлива горят без пламени или с коротким пламенем (тощие угли), и, наоборот, увеличение содержания водорода приводит к выделению значительных количеств смолистых летучих веществ, способных давать коптящее пламя.

Водород является вторым источником тепла топлива. В топливе различают связанный и свободный водород. Связанный водород находится в топливе в соединении с кислородом в виде влаги H_2O и тепла не выделяет.

Кислород органической массы топлива понижает его теплотворность на то количество тепла, которое выделено при образовании соединения кислорода с водородом в самом топливе.

Азот входит в состав твердого топлива в виде сложных азотистых соединений, которые при газификации топлива разлагаются с выделением свободного азота, переходящего в состав генераторного газа. Азот неактивен, вследствие чего в составе горючей массы топлива он является балластом.

Сера, содержащаяся в твердом топливе, связана с различными элементами в виде FeS, FeS_2 и $CaSO_4$.

При горении, наряду с углеродом и водородом топлива, сера является теплообразующим элементом (при сгорании 1 *кг* серы в сернистый газ SO_2 выделяется 3200 *ккал* тепла), однако с точки зрения требований к газогенераторному топливу сера является вредной примесью. Сернистый газ и сероводород, входящие в состав генераторного газа, сильно разъедают металлические части установки.

Летучая часть топлива (*V*). Выход летучих веществ — весьма важная особенность топлива. С выходом летучих связан ряд свойств, которые определяют способ газификации топлива для получения силового газа и технологическую схему газогенераторной установки в целом. Выход летучих возрастает от антрацитов к бурым углям и торфу, для которого эта величина доходит до 70%.

Теплотворность топлива. В СССР теплотворность топлива обычно определяется по формулам Д. И. Менделеева

$$Q_в = 81\,C + 300\,H - 26\,(O - S); \qquad (3)$$

$$Q_н = 81\,C + 300\,H - 26\,(O - S) - 6\,(9\,H + W). \qquad (4)$$

Здесь C,H,S и O — процентное содержание этих элементов в топливе.

Состав древесины. Главной частью древесины являются органические соединения, в состав которых, кроме углерода, входят водород, кислород и азот.

Источники питания древесных пород одинаковы, поэтому, несмотря на разнообразие древесных пород, их органические массы мало отличаются друг от друга.

Смолы находятся как в древесине, так и в коре дерева. Выход смолы может изменяться в зависимости от породы дерева и условий его произрастания.

Зольность древесины колеблется от 0,2 до 1,7% и также зависит от породы древесины и от условий произрастания.

Физические свойства древесины. Для газификации древесины важными показателями являются следующие ее физические свойства: удельный вес, влажность и механическая прочность древесного угля.

Удельный вес вещества древесины для разных пород почти постоянен и принимается равным примерно 1,56. С увеличением удель-

ного веса растет объемный вес и теплотворность древесины. Это обстоятельство имеет большое значение при эксплоатации транспортных газогенераторов, так как с увеличением объемного веса древесины увеличивается продолжительность работы газогенератора на одной загрузке.

Сравнительная оценка разных пород древесины по удельному весу и объемной теплотворности приведена в табл. 4. Древесина всегда содержит в себе то или иное количество влаги. Количество ее в свежесрубленной древесине доходит до 60%. Газификация такого топлива затруднена, и потому древесину подсушивают либо на воздухе, в специальных огневых сушилах, либо в бункере газогенератора, путем отсоса избыточных паров. Различают две формы влаги: свободную, содержащуюся в межклеточных пространствах древесины, и гигроскопическую, находящуюся в стенках самих клеток.

Таблица 4

Удельный вес и объемная теплотворность различных пород древесины

Порода древесины	Удельный вес	Объемный вес 1 складочного кубометра абс. сухих дров в кг	Объемная теплотворность 1 м³ абс. сухих дров в тыс. ккал	Количество ккал в 1 кг дров
Граб	0,720	461	1979	4290
Дуб	0,706	452	1947	4307
Ясень	0,679	435	1870	4298
Бук	0,630	403	1723	4276
Береза	0,593	380	1630	4290
Лиственница	0,547	350	1565	4470
Сосна	0,493	316	1413	4473
Ольха	0,465	297	1304	4392
Осина	0,431	276	1239	4490
Ель	0,421	269	1170	4350
Липа	0,419	268	1214	4530
Пихта	0,410	262	1187	4532
Тополь	0,350	224	990	4421

В зависимости от температуры и влажности воздуха древесина может впитывать или выделять влагу до тех пор, пока не установится равновесное состояние между влажностью древесины и влажностью окружающей среды.

Из фиг. 10 видно, что чем больше относительная влажность воздуха и ниже его температура, тем больше содержание влаги в воздушно-сухой древесине при равновесном состоянии.

Теплотворность древесины. Теплотворность рабочей массы древесины в среднем составляет 2700—3000 *ккал/кг.*

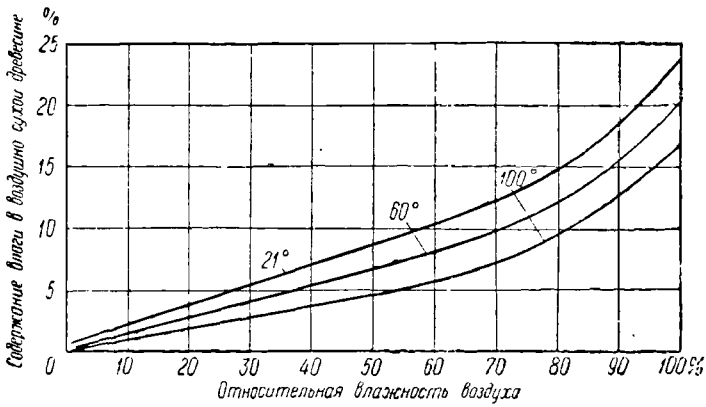
Низшую (рабочую) теплотворность древесины, в зависимости от влажности, можно определить по эмпирической формуле проф. А. А. Надежина:

$$Q_н = 4370 - 50\,W, \qquad (5)$$

где W — относительная влажность древесины в %.

Для отдельных пород дров теплотворность $Q_н$ при данной влажности $W_р$ рабочего топлива может быть определена по следующим формулам:

Сосновая древесина $Q_н = 4510 - 51{,}6 \cdot W_р$ *ккал/кг*
Еловая древесина $Q_н = 4460 - 50{,}6 \cdot W_р$ *ккал/кг*
Дубовая древесина $Q_н = 4345 - 49{,}5 \cdot W_р$ *ккал/кг*
Березовая древесина $Q_н = 4420 - 50{,}2 \cdot W_р$ *ккал/кг*
Осиновая древесина $Q_н = 4350 - 49{,}5 \cdot W_р$ *ккал/кг*



Фиг. 10. Зависимость влажности древесины от влажности и температуры воздуха при равновесном состоянии.

В табл. 5 приведены элементарный состав и теплотворность различных древесных пород.

Древесина содержит до 80% летучих веществ и горит длинным пламенем. Если принять длину пламени сосны за 100, то соответственно для березы получим 76, для ели 71 и для ольхи 52.

Состав древесины сказывается и на характере пламени. Так, например, береза и некоторые хвойные при горении дают густое, богатое углеводородами, сильно излучающее пламя, в противоположность осине, горящей сравнительно бледным, синеватым, прозрачным пламенем.

Бурая (карбонизированная) древесина. Одним из методов повышения качества древесины как газогенераторного топлива является карбонизация, представляющая собою процесс термической обработки древесины, проводимой при температуре, достаточной для удаления

Таблица 5

Состав и теплотворность древесного топлива

Порода древесины	Процентное содержание					Высшая теплотворность органич. массы в *ккал/кг*	Низшая теплотворность сырой древесины в *ккал/кг*
	в органической массе			в сырой древесине			
	C	H	O + N	влаги *W*	золы *A*		
Дуб . . .	50,7	6,05	43,25	450	2,1	4530	2130
Береза .	49,3	6,1	44,6	50,4	0,7	4590	1940
Ольха . .	49,0	6,25	44,75	51,0	1,4	4540	1855
Осина . .	48,8	6,1	45,1	44,0	1,1	4450	2180
Сосна . .	50,2	6,1	43,8	57,4	1,4	4740	1700

влаги (270—290° С), большей части углекислого газа и частично продуктов сухой перегонки, но недосточной для получения бурого угля.

После такой обработки древесина приобретает бо́льшую твердость, плотность, меньшую гигроскопичность и повышенную в 1,5—2 раза теплотворность (5700—5800 *ккал/кг*). При газификации образуется газ, содержащий меньше смол и кислот.

Основные показатели газификации древесины. Древесина — легко газифицируемое топливо. Незначительная зольность древесины и высокая температура плавления золы дают возможность работать с сухим золоудалением, а высокая реактивная способность древесного угля, который образуется из древесины в процессе сухой перегонки, способствует образованию калорийного газа.

Состояние древесного угля, получающегося в активной зоне при газификации древесины, оказывает большое влияние на течение газогенераторного процесса. При газификации мягких древесных пород уголь в восстановительной зоне получается недостаточно прочным.

Ввиду более быстрого выгорания древесных углей мягких пород, при работе на одном и том же газогенераторе отбор газа в некоторых случаях рекомендуется уменьшать на 20% по сравнению с газификацией твердых пород, что необходимо для предупреждения опускания уровня активной зоны. При работе на древесном топливе мягких пород происходит быстрое засорение угольной мелочью очистительных устройств установки, что сокращает время между чистками.

Режим газификации зависит главным образом от размера и влажности дров, интенсивности процесса, высоты и формы камеры.

В табл. 6 приводится примерный состав газа, полученного из древесины в стационарных газогенераторах силового газа.

Выход сухого генераторного газа при газификации древесины колеблется в среднем от 2,0 до 2,5 *нм*^{3} на 1 *кг* рабочего топлива. Расход дров с влажностью 15—20% составляет 1,0—1,1 *кг/э. л. с.-час.*

Таблица 6

Примерный состав силового газа из древесины, получаемого в стационарных газогенераторах обращенного процесса

Род топлива	Влажность в %	Объемный состав сухого генераторного газа в %						Низшая теплотворность, газа в *ккал/нм*³
		CO_2	CO	H_2	CH_4	O_2	N_2	
Хвойные породы — длина 710 *мм*	20,0	7,0	27,6	15,1	2,2	—	48,1	1415
Сосна 65% Ель 30% Береза 5% } смесь . .	25,5	5,6	29,2	11,7	3,3	0,1	50,1	1470
Береза 95 „ . . . . . }	20,0	7,0	27,3	12,6	3,7	0,2	49,2	1480
Хвойные породы 5 „ . . }								
Щепа	30,0	6,8	28,1	15,4	3,0	0,5	46,2	1510
Щепа березовая . . .	45,0	5,4	32,6	12,0	3,7	0,2	46,1	1640
Ель: метровка	47,0	10,9	20,1	11,8	2,6	0,4	54,2	1140
Сосна и ель — длина 500 *мм*	20,0	11,7	17,8	19,1	1,9	0,0	49,5	1197
Дуб (чурка) 40×40×60 *мм*	31,0	12,66	17,29	9,19	3,21	0,73	56,92	1041

С увеличением влажности расход дров повышается. Так, в серийном газогенераторе Г-2 конструкции ЦНИДИ при газификации дров размером 80×80×250 *мм* с влажностью до 50% удельный расход колеблется в пределах 1,5—2,0 *кг/э.л.с.-час.*

Древесный уголь получается путем нагревания и разложения древесины без доступа воздуха (сухая перегонка), либо при ограниченном доступе воздуха, путем выжига в кострах или печах.

Углежжение отличается от сухой перегонки более высокой температурой процесса; при этом уголь получается более прочным.

При нагревании древесины до 400° С процесс сухой перегонки в основном заканчивается, но с дальнейшим увеличением температуры растет содержание углерода, а следовательно, повышается и теплотворность угля.

Качество угля зависит от его плотности и содержания нелетучего углерода, которые изменяются в зависимости от условий процесса сухой перегонки.

Плотность угля колеблется от 0,15 до 0,3. Причина такой малой плотности заключается в его пористости. Состав и свойства древесного угля зависят от температуры разложения древесины. Чем выше конечная температура разложения древесины, тем больше содержится в угле углерода.

При нормальном ведении процесса объемный выход угля при переугливании древесины составляет 55—65%. Весовой выход зависит от температуры переугливания и колеблется от 25 до 40% от веса переработанной древесины.

Таблица 7

Основные показатели силового газа, получаемого при газификации древесного угля

Размер кусков в *мм*	Относительная влажность в %	Часовой отбор газа в $м^3$ при 0° С и 760 *мм* вод. ст.	Состав газа по объему в %						Коэффициент доброкачественности газа	Низшая теплотворность газа при 0° С и 760 *мм* рт. ст. в *ккал/нм³*	Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания газа в $м^3/м^3$	Низшая теплотворность рабочей смеси при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1{,}15$ в *ккал/нм³*
			CO	H_2	CH_4	CO_2	O_2	N_2				
50 × 50 × 60	6,5	123	23,7	9,5	0,4	4,9	0,3	61,2	0,513	1000	0,815	516
50 × 50 × 50	4,6	70	29,0	7,1	1,1	2,2	0,0	60,6	0,523	1159	0,965	550
50 × 50 × 50	12,8	70	26,2	9,7	0,9	3,7	0,0	59,5	0,582	1125	0,940	541
17 × 37	18,2	127	24,1	10,0	1,24	3,9	0,4	60,36	0,556	1097	0,920	535
17 × 37	18,2	83	23,9	11,5	0,92	4,5	0,1	59,08	0,573	1102	0,927	534
17 × 37	18,2	44	20,2	8,0	1,35	5,6	0,5	64,35	0,429	936	0,776	494

Гигроскопичность древесного угля велика и для различных пород неодинакова.

Основные показатели газификации древесного угля. Оценивая древесный уголь как газогенераторное топливо, необходимо прежде всего отметить его высокую реактивную способность, малозольность и отсутствие смол.

Практически интенсивность газификации древесного угля в стационарных газогенераторах лежит в пределах 100—160 *кг/м²-час*. что соответствует тепловому напряжению 700—1100 тыс. *ккал/м²-час*.

Выход сухого газа при газификации древесного угля с влажностью 15% составляет от 4 до 4,5 *нм³* на 1 *кг* рабочего топлива. Расход древесного угля составляет 500—600 *г/э.л.с.-час*.

Химический состав силового газа, получаемого при газификации древесного угля, и его теплотворность приводятся в табл. 7.

Древесный уголь применяется и для розжига основного топлива (древесина, торф), в целях образования восстановительной зоны. Инженером Александровым [14] предложен метод регулярной присадки древесного угля к чуркам при газификации древесины с влажностью свыше 25%. Величина присадки древесного угля существенно сказывается на мощности двигателя, что видно из приведенной на фиг. 11 внешней характеристики

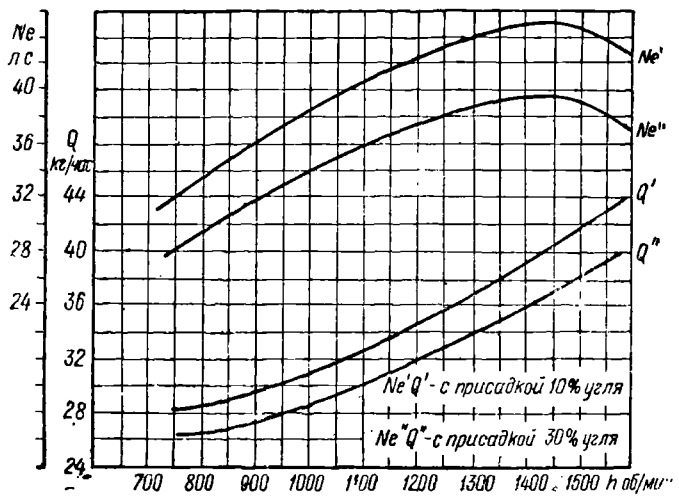
двигателя ХТЗ-НАТИ при работе на древесине с влажностью 36 и 66%.

Торф. Торф занимает среднее положение между древесиной и бурым углем.

Зольность торфа колеблется в довольно широких пределах и на рабочее топливо составляет: для верховых болот 2—3%, переходных 5—6%, низинных 6—15%.

Средний состав торфа следующий:

Углерода	54—60%
Водорода	5—6%
Кислорода	28,5—39,5%
Азота	0,5—3,0%
Серы	0,1—1,5%



Фиг. 11. Внешние характеристики двигателя ХТЗ-НАТИ при работе на древесине с влажностью 36 и 66% при присадке древесного угля.

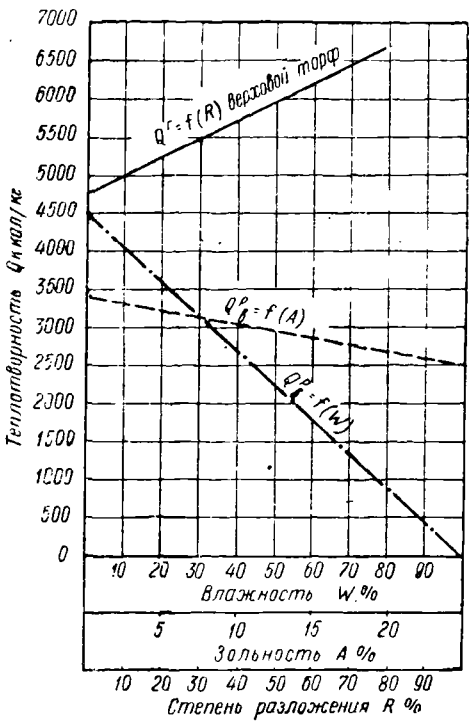
Теплотворность рабочей массы торфа при средней влажности 18% находится в пределах 2700—3400 *ккал/кг*. Зависимость теплотворности торфа от степени разложения, влажности и зольности приведена на фиг. 12.

Насыпной вес торфа зависит от способа торфодобычи и влажности торфа. Вес 1 $м^3$ машинно-формовочного торфа, выложенного в штабели, колеблется от 351 до 410 *кг*. Гидроторф, выложенный в штабели, весит 300—330 $кг/м^3$. При погрузке приведенные веса следует уменьшить, принимая коэффициент заполнения для машинно-формовочного торфа 0,80—0,85 и для гидроторфа 0,65—0,70.

Основные показатели газификации торфа. Для получения силового газа можно рекомендовать машинно-формовочный торф, гидроторф, брикетированный торф и торфяной кокс при зольности на сухую массу не более 13—16%, температуре плавления золы не ниже 1300° С и влажности рабочего топлива не выше 25% (повышение

влажности до 40—45% может быть допущено при организации подсушки торфа в бункере газогенератора).

При газификации торфа, склонного к образованию больших количеств крошки, значительно увеличивается сопротивление газогенератора, нарушается равномерное питание слоя кислородом, что приводит к резкому ухудшению состава газа.



Фиг. 12. Зависимость теплотворной способности торфа от степени разложения, влажности и зольности.

Особенно резко все явления, связанные с большим содержанием мелочи в слое, сказываются при газификации промороженного торфа, который содержит очень много пыли.

Наличие в торфе большого количества летучих обуславливает его газификацию по обращенному или двухзонному процессам. Двухзонный процесс является особенно выгодным тогда, когда зольность торфа выше 5—6%. В этом случае представляется возможным удалять золу и шлаки во время хода газогенератора, что является важным эксплоатационным преимуществом двухзонного процесса газификации

Интенсивность процесса газификации торфа принимается в среднем 180—220 *кг/м²-час*. Выход сухого газа из торфа составляет в среднем 3,0 *нм³/кг*, при его средней теплотворности 1200—1250 *ккал/нм³*. Расход торфа при влажности в 35% составляет 1,2 *кг/э.л.с.-час*.

Состав силового газа, полученного из торфа Редкинских верховых болот по обращенному процессу газификации, представлен в табл. 8.

Этот торф характеризуется следующими данными: зольность 2—4,5%, относительная влажность 11—40%, степень разложения 40—45%.

Ископаемые угли. В СССР газификация ископаемых углей для получения силового газа представляет большой экономический интерес ввиду огромных запасов этого вида топлива, начиная с залежей промышленного масштаба до небольших запасов местного значения. Около 52% топливных запасов СССР составляет каменный уголь.

Таблица 8

Состав силового газа, полученный при газификации по обращенному процессу Редкинских торфов

Производительность газогенератора в $м^3$/час сухого газа	Состав газа в %							Низшая теплотворность газа в ккал/$нм^3$
	CO	H_2	CH_4	C_nH_m	CO_2	O_2	N_2	
100—105	21,7	16,9	2,4	0,35	9,8	0,65	48,2	1325
85—90	21,2	14,9	2,3	0,35	8,9	0,65	51,7	1255
55–60	22,6	12,6	2,3	0,35	7,6	0,55	54,0	1234
25	16,0	11,4	2,4	0,35	12,0	0,60	57,25	1012

Вполне освоенным топливом для газомоторных установок следует считать антрацит, затем каменные угли, и менее освоенными - бурые угли.

Антрацит. Антрацит является разновидностью каменного угля в наивысшей стадии обугливания. Содержание углерода в антраците достигает 97,5%. При сухой перегонке антрацит не дает смолистых погонов, отличается большой твердостью и значительной плотностью. Кокс антрацита порошкообразный. Состав антрацитов почти одинаков, но физическое строение и прочность их бывают различны. Некоторые из них имеют мелкозернистый излом, другие— крупнозернистый, иногда слоистый и чешуйчатый.

Классификация донецких антрацитов по размеру кусков приведена в табл. 9.

Таблица 9

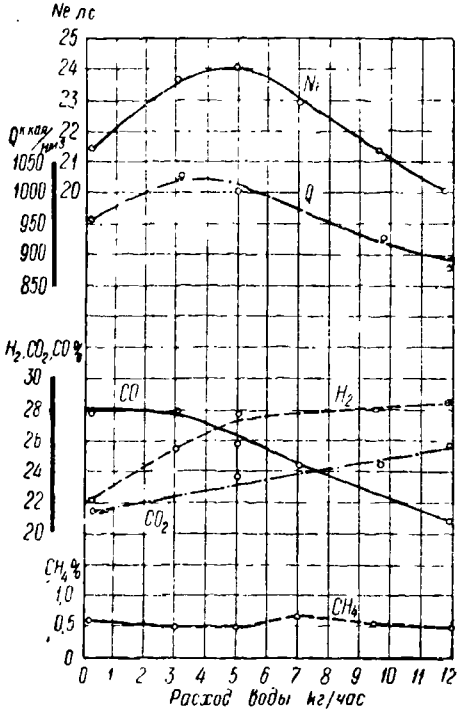
Классификация донецких антрацитов по размеру кусков

Наименование сорта	Условное обозначение	Размеры кусков в *мм*
Плотный	АП	>100
Крупный орех	АК	100—25
Мелкий орех	АМ	25—13
Семячко	АС	13—6
Семячки со штыбом . .	АСШ	13—0
Штыб	АШ	6—0
Рядовой без плиты . . .	АРШ	100–0

Основные показатели газификации антрацита. Небольшое содержание летучих в антраците позволяет газифицировать его по прямому и горизонтальному процессам (при зольности антрацита не выше 4%).

Применение паровоздушного дутья улучшает процесс газификации и качество получаемого газа.

Влияние количества водяного пара в дутье на качество газа и мощность двигателя при газификации антрацита иллюстрируется данными, приведенными на фиг. 13, показывающими зависимость мощности и состава газа от расхода водяного пара при числе оборотов двигателя $n = 1000$ об/мин. при наивыгоднейших опережении зажигания и качестве газовоздушной смеси.



Фиг. 13. Зависимость мощности двигателя и состава газа от расхода водяного пара при газификации антрацита (по данным НАТИ).

Наибольшее применение в газогенераторах силового газа имеют антрациты АМ и АС.

Интенсивность газификации антрацита в стационарных газогенераторах составляет 120—150 *кг/м²-час*, а в легких газогенераторах транспортного типа она доходит до 200 *кг/м²-час* и выше.

Удельный расход антрацита составляет примерно 0,5 *кг* на 1 *э. л. с.-час.*

Каменный уголь. В качестве топлива для газомоторных установок преимущественно применяются угли со значительным содержанием летучих, дающие газ с высокой теплотворностью и неспекающийся или слабо спекающийся кокс. Особенно широко применяются длиннопламенные, газовые и слабо спекающиеся угли с размерами кусков 12—50 *мм*. Можно считать вполне освоенными для газификации донецкие и лисичанские угли. Интенсивность газификации этих углей колеблется в пределах 140—260 *кг/м²-час*, при теплотворности сухого газа 1300—1500 *ккал/нм³*. В отдельных газогенераторах интенсивность газификации достигает 300—400 *кг/м²-час*. Выход сухого газа из 1 *кг* углей этого типа составляет 2,0—3,0 *нм³*.

Для характеристики генераторного газа из каменных углей в качестве примера в табл. 10 приведен состав газа, полученного при газификации кольчугинского угля.

Бурый уголь. Советский Союз богат месторождениями бурого угля. Наибольшее значение по количеству добываемого угля имеют Подмосковный и Челябинский бассейны и Богословское месторождение.

Бурый уголь в качестве топлива для газификации в СССР начал применяться лишь в последнее десятилетие.

Вследствие того, что бурый уголь является топливом нестойким,

Таблица 10

Состав силового генераторного газа из кольчугинских углей

Состав сухого газа в %							Теплотворность газа в *ккал/нм³*	
CO_2	C_nH_m	H_2S	CO	H_2	CH_4	N_2	$Q_в$	$Q_н$
5,0	0,2	0,3	27,0	13,0	2,7	51,8	1420	1210

самовозгорающимся, содержащим большое количество золы, серы и влаги, лучше всего применять его вблизи мест добычи.

Содержание углерода в горючей массе составляет 67—78%, кислорода 16—27% и водорода 5,0—5,5%. Высшая теплотворность горючей массы бурого угля равна 6000—7400 *ккал/кг*. Зольность бурых углей как рабочего топлива доходит до 20%, влажность до 30% и выше.

Основные показатели газификации бурого угля. Положительные качества бурого угля как топлива для газификации заключаются в сравнительно высоком содержании в нем летучих и в свойствах кокса, обладающего высокой реактивной способностью.

Крупнокусковой бурый уголь, при высокой температуре плавления золы, может газифицироваться в обычных газогенераторах и при значительной зольности. Из бурых углей, пригодных для газификации, следует отметить челябинские, богословские, сулюктинские и карагандинские с зольностью до 12% и летучими не свыше 40%, не дающие спекающегося кокса.

Газификация бурых углей с целью получения силового газа обычно осуществляется в газогенераторах обращенного или горизонтального процессов (в маломощных установках), реже — по прямому процессу с улавливанием смол. Интенсивность газификации колеблется в пределах 160—400 *кг/м²-час*. Выход сухого газа составляет в среднем 2 *нм³/кг*.

Влажность бурых углей может достигать 50%; при сушке угли окисляются и распадаются. Ввиду этого бурые угли иногда газифицируют с влажностью выше 30%, с обязательным отсосом паров из бункера.

Состав силового генераторного газа из бурого угля приведен в табл. 11.

Таблица 11

Состав генераторного газа из бурого угла

Состав сухого газа в %								Теплотворность газа в *ккал/нм³*
CO_2	O_2	C_nH_m	H_2S	CO	H_2	CH_4	N_2	
6,0	0,2	0,3	0,2	25,5	14,0	2,1	51,7	1020
5,0	0,2	0,2	0,2	28,0	14,0	2,0	50,4	1170

Сланцы. СССР обладает богатейшими залежами горючих сланцев Несмотря на сравнительно малую долю разведанной территории, к настоящему времени известно более 100 различных месторождений.

Месторождения горючих сланцев находятся в Эстонской ССР, в Ленинградской (Гдов), Куйбышевской (Кашпир, Ундоры), Саратовской (Савельево) областях, в Татарской АССР, Коми АССР и других районах. Сланцы — высокозольное топливо. Содержание золы в сланцах находится в пределах 30—70%. Минеральной основой горючих сланцев служат известняк, глина, кварцевый песок или их смесь.

Пропитывающая сланцы органическая масса может состоять из самых разнообразных соединений и имеет сходство с витритом каменных углей и органическими веществами нефти.

Зола сланцев содержит все составные части цемента и часто представляет собой вяжущее вещество.

Сухой сланец имеет зольность 57—65%. Из них:

Минеральной углекислоты	до 20%
Углерода	26—27%
Водорода	3,0—3,5%
Серы	1,5—2,0%

Органическая масса сланца обладает теплотворностью 8900 *ккал/кг*.

Основные показатели газификации сланца. По сравнению с другими видами топлива, сланец газифицируется наиболее тяжело. Трудность газификации сланца объясняется большим содержанием в нем легкоплавкой золы и малым содержанием нелетучего углерода в коксовом остатке. Исходя из специфических особенностей сланца, его газификацию проводят в газогенераторах с сильно развитой швельшахтой и дополнительным теплоносителем. Выходящий из газогенератора газ охлаждается путем смешивания в необходимой пропорции с уже охлажденным, очищенным от смолы газом, и часть его возвращается при температуре около 600° С обратно в зону швелевания газогенератора.

Первые опыты по газификации сланца в СССР были проведены в 1917 г.

Опыт газификации сланцев для получения силового газа был осуществлен Ленинградским политехническим институтом в 1930 г. в газогенераторах прямого процесса. Газифицировался прибалтийский сланец состава $W_р = 6{,}8\%$, $A_р = 41{,}0\%$, $S_р = 0{,}6\%$, $V^г = 58{,}0\%$, $Q_н = 3300$ *ккал/кг* с температурой плавления золы 1100° С. Интенсивность газификации составляла 200—300 *кг/м²-час*, при максимальной температуре топлива в слое 1000° С. Работа велась с воздушным дутьем при давлении до 500 *мм* вод. ст. В результате газификации был получен газ теплотворностью от 950 до 1100 *ккал/нм³*. Выход газа составлял 0,6—0,8 *нм³/кг*.

Все увеличивающееся в результате геологической разведки количество разведанных месторождений сланцев заставляет уже сейчас развернуть широкую экспериментальную работу по созданию промышленных образцов газомоторных установок для газификации сланца.

всемерно используя результаты ранее проведенных работ в этой области.

Растительные отходы. Растительные отходы исключительно разнообразны как по характеру строения, так и по своим физико-химическим свойствам в качестве топлива для газификации; свойства эти являются следствием их ботанических особенностей, условий произрастания, климата и почвы.

Все указанное существенно отражается на характере процесса горения и газификации этих топлив и предъявляет ряд требований к их подготовке, если они в своем естественном виде не могут быть использованы достаточно эффективно.

Учитывая влияние формы и размера кусков топлива на процесс его газификации, растительные отходы могут быть разделены на четыре класса, которые приведены на фиг. 14.

Классификация достаточно полно охватывает широкую номенклатуру растительных отходов, представляющих основную массу ежегодно возобновляемого энергетического топлива.

Основные показатели газификации растительных отходов. Ряд свойств растительных отходов, например, малый насыпной вес и невысокая теплоплотность стеблевидных отходов, и, наоборот, высокая плотность и неподвижность слоя таких отходов, как льняная костра, лузга, высокое содержание летучих, низкая температура плавления золы, — все это не позволяет отнести растительные отходы к группе легко газифицируемых топлив.

Опыт показывает, что газификацию растительных отходов с целью получения силового газа нельзя вести обычными в технике газификации методами. Работы, проведенные в этом направлении автором, Центральным научно-исследовательским дизельным институтом, Энергетическим институтом Академии наук СССР, устанавливают, что нормальная газификация растительных отходов разной степени зернистости зависит от решения следующих задач:

а) подвода воздуха в слой;

б) непрерывного и равномерного питания топливом зоны газификации;

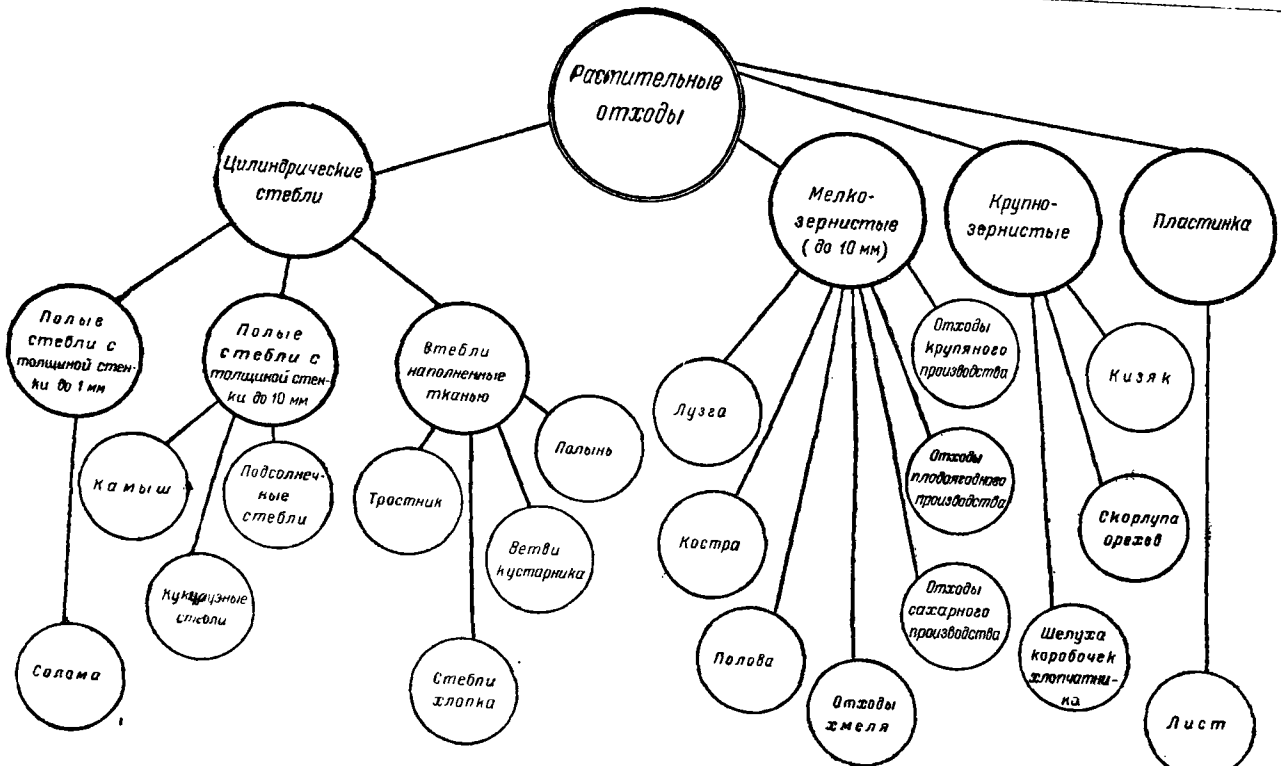
в) обеспечения условий стабильной деятельности восстановительного слоя.

Созданные на основе экспериментального решения указанных задач опытные и промышленные силовые газогенераторные установки показывают, что газификация растительных отходов протекает в них удовлетворительно.

Интенсивность процесса газификации соломы, камыша и кизяка может быть рекомендована в пределах 600—750 тыс. *ккал/м²-час*, а для топлива типа костры и лузги может быть повышена до 800—900 тыс. *ккал/м²-час*.

В табл. 12 приводятся для ряда растительных отходов состав силового генераторного газа, его выход и теплотворность.

Брикетированное топливо. Брикеты как топливо для газификации в газогенераторах силового газа имеют ряд преимуществ по сравнению с ископаемыми углями или натуральным растительным



Фиг. 14. Классификация растительных отходов.

Таблица 12

Состав силового генераторного газа из растительных отходов

Вид топлива	Состав газа в %							Сумма горючих в %	Выход газа в $м^3/кг$	$Q^р_н$ в $ккал/нм^3$
	CO_2	O_2	CO	H_2	CH_4	C_nH_m	N_2			
Солома ржаная свежей уборки	13,3	0,2	15,4	14,8	3,2	0,1	53,0	33,5	2,3	1121
Костра льняная .	14,1	0,3	15,1	19,9	6,2	0,87	43,53	41,74	2,5	1567
Сухой навоз . . .	12,8	0,4	16,1	13,2	1,8	0,21	55,49	31,31	2,1	1017
Кизяк в кирпичах .	13,4	0,7	15,8	10,9	1,76	0,16	57,28	28,62	2,2	934
Опад древесного листа . .	13,08	0,6	15,8	15,1	0,8	0,0	54,62	30,98	2,0	883
Полынь	13,3	0,41	16,1	14,84	2,4	0,1	52,85	33,35	2,4	1078

топливом. Основные преимущества заключаются в однородности состава брикета, бо́льшем насыпном весе и более высокой теплотворности.

В качестве сырья для изготовления брикетов используются угольная мелочь, легко рассыпающийся непрочный уголь, торфяная крошка и др. Брикетирование осуществляется как с применением вязких веществ типа каменноугольного пека, гудрона, смолы и других, так и без них, но с применением высоких давлений, доходящих до 2000 *атм*.

Брикеты из бурого угля обладают теплотворностью около 5000 *ккал/кг* при влажности не выше 15% и зольности не более 8%, при сопротивлении излому около 2,5 $кг/см^2$.

Брикеты из брединских антрацитов имеют теплотворность около 8000 *ккал/кг* при влажности 4—5%, зольности 16—18% и количестве летучих до 10%.

Торфобрикеты как газогенераторное топливо характеризуются высокой реактивной способностью, и их розжиг осуществляется быстрее, чем древесины. Вместе с тем торфобрикеты обладают более высокой теплотворностью — 4000 ÷ 4500 *ккал/кг* и насыпным весом 500 ÷ 600 $кг/м^3$.

В качестве исходного материала при брикетировании древесины используются опилки, стружка, мелкие ветви и др.

Теплотворность брикетированной древесины повышается до 6200 *ккал/кг* при удельном весе, равном 1,0.

Древесноугольные брикеты изготовляются с применением связующих веществ. Теплотворность древесноугольного брикета 7000—7500 *ккал/кг*, насыпной вес 550 $кг/м^3$.

Таблица 13

Основные показатели газификации твердого топлива для получения силового газа

Показатели		Размерность	Каменный уголь							Антрацит донецкий АС	Коксовая мелочь
			Богословский БР	Челябинский БК	Черновский БР	Черемховский Д	Кольчугинский Д	Чернегорский Д	Донецкий грохоченый		
Характеристика топлива	Влажность	%	30	19,0	33,0	12,0	9,0	12,0	6,0	6,0	16,0
	Зольность	%	20	20,0	11,0	12,0	7,0	12,0	11,0	13,0	19,0
	Крупность	*мм*	10—50	10—50	10—50	10—50	10—75	10—75	—	—	—
	Теплотворность	*ккал/кг*	3310	4200	3910	5330	6240	5710	6450	6580	5350
Интенсивность газификации		*кг/м²час*	130—160	350—100	170		150 - 200	150—200	240—280	180—200	160—200
Выход сухого газа на 1 *кг* рабочего топлива		*нм³/кг*	2,0	2,1	2,0		3,3	3,0	3,3	4,0	3,2
Состав сухого газа	CO_2	%	6,0	5,0	4,0—6,0		4,0	5,0	5,0	6,0	5,0
	O_2	%	0,2	0,2	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	C_nH_m	%	0,3	0,2	—		0,3	0,3	0,3	0,0	0,0
	H_2S	%	0,2	0,2	—		—	—	0,3	0,2	0,2
	CO	%	25,5	28,0	26,5—28,5		27,0	26,0	26,5	27,0	28,5
	H_2	%	14,0	14,0	14,0—14,5		13,0	13,0	13,5	14,0	13,0
	CH_4	%	2,1	2,0	3,0—3,5		2,7	2,7	2,3	0,6	0,7
	N_2	%	51,6	50,4	49,8—50,75		51,8	52,8	51,9	52,0	52,4
Теплотворность газа		*ккал/нм³*	1020	1170	1210—1310		1470	1410	—	—	1130
Температура газа на выходе из генератора		°C	250	250—300	250—300		500	550	550	600	600
Расход воздуха на 1 *кг* топлива		*нм³/кг*	1,2	1,39	1,21		2,1	2,0	2,2	2,64	2,23
Температура паровоздушного дутья		°C	46—50	46—65	45—50		50	55	45—55	55—58	55—58
Расход пара в дутье		*г/кг*	150—250	250 - 350	160—270		250	300	400—550	400—420	340—360

Продолжение

Показатели		Торф кусковой		Дрова воздушной сушки	Отходы лесопильного производства		Растительные отходы			
		кондиционной влажности	воздушной сушки		двухзонный процесс	обращенный процесс	Солома	Полынь	Кизяк	Древесный лист
Характеристика топлива	Влажность	33,0	20,0	25,0	23,0	23,0	10,0	13,0	16,0	10,0
	Зольность	8,0	8,0	1,0	1,0	1,0	3,5	4,0	6,0	5,0
	Крупность	проходит через сито 25 × 25 и не более 18%		80—100	щепа, рейки, опилки		резка пакет	резка	50 × 50	в натуральном виде
	Теплотворность	2990	3760	3250	3250	3250	3520	3600	2800	3300
Интенсивность газификации		450—500	600—650	200—250	239	256	180—220	180—220	200—230	200—230
Выход сухого газа на 1 *кг* рабочего топлива		1,7	1,7	2,15	2,08	2,30	2,3	2,4	2,2	2,0
Состав сухого газа	CO_2	8,0	7,0	11,0	15,28	13,21	13,30	13,30	13,40	13,08
	O_2	0,2	0,2	0,2	0,75	0,30	0,20	0,41	0,70	0,60
	C_nH_m	0,4	0,4	0,3	0,27	0,00	0,10	0,10	0,16	0,00
	H_2S	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	CO	27,0	28,0	20,0	14,32	16,04	15,40	16,10	15,80	15,80
	H_2	14,0	15,0	12,0	13,68	11,28	14,80	16,10	10,90	15,10
	CH_4	3,0	3,0	2,0	3,15	2,18	3,20	2,40	1,76	0,80
	N_2	47,4	46,4	54,5	52,62	57,02	53,00	52,85	57,28	54,62
Теплотворность газа		1400	1550	1130	1134	1042	1121	1078	934	883
Температура газа на выходе из генератора		300—400	350—450	375	418	400	450	510	420	390
Расход воздуха на 1 *кг* топлива		0,9	1,0	1,48	1,32	1,3—1,4	1,27	—	1,30	—
Температура паровоздушного дутья		55	55	—	—	—	—	—	—	—
Расход пара в дутье		130	150	—	—	—	—	—	—	—

Малый насыпной вес растительных отходов, малая их теплотворность в слое, наряду с неудобствами транспортировки, являются главными причинами, определяющими необходимость брикетирования этих топлив.

Брикетирование растительных отходов впервые применено в Советском Союзе; у нас разрабатывались теоретические вопросы брикетирования и осуществлялась постройка первых промышленных образцов машин для брикетирования.

Технология брикетирования растительных отходов, точно так же, как и брикетирование древесной мелочи, развивалась в дву направлениях: разрабатывались методы холодного брикетирования и методы горячего брикетирования.

Удельный вес брикета из соломы составляет 1,15—1,40, а его теплотворность достигает 4500 *ккал/кг*. Зольность брикета 3,5—7,5%.

В табл. 13 приведены основные показатели газификации твердого топлива.

7. Технические требования и технология подготовки твердого топлива для газификации

Непременным условием бесперебойной и высокопроизводительной работы газогенераторных установок является доброкачественное топливо.

Практика показывает, что причиной значительной части неполадок в наладке, пуске и эксплоатации газогенераторных установок является применение топлива, не соответствующего техническим требованиям.

Если в газогенераторных установках технологического газа и можно иногда мириться со значительными колебаниями выхода газа и его качества, то в газогенераторах силового газа, питающих двигатели внутреннего сгорания, устойчивость процесса газификации имеет решающее значение.

В связи с этим необходимо рассмотреть технические требования к топливу и технологию его подготовки к газификации.

Древесное топливо. Древесное топливо газифицируется в виде чурок различной величины, швырка или щепы, заготовляемых из древесины любых пород.

Согласно ГОСТ 2720—44, газогенераторное древесное топливо разделяется на следующие группы:

1-я — береза, бук, граб, ясень, клен, вяз, ильм, лиственница;

2-я — сосна;

3-я — осина, ольха, липа, ель, кедр, пихта.

Уголь, образующийся при газификации древесины мягких пород, обладает меньшей механической прочностью, чем уголь из твердых древесных пород.

При газификации древесины хвойных пород или мягкой лиственной древесины в транспортных газогенераторах рекомендуется примешивать до 20—30% древесины твердых пород для повышения устойчивости работы восстановительной зоны газогенератора.

Практика газификации установила следующие размеры (в миллиметрах) древесины:

Чурка	$40 \times 40 \times 60$
	$50 \times 50 \times 60$
	$40 \times 40 \times 100$
	$80 \times 80 \times 250$
Швырок	$65 \times 65 \times 500$

Соблюдение требуемых размеров древесного топлива совершенно обязательно.

Измельчение дров на очень мелкие куски — ниже допустимого предела — отрицательно сказывается на процессе газификации.

Газификация дров в кусках больших размеров ухудшает процесс и повышает опасность засмоления двигателя.

Влажность древесного топлива должна быть в пределах 15—22% (абс.). При повышенной влажности, если конструкция газогенератора не приспособлена для газификации влажной древесины, последняя должна быть предварительно подсушена естественным или искусственным путем.

Древесное газогенераторное топливо не должно иметь посторонних примесей.

Заготовка древесных чурок производится из дровяной древесины и порубочных остатков.

При распиловке древесины вручную чаще всего применяются лучковые пилы, производительность которых, при толщине дров в 18—20 *см*, составляет 0,7 $м^3$ (плотных) [1] за 8-часовую смену. При расколке плашек на чурки обычными топорами производительность за 8-часовой рабочий день составляет 3,5—4,0 $м^3$.

При полумеханизированном способе разделки древесину распиливают циркульными и балансирными пилами, а плашки раскалывают на чурки вручную. Производительность циркульной пилы составляет 9 $м^3$ (плотных) за 8 час. работы. В крупных топливозаготовительных хозяйствах все процессы механизированы.

При механизированной разделке на чурки механическими колунами производительность колунов зависит от конструкции и мощности привода и колеблется от 50 до 170 $м^3$ (плотных) за 8 час. работы.

Древесный уголь. Древесный уголь как генераторное топливо характеризуется теплотворностью, удельным весом, механической прочностью и влажностью.

Согласно ГОСТ 4635—49, древесный уголь разделяется на три группы:

1-я — береза, бук, граб, ясень, клен, вяз, ильм, дуб, лиственница;

2-я — сосна;

3-я — ель, пихта, кедр, осина, ольха.

[1] Согласно ГОСТ 2720—44 для перевода насыпных кубических мер в плотные, для чурки устанавливается переводной коэффициент 0,5.

Древесный уголь должен быть выжжен из дров, предназначенных для сухой перегонки и углежжения (ГОСТ 3243—46).

Наиболее мягким является древесный уголь третьей группы, а поэтому его содержание в смеси с углем других пород не должно превышать 50% по весу. Временное сопротивление на сжатие вдоль волокон для угля первой группы составляет 100—180 *кг/см²*, а для третьей всего лишь 26—50 *кг/см²*.

Древесный уголь по размерам кусков делят на два класса — мелкий и крупный. Мелкий — с размерами кусков от 6 до 20 *мм*, и крупный — от 20 до 40 *мм*.

Мелкий уголь рекомендуется для газогенераторов горизонтального процесса, а крупный — для газогенераторов прямого и обращенного процессов. В табл. 14 приводятся основные технические показатели древесного угля.

Таблица 14

Основные технические показатели древесного угля

Название показателей	Нормы в %	
	1-го класса	2-го класса
Содержание влаги ($W_р$)	не более 12	не более 12
Содержание летучих ($V_р$)	„ „ 8—12	„ „ 13—25
Содержание золы ($A_р$)	„ „ 3	„ „ 3
Содержание мелочи	„ „ 5	„ „ 5

Торф. Технические требования к торфу, как топливу для силовых газогенераторов, определяющие зольность, температуру плавления золы, содержание влаги и механическую прочность, приведены в табл. 15.

Таблица 15

Технические требования к торфу для получения силового газа

Показатели качества	Для стационарных газогенераторов	Для малолитражных газогенераторов передвижного типа
Влажность относительная в % . .	20—45	20—25
Зольность максимальная в % . .	До 30	До 8
Температура плавления золы в °С	1100—1200	1200
Степень разложения торфа в % .	Не ниже 20	Не ниже 40
Содержание серы общей в % . .	Не более 0,1	Не более 0,1
Размер кусков в *мм*	В зависимости от конструкции газогенератора. В среднем	
	60 × 60 × 80	30 × 30 × 50
Содержание крошки в %	До 20	До 5

Эти технические требования нельзя считать раз навсегда установленными. С усовершенствованием конструкций газогенераторов станет возможным газифицировать торф с более низкими качественными показателями.

Насыпной вес кускового торфа при влажности 25% равен 330—400 *кг/м*³; резной торф при тех же условиях имеет насыпной вес 250—350 *кг/м*³.

Подготовка торфа для газификации заключается в разделке торфяных кирпичей на куски нужных размеров и его сушке. Мелочь отсеивается на грохоте с размером ячеек 30 × 30 *мм*. На больших топливных складах применяется механическая разделка торфяных кирпичей.

Каменный уголь и антрацит. Технические требования к каменному углю и антрациту для газогенераторов изложены в государственных общесоюзных стандартах: ГОСТ 3846—47; 4104—48; 4578—49; 4597—49.

Согласно ГОСТ 3846—47, угли и антрациты Донецкого бассейна для газогенераторов стационарного типа делятся на две группы: первая группа — с выходом летучих менее 9% и с индексом термической стойкости выше 60 и вторая группа — с выходом летучих более 31% и толщиною пластического слоя менее 12 *мм*.

По содержанию золы в абсолютно сухом топливе, общей серы и по механической прочности донецкие газогенераторные угли и антрациты делятся на два сорта:

	1-й сорт	2-й сорт
Содержание золы A^c в % . .	менее 12	от 12 до 20
Содержание серы $S^c_{об}$ в % .	менее 2	от 2 „ 4
Механическая прочность, индекс разбивания	выше 70	от 70 „ 65
Температура плавления золы в °С	выше 1250	

По размеру кусков газогенераторные угли и антрациты делятся на следующие классы: 100—50 *мм*, 50—25 *мм*, 25—13 *мм* и 13—6 *мм*, при допустимом содержании мелочи в классе соответственно 8, 8, 10 и 13%.

Согласно ГОСТ 4104—48, угли каменные и бурые восточных районов для газогенераторов стационарного типа подразделяются на три группы:

I — угли каменные марки Д, размер кусков 13—25, 25—50 *мм*;

II — угли каменные марки Г, СС, ПС, размер кусков 13—25; 25—50; 50—100 *мм*;

III — угли бурые, размер кусков 25—50; 50—100 *мм*.

Каменные угли первого сорта должны содержать золы в абсолютно сухом топливе менее 10%, а второго сорта — от 10 до 20%; содержание серы для обоих сортов допускается не свыше 1,2%.

Зольность бурых углей первого сорта допускается не более 20%, а второго сорта — от 20 до 25%; содержание серы не более 1,2%.

Температура плавления золы каменного и бурого углей должна быть не менее 1200° С.

Содержание видимой породы в углях допускается в пределах 2—2,5%. Антрациты, употребляемые в газогенераторных автомобилях и тракторах, согласно ГОСТ 4578—49, должны обладать повышенными качественными показателями: содержание золы 7—10%, серы не более 1,0—1,5%; температура плавления золы должна быть выше 1250° С.

Большое влияние на повышение качества углей как газогенераторного топлива оказывает процесс их обогащения, проводимый на месте добычи или на месте потребления.

Под обогащением понимается процесс механической обработки каменного угля, в результате которого из него удаляются многозольные части и порода, уменьшается содержание серы и увеличивается теплотворность.

Растительные отходы. Подготовка растительных отходов для газификации заключается:

а) в повышении насыпного веса топлива и увеличении его реагирующей поверхности;

б) в сушке топлива в целях достижения требуемой для процесса газификации влажности.

Равноплотность в слое достигается резкой и дроблением стеблей, пучкованием, пакетированием стеблей и, наконец, брикетированием.

Резка стеблей таких растительных отходов, как солома, полынь, тростник и камыш, может осуществляться различными способами, начиная от элементарных ручных режущих инструментов и кончая механизмами с ручным или механическим приводом. Длина резки для газификации рекомендуется в пределах 15—20 *мм*. Для резки стеблей может служить широко распространенная в сельском хозяйстве соломорезка РСБ-01 барабанного типа, работающая от ручного или механического привода.

При длине резки соломы в 15—20 *см* соломорезка заготовляет ее от 60 до 80 *кг/час*, работая от основного двигателя газомоторной установки, с затратой мощности до 1,5 *л. с.*

Растительные отходы можно подготовлять для газификации и в виде пресс-пакетов. Под пресс-пакетом понимается правильной формы пакет или тюк, полученный при прессовании соломы, сухой травы, мелких сучьев или смеси этих топлив в прессах типа сенных, при заданном коэффициенте уплотнения. Размеры и форма пресс-пакета определяются сечением камеры газификации газогенератора.

Почти все типы растительных отходов обладают высокой гигроскопичностью, и их влажность часто меняется даже в течение суток. Поэтому сушка растительных отходов перед газификацией обязательна. Надежные результаты дает огневая сушка в специальных сушилах и сушка отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания [9].

8. Газообразное топливо

Огромные ресурсы различных горючих газов, которыми располагает Советский Союз, значительный рост выработки сжатых и сжиженных газов и высокие качества этих газов как моторного топлива

Таблица 16

Средний состав природного газа различных месторождений СССР

Источники газа	Состав газа в %									Плотность по отношению к воздуху	Высшая теплотворность в *ккал/нм³*
	Метан	Этан	Пропан	Бутан	Пентан и более тяжелые углеводороды	Углекислота	Сероводород	Азот	Кислород		
Елшанское месторождение	93,2	0,7	0,6	0,6	0,5	—	Следы	4,4	—	0,605	8400
Курдюмское месторождение	92,2	0,8	—	0,1	—	—	—	6,0	—	0,589	8200
Бугурусланское месторождение	76,8	4,4	1,7	0,8	0,6	0,2	1,0	13,5	—	0,689	7900
Южно-Дагестанское месторождение	86,5	3,0	0,9	0,1	—	7,3	—	2,2	—	—	8500
Мелитопольское месторождение	98,0	—	—	—	—	0,3	—	1,8	—	—	8800
Ухтинское месторождение	88,0	1,9	0,2	0,3	—	0,3	—	9,3	—	0,608	7500
Тульское (Краснодарский край)	97,8	0,4	—	0,3	—	0,2	Следы	1,3	—	—	8900
Мельниково (Саратовская обл.):											
а) Западное поле	55,0	—	—	—	—	0,2	—	44,8	—	—	4950
б) Восточное поле	88,0	0,2	—	—	—	0,1	—	11,7	—	—	7900
Ставропольское месторождение:											
а) Северное поле	97,7	—	—	—	—	0,7	—	1,6	—	—	8890
б) Южное поле	60,0	—	—	—	—	—	—	40,0	—	—	5400
Меловые горы (Новороссийский район)	94,4	—	—	—	—	0,6	—	5,0	—	—	8450
Калужское месторождение (Западная Украина)	95,7	—	—	—	—	0,1	—	4,1	0,1	0,575	8200
Дашавское месторождение	97,8	0,5	0,2	0,1	0,05	0,05	—	1,3	—	0,568	8500
Косовское месторождение	75,7	21,3	1,4	1,6	—	—	—	—	—	—	—
Опаринское месторождение	89,0	9,1	—	1,9	—	—	—	—	—	—	—

представляют дополнительный резерв заменителей нефтепродуктов и источник местного топлива для двигателей внутреннего сгорания.

Многочисленные виды газообразных горючих можно разделить на три группы газов:

1) естественные высококалорийные;
2) промышленные среднекалорийные;
3) промышленные низкокалорийные.

Естественные газы являются преимущественно высококалорийными (7002-800 *ккал/нм*³), с преобладающим содержанием метана

Ресурсы естественных газов в СССР неисчислимы; в результате успешного выполнения сталинских пятилеток стало возможно их широкое использование вследствие сооружения мощных газопроводов.

В соответствии с первым послевоенным пятилетним планом газовая промышленность СССР выработала в 1950 г. 11,2 млрд. кубич. метров газа.

Средний состав природного газа различных месторождений СССР приводится в табл. 16.

Другая разновидность естественных газов — нефтегазы — являются побочными продуктами при эксплоатации нефтяных скважин. Бакинские нефтегазы состоят преимущественно из метана (90,88%). Грозненские нефтегазы содержат большое количество бутана, пропана, этана, которые при сжижении частично выпадают.

Необходимо упомянуть о канализационном метановом газе, который является продуктом брожения канализационных сточных вод. Этот газ содержит около 70% метана и имеет теплотворность порядка 6000 *ккал/нм*³.

Обладая широкими пределами воспламеняемости и хорошими антидетонационными свойствами, канализационный газ является высококачественным моторным топливом.

Промышленными среднекалорийными газами (4000—5000 *ккал/нм*³) являются коксовый и светильный газы (табл. 17).

Таблица 17

Средний состав коксового и светильного газов

Род газа	Состав газа в % по объему								Низшая теплотворность в *ккал/нм*³
	CH_2	H_2	CH_4	CO	C_nH_m	CO_2	N_2	O_2	
Коксовый	50,0	—	25,0	7,0	2.0	6,0	10,0	—	4000
Обогащенный коксовый	9,0	—	52,0	11,0	3,4	—	24,6	—	5300
Газ из сланцев, коксовый (Кохтла-Ярве)	—	38,7	23,9	10,9	5,7	18,8	1,7	0,3	4760
Светильный . . .	27,8	—	16,0	20,0	8,6	5,0	22,0	0,6	4300

Основные ресурсы промышленного газа в СССР составляет коксовый газ, получаемый в значительных количествах в виде побочного продукта на металлургических предприятиях, располагающих коксовыми печами.

Достоинствами коксового газа являются высокая теплотворность и значительный выход на 1 *т* выжженного кокса (300 $м^3$ из 1 *т* угля). Применение коксового газа в качестве моторного топлива требует его очистки от смол, аммиака и сероводорода.

Наряду с коксовым газом необходимо упомянуть о газах низкотемпературного (ниже 500° С) коксования. Газы полукоксования получаются из каменных и бурых углей. Полукоксовый газ из каменного угля имеет теплотворность порядка 6000—7000 *ккал/*$нм^3$, а выход его на 1 *т* угля не превышает 60 $нм^3$.

Высококачественным моторным топливом является и синтез-газ, получаемый в качестве отхода на заводах азотной промышленности. Основные компоненты этого газа — метан и водород. Теплотворность его составляет 5500 *ккал/*$км^3$.

Светильный газ получается при сухой перегонке газовых каменных углей. Теплотворность светильного газа достигает 4300 *ккал/*$нм^3$.

К группе промышленных низкокалорийных газов (1000—1300 *ккал/*$нм^3$) относятся доменный и генераторные газы, широко применяемые в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания. Основными горючими компонентами этих газов являются окись углерода и водород.

Значительный интерес в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания представляют так называемые сжиженные газы, которые при нормальном атмосферном давлении и температуре 15—20° С находятся в газообразном состоянии, но при сравнительно небольшом повышении давления — до 8—16 *атм* — переходят в легко испаряющуюся жидкость.

К сжиженным газам относятся предельные углеводороды парафинового ряда (C_nH_{2n+2}): пропан (C_3H_8), бутан и изобутан (C_4H_{10}) и непредельные углеводороды олефинового ряда (C_nH_{2n}): пропилен (C_3H_6), бутелен и изобутелен (C_4H_8).

Низшая теплотворность указанных газов составляет 21 000—27 000 *ккал/*$нм^3$, а теплотворность рабочей смеси — 840—860 *ккал/*$нм^3$.

Октановое число находится в пределах 100—125.

ГЛАВА III

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА

9. Реакции газогенераторного процесса

Генераторный газ, получающийся в зоне газификации газогенератора благодаря взаимодействию углерода топлива с кислородом воздуха, представляет собой смесь нескольких газов. Эти газы являются результатом протекания ряда реакций.

Первая реакция:

$$C+O_2=CO_2+97\,200\ ккал. \qquad (6)$$

Тепло, выделяющееся при этой реакции, приводит к развитию высоких температур в кислородной зоне и плавлению золы. В этих случаях добавка водяного пара к воздуху снижает температуру и выравнивает ход генераторного процесса.

Скорость реакции в общем виде выражается уравнением

$$\frac{dC}{dt}=K_1(C_0-C_1), \qquad (7)$$

где C_0 — начальная концентрация кислорода;

C_1 — кислород, израсходованный в течение времени t;

K_1 — коэффициент скорости реакции.

Вторая реакция:

$$C+CO_2=2CO-42\,000\ ккал. \qquad (8)$$

Эта реакция характерна для восстановительной зоны и отражает процессы восстановления углекислоты в окись углерода. Реакция эндотермична и идет с увеличением объема, следовательно, повышение температуры и уменьшение давления будут способствовать увеличению выхода CO.

Константа равновесия реакции определяется по формуле

$$k=\frac{(CO)^2}{(CO_2)}. \qquad (9)$$

Скорость реакции восстановления углекислоты зависит от состояния реагирующей поверхности, от ее пористости.

Время пребывания углекислоты в восстановительной зоне, необходимое для завершения реакций восстановления, можно представить уравнением скорости этой реакции:

$$\frac{dx}{dt} = K_1\left(m - \frac{m+1}{2}x\right), \qquad (10)$$

где x — содержание CO в газе по истечении времени t;
m — содержание CO_2 в газе в начале реакции;
K_1 — коэффициент скорости реакции (табл. 18);
t — время протекания реакции в сек.

Таблица 18

Значения коэффициента K_1 в уравнении скорости реакции для мелкозернистого топлива

Температура в °С	K_1 для топлива с размером частиц 5 *мм*		
	Древесный уголь	Кокс	Антрацит
800	0,021	—	—
900	0,159	0,0023	—
1000	0,629	0,023	—
1100	1,530	0,134	0,119
1200	—	0,410	0,237
1300	—	1,480	0,579

Реакции водяного газа. Топливо, поступающее в газогенератор, не бывает абсолютно сухим, поэтому влага как гигроскопическая, так и химическая, является постоянным компонентом процессов, протекающих в активной зоне.

Наиболее вероятной следует считать первичную реакцию

$$C + H_2O = CO + H_2 - 31\,700 \text{ ккал}. \qquad (11)$$

При температуре ниже 900° С эта реакция протекает медленно, а при более высоких температурах скорость ее увеличивается.

К числу реакций водяного газа относят также реакцию

$$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2 \pm 10\,300 \text{ ккал}, \qquad (12)$$

протекающую одновременно с реакцией по ф-ле (11).

Константа равновесия реакции по ф-ле (12) определяется по уравнению

$$k_p = k_c = \frac{(CO_2)(H_2)}{(CO)(H_2O)}. \qquad (13)$$

Акад. Н. Н. Доброхотов принимает для стационарных газогенераторов величину эмпирической константы водяного газа равной для нормального режима $k = 1{,}7—2{,}5$, причем чем меньше время пребывания топлива в газогенераторе, т. е. чем больше интенсивность процесса, тем больше растет величина k, приближаясь к максимуму $k = 2{,}5$. При понижении температуры процесс образования водяного газа протекает по следующей реакции:

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2 - 21\,400 \text{ ккал}. \qquad (14)$$

Константа равновесия этой реакции определяется уравнением

$$k = \frac{(CO_2)(H_2)^2}{(H_2O)^2}. \qquad (15)$$

Количество разложившихся паров воды зависит и от вида газифицируемого топлива, причем наиболее высокий процент получается при газификации кокса и древесного угля.

Количество воды, разлагаемой в условиях идеального процесса газификации твердого топлива (при к. п. д. равном единице), можно определить следующим образом.

Тепло, выделяемое при окислении С в СО:

$$C+0{,}5O_2=CO+27400\ ккал. \qquad (16)$$

Процесс разложения водяного пара протекает по реакции (11). Следовательно, количество воды, которое можно разложить при полном использовании тепла, будет равно $\frac{27400}{31700}=0{,}86$ *кг-моль*.

Принимая содержание в топливе углерода около 75%, получим следующее количество воды на 1 *кг* топлива:

$$\frac{0{,}86\cdot 18}{12}\cdot 0{,}75\simeq 0{,}97\ кг/кг.$$

Реакция образования метана. В состав генераторного газа входит метан CH_4. При газификации, например, древесного угля содержание метана в генераторном газе равно 0,5—1,5%. При газификации древесины содержание метана доходит до 4—5%, а при газификации некоторых типов растительных отходов количество метана несколько больше.

Метан образуется в процессе сухой перегонки в результате распада тяжелых углеводородов, а также в результате взаимодействия между продуктами газификации.

Исследование равновесия реакции

$$C+2H_2\rightleftarrows CH_4\pm 20\,368\ ккал \qquad (17)$$

показывает, что наличие в генераторном газе большого количества метана обычно связано с низкими температурами.

По мере приближения газа к колосниковой решетке при обращенном процессе в его составе увеличивается содержание СО и H_2, а также находится и известное количество CO_2. Между этими компонентами могут произойти следующие реакции, в результате которых возможно образование метана за счет уменьшения СО, CO_2, H_2:

$$CO+3H_2=CH_4+H_2O+48\,700\ ккал; \qquad (18)$$

$$2CO+2H_2=CH_4+CO_2+61\,600\ ккал; \qquad (19)$$

$$CO_2+4H_2=CH_4+2H_2O+39\,660\ ккал. \qquad (20)$$

Так как эти реакции идут с выделением тепла, то с повышением температуры их равновесие сдвигается влево. Следовательно, образование метана по этим реакциям может иметь место только в зоне низких температур.

10. Механизм основных реакций процесса газификации твердого топлива

При получении горючего газа путем газификации основой процесса всегда является взаимодействие кислорода воздуха с углеродом топлива.

В настоящее время существуют три гипотезы химического взаимодействия углерода с кислородом.

1. Наиболее старой является гипотеза первичного образования углекислоты по реакции (6).

Окись углерода по этой гипотезе является вторичным продуктом восстановления углекислоты раскаленным углеродом топлива в результате реакции (8).

Эта теория первичного образования углекислоты и последующего ее восстановления в окись углерода в зоне восстановления получила название редукционной теории газогенераторного процесса и имеет значительное распространение и до настоящего времени.

2. Согласно второй гипотезе, первичным продуктом взаимодействия углерода с кислородом является окись углерода, образующаяся по реакции (16).

В связи с наличием избытка кислорода образовавшаяся CO сгорает в CO_2 по уравнению

$$2CO + O_2 = 2CO_2, \qquad (21)$$

чем и вызывается большая концентрация CO_2 в зоне горения.

По мере удаления от места подачи воздуха в слой концентрация свободного кислорода уменьшается, в то время как скорость горения углерода остается прежней; поэтому концентрация окиси углерода растет за счет ее восстановления углеродом по реакции (8).

3. Третья гипотеза предполагает образование промежуточного сложного углеродо-кислородного комплекса по реакции

$$x \cdot C + \frac{y}{2} \cdot O_2 = C_xO_y. \qquad (22)$$

По этой гипотезе предполагается, что в дальнейшем из этого комплекса образуются CO и CO_2 в различных соотношениях, в зависимости от условий протекания реакции

$$C_xO_y = mCO_2 + nCO. \qquad (23)$$

Опыты Гроздовского и Чуханова показали, что с увеличением скорости дутья в газе растет содержание CO, и начиная с некоторой величины скорости состав газа остается постоянным (фиг. 15).

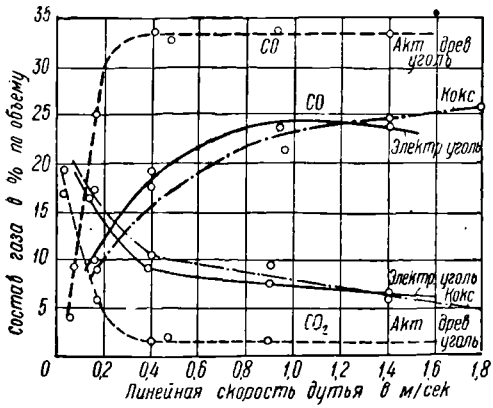
Газификация различных видов топлива дала одну и ту же картину изменения концентрации окислов углерода в зависимости от скорости воздуха. Наиболее интенсивный рост содержания CO наблюдался в сравнительно небольшом интервале скоростей дутья (до 0,5 *м/сек*).

При температуре выше 900° С заметную роль начинает играть реакция (16), протекающая при очень высоких скоростях, причем практически ее конечная фаза не была получена.

Факт увеличения CO в газе с ростом скорости дутья, т. е. при уменьшении времени контакта CO_2 с раскаленным углем, по мнению Гроздовского и Чуханова, указывает на образование CO наряду с CO_2, как первичного газообразного продукта при образовании углеродно-кислородного комплекса.

Однако их выводы в результате экспериментальных работ Колодцева и в свете последних обобщений Энергетического института Академии наук СССР имени Г. М. Кржижановского по теории горения углерода приобретают иной смысл [14].

Представление о характере газообразования в кислородной зоне дает выход CO и CO_2 в функции концентрации кислорода (фиг. 16) для одной и той же фракции угля (2,6—3,9 *мм*) при всех скоростях дутья. Закономерность образования CO и CO_2 в различных участках кислородной зоны носит явно отличный характер. При достаточно высоких концентрациях кислорода образование CO и CO_2 находится в прямой зависимости от наличия кислорода. В области же сравнительно низких концентраций кислорода характер зависимости заметно изменяется — выход CO_2 замедляется, количество CO начинает все более интенсивно возрастать; наконец, при 2—3% кислорода происходит явный перелом процесса, количество CO_2 убывает, а выход CO резко растет.



Фиг. 15. Зависимость состава газа от линейной скорости дутья для различных углей (по Гроздовскому и Чуханову). Скорость вычислена для холодного дутья на свободное сечение трубки.

Этот момент отвечает переходу ко второй фазе процесса, определяемой исключительно восстановлением CO_2. Если проследить за влиянием режима дутья на характер развития процесса, то нетрудно заметить, что с увеличением скоростей дутья соотношение окислов углерода изменяется в сторону увеличения CO, причем наряду с этим область прямой зависимости CO и CO_2 от концентрации кислорода заметно сокращается.

Таким образом, наблюдавшаяся в работах Гроздовского, Чуханова и Колодцева зависимость состава газа от скорости дутья для различных фракций древесного, электродного и подмосковного углей, а также антрацита определяется отнюдь не выносом окиси углерода, а теми тепловыми условиями процесса, которые предопределяют возможность протекания восстановительной реакции.

Основные выводы о газообразовании в слое в работе „Горение углерода" [15] сформулированы следующим образом:

1. Суммарный процесс слоевого горения углерода слагается из

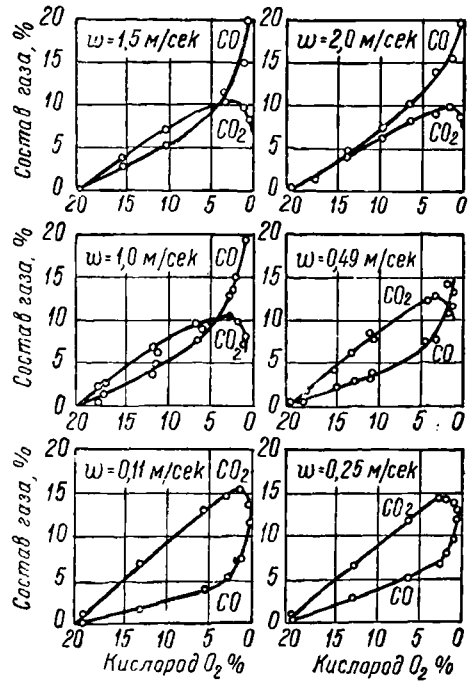
двух взаимно связанных, но вполне определенных стадий, называемых кислородной и восстановительной зонами.

2. Из одной стадии в другую процесс переходит непрерывно, и этот переход характеризуется наличием максимума в распределении CO_2 по высоте слоя.

3. Продуктами реакций, идущих в кислородной зоне, являются CO и CO_2 одновременно. Зависимость количеств CO и CO_2 от количества потребленного кислорода, в области достаточно высоких его концентраций носит линейный характер.

4. По мере форсирования дутья и, соответственно, роста температур в зоне горения, значительно интенсифицируется процесс восстановления углекислоты, частично проникающий даже в область кислородных реакций и отнюдь не лимитирующий интенсификацию процесса в целом.

5. Соотношение продуктов сгорания $CO : CO_2$ в конце кислородной зоны при любом способе форсирования процесса не превышает единицы, тогда как к концу восстановительной зоны достигает 10 и более; это свидетельствует о том, что конечный состав продуктов сгорания — газификации определяется не скоростным режимом дутья, обеспечивающим вынос CO из кислородной зоны, а тепловым режимом в области активного реагирования, представляющей собой совокупность работающих всегда взаимосвязно кислородной и восстановительной зон.



Фиг. 16. Зависимость выхода CO и CO_2 от концентрации O_2 в кислородной зоне при неизменной крупности электродного угля и различных скоростях дутья от 0,11 до 2,0 *м/сек* (по опытам Колодцева).

6. При увеличении содержания кислорода в дутье, а отчасти и при воздухоподогреве размеры обеих зон — кислородной и восстановительной — заметно сокращаются.

7. С увеличением крупности угля величина кислородной, а также и восстановительной зоны возрастает прямо пропорционально среднему размеру частиц топлива.

8. Газообразование в слое натурального топлива при рационально организованной схеме сжигания — газификации — не тормозится процессом возгонки летучих и в целом подчиняется тем же закономерностям, что и установленные для применяемого в опытах электродного угля.

На основании изложенного можно заключить, что гипотеза образования углеродно-кислородного комплекса в настоящее время наиболее правильно представляет механизм горения (газификации) углерода; экспериментально это подтверждается фактом одновременного образования в кислородной зоне углекислоты и окиси углерода.

11. Основы кинетики и равновесие химических реакций газогенераторного процесса

Процесс горения углерода, как и всякую гетерогенную реакцию, можно разбить на два этапа. Первый этап заключается в подводе газообразных компонентов реакции к поверхности топлива, а второй — в химическом взаимодействии углерода топлива с кислородом воздуха.

Скорость гетерогенных реакций, имеющих место в газогенераторе, зависит от скорости завершения указанных двух этапов.

Если в определенных условиях наиболее медленной стадией процесса является химическая реакция, то суммарная скорость процесса определяется истинной кинетикой данной химической реакции. Область, в которой скорость химической реакции меньше скорости диффузии, называется кинетической областью.

С повышением температуры быстро возрастает скорость химической реакции. Эта зависимость определяется уравнением Аррениуса

$$\ln k = \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln k_0, \qquad (24)$$

где E — энергия активации;

k_0 — константа максимальной скорости реакции, когда все молекулы обладают необходимой энергией для вступления в химическую реакцию;

R — газовая постоянная;

T — абсолютная температура.

Если скорость химического взаимодействия значительно больше скорости диффузии газифицируемого реагента к поверхности углерода, то скорость суммарного процесса определяется законами вынужденной диффузии. Совокупность условий, при которых наблюдается такая закономерность протекания процесса, носит название диффузионной области.

Около поверхности углерода, при омывании его потоком газа, образуется тонкий ламинарный слой газа, через который газифицируемый реагент может достигнуть поверхности углерода только посредством диффузии, скорость которой определяется следующим уравнением:

$$d_{\text{п}} = -Dg\frac{dc}{dx}dt, \qquad (25)$$

где $d_{\text{п}}$ — количество вещества, продиффундировавшего за время dt на площади g через слой газа толщиной dx при разности концентраций dc;

D — коэффициент диффузии.

Коэффициент диффузии D ($см^2/сек$) пропорционален абсолютной температуре в степени $1{,}7 \div 2{,}0$ и обратно пропорционален квадратному корню из молекулярного веса диффундирующего вещества:

$$D = K\frac{T^{1{,}7 \div 2{,}0}}{\sqrt{m}}, \tag{26}$$

где K — коэффициент пропорциональности;

m — молекулярный вес вещества.

Кислород в зоне газификации поступает к внешней границе ламинарного слоя с определенной концентрацией C_0. Однако ввиду того, что скорость химического взаимодействия углерода с кислородом при высоких температурах достаточно велика, концентрация кислорода у поверхности углерода C_w — мала, и кислород из газового потока диффундирует через ламинарный газовый слой к поверхности углерода.

Для случая газификации углерода ур-ние (25) можно написать следующим образом:

$$d_n = -Dg\frac{C_0 - C_w}{dx}dt. \tag{27}$$

Толщина ламинарного слоя dx около твердой поверхности (для случая цилиндрической поверхности) определяется следующей зависимостью:

$$dx = a \cdot d \cdot Re^{-0{,}8}, \tag{28}$$

где a — постоянная;

d — диаметр цилиндра;

Re — число Рейнольдса.

$$Re = \frac{w \cdot d\varrho}{\mu},$$

где w — скорость газа;

ϱ — плотность газа;

μ — вязкость газа.

Величина числа Рейнольдса указывает на ламинарный или турбулентный характер газового потока. При турбулентном движении пограничный слой получается тоньше. Следует также добавить, что при этом, вследствие интенсивного перемешивания струй, растет коэффициент теплопередачи.

С увеличением скорости газового потока толщина ламинарного слоя уменьшается пропорционально увеличению скорости газа в степени $0{,}6 \div 0{,}8$. Зависимость скорости реакции от температуры в диффузионной области определяется изменением величины коэффициента диффузии в зависимости от температуры:

$$D = D_0\left(\frac{T}{T_0}\right)^n, \tag{29}$$

где n — изменяется от 1,5 до 2,0.

Из сказанного следует, что зависимость скорости реакции от температуры в диффузионной области значительно слабее, чем в кинетической области. В кинетической области реакция может

иметь любой порядок, и скорость ее не должна зависеть от линейной скорости газового потока.

Большинство известных химических реакций, в силу динамического равновесия, — обратимы, т. е. могут протекать в обе стороны с выделением первоначальных реагентов.

Соотношение между количеством образовавшихся по реакции продуктов и количеством не вступивших в реакцию исходных продуктов строго определенно и зависит от условий, при которых протекает реакция, а именно: от концентраций реагирующих веществ, температуры и давления.

Обозначая через a, b, c и d газообразные реагенты, находящиеся в химическом взаимодействии, примем a и b — за исходные продукты, а c и d — за конечные продукты газификации.

В этом случае взаимодействие реагирующих веществ может быть представлено в следующем виде:

$$a + b \rightleftarrows c + d.$$

Тогда, согласно закону действующих масс, количество образующихся веществ, независимо от направления хода реакции, пропорционально скорости реакции, а скорость пропорциональна произведению масс или концентраций.

Если скорость образования продуктов c и d обозначить через w_1, а продуктов a и b — через w_2, то при постоянной температуре имеет место термохимическое равновесие, т. е. равенство

$$w_1 = w_2.$$

Из этого условия сопоставлением значений w_1 и w_2 можно получить так называемую константу термохимического равновесия. Математически константа равновесия выражается как отношение объемных концентраций продуктов реакции к объемным концентрациям реагентов (k_c) или как отношение парциальных давлений продуктов реакции, выраженных в миллиметрах ртутного столба, к парциальным давлениям реагентов (k_p).

Для обратимой реакции зависимость между константой равновесия, выраженной через концентрации реагирующих веществ (k_c), и константой равновесия, выраженной через парциальное давление (k_p), следующая:

$$k_c = k_p (RT)^{\Delta n}, \qquad (30)$$

где Δn — разность между числами молекул в правой и левой частях уравнений реакции.

Константа термохимического равновесия по концентрации будет равна

$$k_c = \frac{C_c^z \cdot C_d^y}{C_a^e \cdot C_b^x}, \qquad (31)$$

где C с соответствующими индексами обозначают отношение чисел *кг-моль* образующихся продуктов к общему числу *кг-моль*, участвующих в реакции, а z, y, e и x — числа *кг-моль* данных продуктов.

Константа термохимического равновесия может быть определена и по давлению, т. е.

$$k_p = \frac{P_c^z \cdot P_d^y}{P_a^e \cdot P_b^x}. \qquad (32)$$

Для данного случая $k_p = k_c$.

Если же система, находящаяся в термохимическом равновесии, состоит из трех реагентов: $a \rightleftarrows c + d$, то связь между k_p и k_c представится в следующем виде:

$$k_p = k_c R_m T, \qquad (33)$$

где R_m — газовая постоянная;

T — температура процесса.

При определении константы равновесия для реакции, в которой участвуют более чем одна молекула данного вещества, концентрация и парциальное давление этого вещества должны возводиться в степень, показатель которой равен числу молекул данного вещества, входящего в уравнение реакции.

Однако для достижения равновесия требуется значительное время, а так как в активной зоне газогенератора время пребывания газов незначительно, то равновесие не успевает установиться. Это обстоятельство является причиной того, что газ по своему составу значительно разнится от вычисленного по формулам.

ГЛАВА IV

МЕТОД РАСЧЕТА ГАЗОГЕНЕРАТОРА ОБРАЩЕННОГО ПРОЦЕССА

12. Физико-химические основы расчета рабочего процесса газификации твердого топлива

В настоящее время наиболее подробно разработаны методы расчета газификации твердого топлива в газогенераторах прямого процесса. В методе расчета, предложенном акад. Н. Н. Доброхотовым и другими русскими учеными, для расчета газогенераторов прямого процесса состав газа обычно определяется суммированием газа, полученного за счет газификации коксового остатка твердого топлива, с газом сухой перегонки.

Такой метод для расчета газификации твердого топлива в газогенераторах обращенного процесса не может быть применен в связи с тем, что продукты сухой перегонки, проходя через активную зону, частично сгорают, или, разлагаясь, образуют новые соединения. В условиях протекания обращенного процесса рассчитать состав газа по первичному топливу и увязать этот расчет с термодинамическими условиями процесса газификации представляет большие трудности.

Довольно обширный экспериментальный материал, накопленный советскими исследователями по этому вопросу, хотя и дает возможность решать ряд частных задач в этой области, однако практически еще не может быть использован в качестве достаточно проверенной и точной схемы расчета состава генераторного газа по исходному топливу.

Одна из таких полезных попыток расчета состава генераторного газа по составу органической массы топлива приводится ниже.

Наиболее широко распространен в настоящее время метод расчета обращенного процесса газификации твердого топлива, который исходит из заданного состава топлива и состава газа, полученного при испытаниях в идентичных условиях; называется он методом баланса [3].

Расчет дает возможность установить выход отдельных компонентов генераторного газа в зависимости от состава топлива и реакций, происходящих между топливом, воздухом и влагой в процессе гази-

фикации, определить расход топлива, воздуха и влаги, а также ряд характеристик теплового режима газогенератора.

Расчет рабочего процесса газификации твердого топлива методом баланса проверяется составлением материального и теплового баланса.

В материальном балансе учитываются все вещества, вводимые и отводимые из газогенератора, а также и влагосодержание газа. Соответственно этому, приходными статьями материального баланса являются топливо, воздух и влага, а расходными считаются генераторный газ, недожог, зола и влага. Тепло, выделившееся и поглощенное в результате химических реакций процесса, подсчитывается в тепловом балансе и дает возможность определить температуру газа и коэффициент полезного действия газогенератора. Расчет баланса можно вести на 100 *кг-моль* сухого генераторного газа или на 100 *кг* (1 *кг*) топлива. Для приводимого ниже примерного расчета рабочего процесса газификации твердого топлива по методу баланса принимаем за исходное топливо лиственную древесину.

Материальный баланс. 1. Состав органической массы древесины принимается следующий (в процентах): $C = 49{,}2$; $H_2 = 6{,}2$; $O_2 = 43{,}5$; $N_2 = 1{,}1$; зольность $A_p = 1{,}3\%$ и влажность $W_p = 20\%$.

2. Генераторный газ из древесины указанной влажности принимаем следующего состава (в процентах): $CO = 19{,}18$; $H_2 = 11{,}10$; $CH_4 = 4{,}90$; $CO_2 = 12{,}00$; $O_2 = 0{,}33$; $N_2 = 52{,}49$.

3. Приведенный состав сухого генераторного газа характеризуется следующим содержанием горючих компонентов:

$$\lambda = CO + H_2 + CH_4 = 19{,}18 + 11{,}10 + 4{,}90 \cong 35{,}2\%. \qquad (34)$$

4. Низшая теплотворность газа определяется по формуле

$$H_u = 30{,}45\,CO + 25{,}8\,H_2 + 85{,}6\,CH_4 \ \textit{ккал/нм}^3. \qquad (35)$$

Данные по теплотворности газа приведены в табл. 19.

Подставив в ф-лу (35) процентное содержание соответствующих горючих газов, получим:

$$H_u = 30{,}45 \cdot 19{,}18 + 25{,}8 \cdot 11{,}10 + 85{,}6 \cdot 4{,}90 = 1260 \ \textit{ккал/нм}^3.$$

5. Определим вес 100 *кг-моль* сухого генераторного газа по формуле

$$G_{газ} = 28\,CO + 44\,CO_2 + 32\,O_2 + 2\,H_2 + 16\,CH_4 + 28\,N_2 \ \textit{кг}. \qquad (36)$$

Для приведенного выше состава газа

$$G_{газ} = 28 \cdot 19{,}18 + 44 \cdot 12{,}00 + 32 \cdot 0{,}33 + 2 \cdot 11{,}10 + 16 \cdot 4{,}9 + \\ + 28 \cdot 52{,}49 = 2649{,}1 \ \textit{кг}.$$

6. Делением веса газа $G_{газ}$ на его объем определяем удельный вес:

$$\gamma_г = \frac{2649{,}1}{2240} \cong 1{,}18 \ \textit{кг/нм}^3,$$

где 2240 — объем 100 *кг-моль* при нормальных физических условиях (0° и 760 *мм* рт. ст.) в $\textit{нм}^3$.

Таблица 19

Вес и теплотворность компонентов газообразного топлива [20]

Компоненты	Химическая формула	Молекулярный вес	Вес 1 $нм^3$ при 0° С и 760 *мм* рт. ст.	Теплотворность			
				ккал/нм³		*ккал/кг-моль*	
				высшая	низшая	высшая	низшая
Водород . . .	H_2	2,016	0,0899	3 048	2 580	68 330	57 805
Окись углерода	CO	28,00	1,250	3 045	—	68 220	—
Меган	CH_4	16,032	0,717	9 505	8 562	213 000	191 902
Этан	C_2H_6	30,05	1,341	16 923	15 510	379 250	347 603
Этилен . . .	C_2H_4	28,03	1,261	15 239	14 297	341 500	320 402
Сероводород .	H_2S	34,09	1,539	5 995	5 524	134 290	123 741
Кислород . .	O_2	32,00	1,429	—	—	—	—
Азот	N_2	28,02	1,251	—	—	—	—
Воздух		28,95	1,293	—	—	—	—
Сернистый газ	SO_2	64,07	2,927	—	—	—	—
Углекислота .	CO_2	44,00	1,977	—	—	—	—
Водяной пар .	H_2O	18,016	0,804	—	—	—	—

7. Для дальнейшего расчета материального баланса необходимо определить количество *кг-моль* отдельных элементов, входящих в состав 100 *кг-моль* сухого генераторного газа, по уравнениям:

$$C_0 = CO + CO_2 + CH_4; \quad (37)$$
$$H_0 = 2CH_4 + H_2; \quad (38)$$
$$O_0 = 0{,}5\,CO + CO_2 + O_2; \quad (39)$$
$$N_0 = N_2. \quad (40)$$

Подставляя значения величин из ранее принятого состава газа, получим:

$$C_0 = 19{,}18 + 12{,}0 + 4{,}9 = 36{,}08 \text{ } кг\text{-}моль;$$
$$H_0 = 2 \cdot 4{,}9 + 11{,}10 = 20{,}90 \text{ } кг\text{-}мол;$$
$$O_0 = 0{,}5 \cdot 19{,}18 + 12{,}0 + 0{,}33 = 21{,}59 \text{ } кг\text{-}моль;$$
$$N_0 = 52{,}49 \text{ } кг\text{-}моль.$$

8. При газификации твердого топлива не весь углерод топлива переходит в газ; часть углерода остается в виде сажи, оседающей на стенках газогенератора, часть попадает в золу с провалом.

Эти потери углерода учитываются коэффициентом неполноты сгорания ε, представляющим отношение углерода С, содержащегося в топливе, к углероду C_m, действительно затраченному на получение 100 *кг-мол* генераторного газа

$$\varepsilon = \frac{C}{C_m}. \quad (41)$$

Потери углерода в саже оцениваются в 2% от C_m, потери же углерода в золе, обычно называемые недожогом и обозначаемые C_y, зависят от зольности топлива, типа газогенератора (устройство колосниковой решетки), способа управления слоем и ряда других факторов.

Опытные значения C_y для различных видов топлива при газификации в стационарных газогенераторах силового газа приведены в табл. 20.

Таблица 20

Опытные значения C_y для различных видов твердого топлива

Топливо	C_y	Топливо	C_y
Древесина	0,20	Торф кусковой . .	0,15 - 0,2
Древесный уголь . .	0,25	Солома	0,65
Антрацит	0,3—0,4	Торфяной кокс . . .	0,3

Формула для определения величины коэффициента неполноты сгорания топлива имеет следующий вид:

$$\varepsilon = 0{,}98\,\frac{A\,C_y}{C\,(100 - Б)}, \qquad (42)$$

где A — зольность топлива;

C_y — величина недожога;

C — весовое содержание углерода в органической массе топлива;

$Б$ — количество балласта в топливе, складывающегося из золы и гигроскопической влаги.

Для нашего примерного расчета

$$\varepsilon = 0{,}98\,\frac{1{,}3 \cdot 0{,}2}{0{,}492\,(100 - 21{,}3)} = 0{,}973.$$

Получение расчетным путем величины коэффициента неполноты сгорания топлива дает возможность определить:

а) количество углерода, затраченного на получение 100 *кг-мол* сухого генераторного газа;

б) вес и состав органической массы, участвующей в процессе газификации топлива;

в) вес рабочего топлива.

Произведем последовательный расчет этих величин.

9. Определяем количество углерода в топливе, затраченное на получение 100 *кг-мол* сухого генераторного газа:

$$C_m = \frac{C_0}{\varepsilon} = \frac{36{,}08}{0{,}973} = 38{,}3 \ кг\text{-}моль. \qquad (43)$$

10. Определяем вес органической массы топлива, участвующего в процессе газификации:

$$G_{орг} = \frac{C_m}{C} \cdot 12 = \frac{38{,}3}{0{,}492} \cdot 12 = 935 \ кг. \qquad (44)$$

Тогда вес рабочего топлива

$$G_{\text{общ}} = \frac{G_{\text{орг}} \cdot 100}{100 - (A + W)} = \frac{935 \cdot 100}{100 - 21{,}3} = 1190 \text{ кг}. \quad (45)$$

11. Произведем последовательный расчет количества водорода H_m, кислорода O_m и азота N_m, составляющих органическую массу топлива, израсходованного при получении 100 *кг-моль* газа:

$$H_m = \frac{G_{\text{орг}} \cdot y}{2} = \frac{935 \cdot 0{,}062}{2} = 28{,}9 \text{ кг-моль}; \quad (46)$$

$$O_m = \frac{G_{\text{орг}} \cdot o}{32} = \frac{935 \cdot 0{,}435}{32} = 12{,}7 \text{ кг-моль}; \quad (47)$$

$$N_m = \frac{G_{\text{орг}} \cdot n}{28} = \frac{935 \cdot 0{,}011}{28} = 0{,}336 \text{ кг-моль}. \quad (48)$$

Обозначения в уравнениях y, o, n представляют весовые доли элементов в горючей массе топлива, а числа в знаменателе — молекулярные веса.

12. Приведенных данных расчета достаточно для определения выхода сухого газа E из 1 *кг* рабочего топлива:

$$E = \frac{22{,}4 \cdot 100}{G_{\text{общ}}}, \quad (49)$$

где 22,4 $нм^3$ — объем одного моля при 0° С и 760 *мм* рт. ст.

В данном случае

$$E = \frac{2240}{1190} = 1{,}88 \text{ } нм^3/кг.$$

13. Определяем расход воздуха на газификацию 1190 *кг* рабочего топлива. Наличие азота в генераторном газе N_0 обеспечивается двумя источниками: топливом и воздухом.

Расход воздуха, необходимого для получения 100 *кг-моль* газа, определяется уравнением

$$L_{100} = \frac{100}{79} \cdot N_{\text{в}} \text{ кг-моль}, \quad (50)$$

где $N_{\text{в}}$ — азот в газе, поступивший из воздуха.

Следовательно, расход воздуха на газификацию 1190 *кг* рабочего топлива

$$L_{100} = \frac{N_0 - N_m}{0{,}79} = \frac{52{,}49 - 0{,}336}{0{,}79} = 66 \text{ кг-моль},$$

а вес воздуха

$$L_{\text{в}} = 66 \cdot 28{,}95 = 1870 \text{ кг}.$$

Соответственно, расход его на газификацию 1 *кг* топлива определится из следующего соотношения:

$$L_{1\text{ кг}} = \frac{100}{79} \cdot \frac{N_{\text{в}}}{G_m} \text{ кг-моль}. \quad (51)$$

Если расход воздуха выразить в килограммах, то, принимая молекулярный вес воздуха равным 28,95, получим:

$$L_{1\ кг} = \frac{28{,}95 \cdot N_в}{0{,}79 \cdot G_m} = 36{,}7 \frac{N_в}{G_m}, \qquad (52)$$

а расход кислорода воздуха O_2 соответственно будет равен

$$O_2 = \frac{21 \cdot N_в}{79 \cdot G_m} = 0{,}266 \frac{N_в}{G_m}. \qquad (53)$$

14. Определим вес очаговых остатков:

$$G_{оч} = \frac{A}{100} \cdot G_{общ}(1 + C_y) = \frac{1{,}3 \cdot 1190\,(1+0{,}2)}{100} = 12{,}5\ кг. \qquad (54)$$

15. Произведем расчет баланса водорода. В генераторный газ водород переходит из органической массы топлива и разложившейся воды.

Найдем количество водорода, получаемое по реакции водяного газа:

$$H_{H_2O} = H_0 - H_m + 2O_m; \qquad (55)$$

$$H_{H_2O} = 20{,}90 - 28{,}9 + 2 \cdot 12{,}7 = 17{,}4\ кг\text{-}моль.$$

16. При газификации влажного топлива (торф, дрова) в генераторном газе всегда содержатся водяные пары, конденсирующиеся в системе охлаждения и очистки газа. Однако при газификации такого топлива, как сухой древесный уголь, может быть получен газ, почти не содержащий паров воды. Для ранее принятого состава топлива вес гигроскопической влаги будет:

$$G'_{H_2O} = \frac{W}{100} \cdot G_{общ} = \frac{20}{100}\ 1190 = 228\ кг \qquad (56)$$

или

$$G_{H_2O} = \frac{W}{1800} \cdot G_{общ} = 12{,}71\ кг\text{-}моль. \qquad (57)$$

17. Общее содержание воды в газе

$$H_2O = G_{H_2O} - H_0 + H_m; \qquad (58)$$

$$H_2O = 12{,}71 - 20{,}90 + 28{,}9 = 19{,}71\ кг\text{-}моль$$

или

$$H_2O' = 19{,}71 \cdot 18 = 356\ кг,$$

что составляет на 1 $нм^3$ влажного генераторного газа

$$G = 0{,}8 \frac{H_2O}{100 + H_2O} = 0{,}8\ \frac{19{,}71}{100 + 19{,}71} = 0{,}131\ кг/нм^3. \qquad (59)$$

18. Произведенный подсчет можно проверить составлением материального баланса процесса на 100 *кг-моль* газа.

Приход		Расход	
Вес рабочего топлива . .	1190 *кг*	Вес сухого генераторного газа	2649,1 *кг*
Вес сухого воздуха . . .	1870 *кг*	Вес влаги газа	356 *кг*
		Вес очаговых остатков . . .	12,5 *кг*
Итого . .	3060 *кг*	Итого . . .	3017,6 *кг*

Невязка баланса: $\frac{3060 - 3017{,}6}{3060} \cdot 100 = 1{,}3\%$.

Тепловой баланс. Приход тепла

1) $Q_{CO_2} = 97\,200 \cdot 12{,}00 = 1\,166\,400$ *ккал*
2) $Q_{CO} = 27\,400 \cdot (CO - H_{H_2O}) = 27\,400\,(19{,}18 - 17{,}40) = 48\,000$ *ккал*
3) $Q_{CH_4} = 20\,368 \cdot 4{,}9 = 99\,803$ *ккал*

Общий приход гепла $\sum Q^{пр} = 1\,314\,203$ *ккал.*

Подогрев воздуха и подача пара отсутствуют. Расход тепла:

1) На реакции водяного газа

$$Q_{CO+H_2} = 31\,700 \cdot H_{H_2O} = 31\,700 \cdot 17{,}40 = 550\,000 \text{ ккал.} \quad (60)$$

2) На испарение воды

$$Q_в = 10\,710\,(G_{H_2O} + 2\,O_m + G_{пр}) \text{ ккал;} \quad (61)$$

$$Q_в = 10\,710\,(12{,}71 + 2 \times 12{,}7) = 408\,050 \text{ ккал.}$$

3) На нагрев продуктов газификации (физическая теплота газов и золы)

$$Q_{г.\,з} = \left(CO \cdot C_p^{CO} + CO_2 \cdot C_p^{CO_2} + H_2 \cdot C_p^{H_2} + CH_4 \cdot C_p^{CH_4} + N_2 \cdot C_p^{N_2} + \right.$$
$$\left. + \frac{W_{пар}}{18} \cdot C_p^{H_2O}\right) t_{газ} \text{ ккал.} \quad (62)$$

Температуру выхода газа из газогенератора $t_{газ}$, согласно опытным данным, принимаем в 300° С. Тогда

$$C_p^{CO} = C_p^{H_2} = C_p^{N_2} = 6{,}98 + 0{,}000266 \cdot 300 = 7{,}05;$$

$$C_p^{H_2O} = 8{,}48; \quad C_p^{CO_2} = 10{,}14; \quad C_p^{CH_4} = 7{,}7 + 0{,}008 \cdot 300 = 10{,}1.$$

Подставляя полученные значения в уравнение (62), получим

$$Q_{г.\,з} = \left(19{,}18 \times 7{,}05 + 12{,}00 \times 10{,}14 + 11{,}10 \times 7{,}05 + 4{,}90 \times 10{,}1 + \right.$$
$$\left. + 52{,}49 \times 7{,}05 + \frac{356}{18} \times 8{,}48\right) 300 = 273\,000 \text{ ккал.}$$

4) На нагрев золы и углерода в провале и уносе в виде сажи $Q_{з.\,у}$. Содержание золы принято $A = 1{,}3\%$. Количество углерода $C_у$ в провале и уносе равно 2,0%. Теплоемкость золы и углерода $C_з$ и $C_у$ принимаем равной 0,2 *ккал/кг*.

Количество топлива G_m, необходимое для получения 100 *кг-мол* генераторного газа, согласно расчету составляет 1190 *кг*. Тогда

$$Q_{з.\,у} = \frac{1{,}3}{100} \cdot 1190 \cdot 0{,}2 \cdot 300 + \frac{1{,}5}{100} \cdot 1190 \cdot 0{,}2 \cdot 300 = 2100 \text{ ккал.}$$

5) Выделение тепла в окружающую среду определяется как разность приходных статей баланса и учтенных расходных, т. е.

$$Q_0 = \sum Q^{пр} - (Q_{(CO+H_2)} + Q_в + Q_{г.\,з} + Q_{з.\,у}) \text{ ккал;} \quad (63)$$

$$Q_0 = 1\,314\,203 - 1\,233\,150 = 81\,143 \text{ ккал.}$$

Тепловой баланс приведен в табл. 21.

Таблица 21

Тепловой баланс

Статьи прихода	Приход тепла в *ккал*	Статьи расхода	Расход тепла в *ккал*
1	1 166 400	1	550 000
2	48 000	2	408 050
3	99 803	3	273 000
		4	2 100
		5	81 143
Всего	1 314 203	Всего	1 314 203

Коэффициент полезного действия газогенератора. Для оценки степени использования твердого топлива в газогенераторе, а также для характеристики конструкции определяется его коэффициент полезного действия $\eta_г$:

$$\eta_г = \frac{H_u \cdot E}{Q_н}, \qquad (64)$$

где H_u — низшая теплотворность генераторного газа при 0° и 760 *мм* рт. ст. в *ккал*;

E — выход газа с 1 *кг* топлива в *нм*^{3};

$Q_н$ — низшая теплотворность 1 *кг* топлива в *ккал*.

Численные значения η для стационарных газогенераторов находятся в пределах 70—80%.

Для оценки процесса газификации можно также пользоваться термохимическим коэффициентом полезного действия газогенератора $\eta_т$, представляющим собой отношение количества тепла газа $H_г$ к теплу углерода $H_у$, ушедшего на его образование

$$\eta_т = \frac{H_г}{H_у}. \qquad (65)$$

Здесь

$$H_г = 30{,}45\,CO + 25{,}8\,H_2 + 85{,}6\,CH_4 \ ккал$$

и

$$H_у = \frac{12}{100 \cdot 22{,}4}\,(CO_2 + CO + CH_4) \cdot 8100 \ ккал.$$

Расчет состава силового газа из битуминозного топлива На примере расчета древесного силового газа приведем краткое изложение метода расчета состава газа, разработанного А. Б. Гениным, применимого для топлив, газифицируемых по обращенному процессу [4; 5].

Расчет состава газа производится на 1 моль органической массы топлива.

Средний состав органической массы древесины, по литературным данным, может быть принят следующим: $C = 50\%$, $H = 6\%$, $O = 44\%$. Разделив процентное содержание углерода, водорода и кислорода на их атомные веса, получим величины, выражающие соотношение чисел атомов веществ, входящих в состав органической массы древесины, а именно:

$C = 50 : 12 = 4{,}2$ атома; $H = 6 : 1 = 6{,}0$ атомов; $O = 44 : 16 = 2{,}8$ атома.

Если умножить полученные величины на 10, то в этом случае формула органической массы древесины примет вид: $C_{42}H_{60}O_{28}$.

Содержание азота в органической массе древесины не превышает $0{,}3\%$ и учитывается в уравнении баланса азота.

В качестве основных уравнений, выражающих связь между составом органической массы древесины и полученным из нее газом, предлагаются следующие:

Уравнение баланса углерода

$$\alpha CO_2 + \beta CO + \delta CH_4 = 42. \tag{66}$$

Уравнение баланса водорода

$$2\delta CH_4 + h H_2 = 30 \pm X. \tag{67}$$

Уравнение баланса азота

$$Y N_2 = 26{,}5 + 1{,}88 (\alpha CO_2 - \delta CH_4 \mp X). \tag{68}$$

Здесь α — число молей CO_2, полученных при газификации одного моля органической массы топлива;

β — то же CO;

δ — то же CH_4;

h — то же H_2;

Y — то же N_2;

X — количество молей водорода, выделившихся при разложении гигроскопической влаги (знак плюс) или окислившихся в воду из органической массы (знак минус).

В качестве дополнительных уравнений используются следующие отношения:

$$\frac{\beta CO}{\alpha CO_2} = m; \tag{69}$$

$$\frac{\alpha CO_2 + \beta CO + \delta CH_4}{2\delta CH_4 + h H_2} = \frac{42}{30 \pm X} = n. \tag{70}$$

Для древесного силового газа практические пределы изменения величин m и n следующие:

а) $m = 1 \div 1{,}7$. При низких температурах m ближе к 1; а при сухом топливе и подогреве воздуха m ближе к 1,7.

б) $n = 1{,}3 \div 1{,}8$. При высокой температуре в активном слое n ближе к 1,8, а при большой влажности топлива и отсутствии подготовки в бункере n стремится к 1,3.

Содержание метана в древесном газе составляет $2—3\%$, что соответствует приблизительно $\delta CH_4 = 2 \div 3$ моля.

Для уяснения последовательности решения системы уравнений произведем примерный расчет состава газа.

Принимаем:

1) Отношение CO к CO_2 в газе $m = 1{,}5$.

2) Величина $n = 1{,}6$.

3) Содержание метана равно 2%; это соответствует [4] кривым, $\delta CH_4 = 2{,}4$ моля.

Из ур-ния (66) находим $\alpha CO_2 + \beta CO = 42 - 2{,}4 = 39{,}6$ моля.

Решая ур-ние (69), определяем:

$$\beta CO = 1{,}5\alpha CO_2,$$

откуда

$$\alpha CO_2 = \frac{39{,}6}{2{,}5} = 15{,}8 \text{ моля};$$

$$\beta CO = 23{,}8 \text{ моля}.$$

Из ур-ния (70), при $n = 1{,}6$ находим величину X:

$$X = \frac{42 - 30 \cdot 1{,}6}{1{,}6} = -3{,}8 \text{ моля}.$$

По ур-нию (67) определяем $h H_2$:

$$h H_2 = 30 - 2 \times 2{,}4 - 3{,}8 = 21{,}4 \text{ моля}.$$

Подставив значения величин в ур-ние (68), находим число молей азота Y:

$$Y N_2 = 26{,}5 + 1{,}88\,(15{,}8 - 2{,}4 + 3{,}8) = 58{,}8 \text{ моля}.$$

По числу молей определяем состав газа, который приводим в табл. 22.

Таблица 22

Состав газа

Компоненты	Количество	
	в молях	в %
Углекислота	15,8	13,0
Окись углерода	23,8	19,5
Метан	2,4	2,0
Водород	21,4	17,5
Азот	58,8	48,0
Всего	122,2	100,0

13. Основы конструктивного расчета газогенератора

Практика развития отечественных газомоторных установок и результаты исследований газификации твердого топлива дали возможность создать определенную схему конструктивного расчета газогенератора.

Однако в созданной схеме расчета не все параметры в настоящее время могут быть определены аналитическим путем. Наименее изученным является расчет камеры газификации. Поэтому в настоящее время метод расчета камеры газификации основан главным образом на применении эмпирических соотношений, не учитывающих физико-химическую сторону процесса.

Практически критерием для выбора основных размеров камеры газификации является обеспечение полного протекания восстановительных реакций и получение газа, лишенного смолистых соединений.

Для получения бессмольного газа необходимого химического состава существуют определенные, установленные опытом размеры активной зоны газогенератора и удельные объемы камеры газификации, которые рассчитываются для создаваемой модели газогенератора, а затем проверяются экспериментальным путем.

Схема конструктивного расчета газогенератора обращенного процесса. *Расчет производительности.* Производительность газогенератора зависит от мощности двигателя, для питания которого он предназначен.

Для четырехтактного двигателя часовой расход смеси, отнесенной к 0° С и 760 *мм* рт. ст., подсчитывается по следующей формуле:

$$Q_{см} = 60 \cdot \frac{\pi d^2}{4} S \frac{i \cdot n}{2} \cdot \frac{273}{T_0} \cdot \frac{P_0}{760} \eta_v \ м^3/час, \qquad (71)$$

где d — диаметр цилиндра в *м*;

S — ход поршня в *м*;

i — число цилиндров;

n — число оборотов двигателя в минуту;

T_0 — абсолютная температура окружающей среды;

P_0 — давление окружающей среды;

η_v — коэффициент наполнения двигателя для данных T_0 и P_0 (при работе на генераторном газе принимается равным 0,7—0,8).

Если известен рабочий объем двигателя в литрах V_h, то часовой расход смеси подсчитывается по более простой формуле:

$$Q_{см} = 0{,}03 V_h \frac{273}{T_0} \cdot \frac{P_0}{760} \eta_v \cdot \ м^3/час. \qquad (72)$$

Количество газа, потребляемое двигателем в 1 час при 0° С и 760 *мм* рт. ст., определяется по следующей формуле:

$$Q_г = \frac{Q_{см}}{1 + \alpha L_0 \cdot \omega} \ м^3/час, \qquad (73)$$

где α — коэффициент избытка воздуха, принимаемый обычно для генераторного газа 1,1—1,2;

L_0 — теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 $нм^3$ генераторного газа.

L_0 — определяется по уравнению

$$L_0 = \frac{1}{21} [0{,}5 (CO + H_2) + 2 CH_4 - O_2] \ м^3/м^3. \qquad (74)$$

Входящие в уравнение компоненты генераторного газа выражены в процентах.

ω — коэффициент объемного содержания паров воды в генераторном газе — подсчитывается по следующей формуле:

$$\omega = \frac{P_s}{P - P_s}, \tag{75}$$

где P — давление генераторного газа перед входом в смеситель, принимаемое обычно по практическим данным в пределах $0{,}92 \div 0{,}97$ *кг/см²*;

P_s — давление пара, насыщающего генераторный газ. В табл. 23 приведены величины давления P_s в зависимости от температуры.

Таблица 23

Зависимость давления пара, насыщающего генераторный газ, от температуры

t_s	P_s *кг/см²*	t_s	P_s *кг/см²*
15	0,0174	55	0,1602
20	0,0238	60	0,2028
25	0,0323	65	0,2547
30	0,0433	70	0,3175
35	0,0573	75	0,3929
40	0,0752	80	0,4827
45	0,0977	85	0,5893
50	0,1258		

Полученные расчетные величины дают возможность определить расход топлива, газифицируемого в газогенераторе:

$$G = \frac{Q_г}{E} \text{ кг/час}, \tag{76}$$

где $Q_г$ — количество газа, потребляемое двигателем, в *нм³/час*;

E — выход газа в *нм³/кг*.

Расчет размеров бункера. Объем бункера определяет время между загрузками газогенератора. Чем больше объем бункера, тем больше времени топливо находится в нем, подвергаясь подсушке и сухой перегонке при наличии наружного обогрева бункера газом. Указанное обстоятельство имеет особо важное значение при конструировании газогенераторов, работающих на влажном топливе (40—45%). Такие газогенераторы, как правило, имеют значительно развитый по высоте бункер и устройство для отсоса паров воды.

Таким образом, объем бункера газогенератора $V_б$ определяется: родом газифицируемого топлива, его насыпным весом γ *кг/м*^{3}, часовым расходом топлива $G_{час}$ и числом часов работы газогенератора Z с одной загрузкой, т. е.

$$V_б = \frac{G_{час} \cdot Z}{\gamma} \text{ м}^3. \quad (77)$$

Задаваясь диаметром бункера D, можно подсчитать высоту бункера H по уравнению

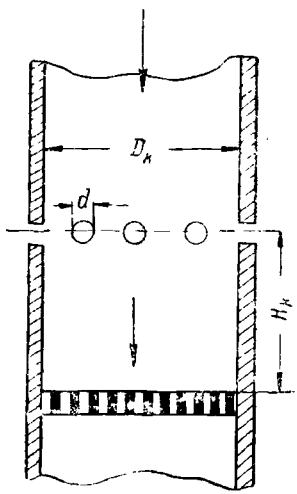
$$H = \frac{V_б}{0{,}785\, D^2} \text{ м}. \quad (78)$$

Расчет камеры газификации. При расчете камеры газификации газогенератора определяются следующие основные величины (фиг. 17):

а) диаметр камеры газификации $D_к$;

б) число воздухоподводящих фурм n и их диаметр $d_ф$;

в) высота активной зоны $H_к$.



Фиг. 17. Схема камеры газификации обращенного процесса.

Правильный выбор камеры газификации имеет особо важное значение при газификации топлива, богатого летучими. При расчете и конструировании камеры в этих случаях необходимо придавать ей такие размеры и форму, при которых было бы наиболее полно обеспечено условие равномерного распределения полей высоких температур по сечению камеры, необходимых для разложения смол.

Главной характеристикой камеры газификации является интенсивность процесса, которую выражают или количеством прогазифицированного в 1 час топлива (в *кг*), или количеством тепла (в *ккал*), выделившегося при газификации топлива в 1 час на 1 *м*^{2} площади сечения камеры на уровне фурм.

Интенсивность газификации битуминозных топлив в стационарных газогенераторах колеблется в пределах 400—600 *кг/м*^{2}*-час*, а для транспортных — 500—900 *кг/м*^{2}*-час*. В большинстве случаев оказывается необходимым сужение камеры газификации для достижения ровного охвата полем высоких температур всего ее поперечного сечения, что и осуществляется в транспортных газогенераторах, работающих по обращенному процессу.

Исследования, проведенные Центральным научно-исследовательским дизельным институтом по газификации соломы, показали, что повышение интенсивности не является единственным способом борьбы со смолами. Правильное распределение воздуха по слою топлива, с охватом центральных областей камеры, дает возможность газифи-

цировать битуминозное топливо с интенсивностью 160—200 *кг/м²-час* и получать бессмольный газ.

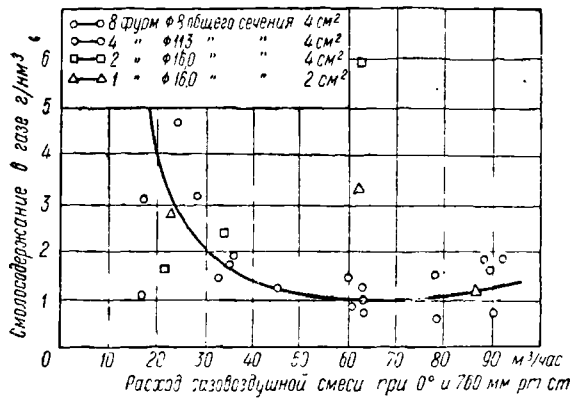
Таким образом, если для газификации данного вида топлива установлена интенсивность процесса R, то площадь сечения камеры $F_к$ для проектируемого газогенератора может быть подсчитана по следующей формуле:

$$F_к = \frac{G_{час}}{R} - м^2, \qquad (79)$$

где $G_{час}$ — часовой расход топлива.

По площади сечения камеры $F_к$ можно найти диаметр камеры $D_к$ в плоскости подвода воздуха.

Число воздухоподводящих фурм и их диаметр, а следовательно, и скорости выходящего из фурм воздуха оказывают



Фиг. 18. Зависимость смолосодержания в газе от расхода двигателем ГАЗ-42 газовоздушной смеси при различном количестве цилиндрических фурм (по Мезину).
Камера газификации диаметром 230 *мм*; высота слоя топлива в камере 305 *мм*.

большое влияние на качественные показатели рабочего процесса газификации твердого топлива.

Согласно данным, приводимым И. С. Мезиным [12], сопротивление цилиндрических фурм во время работы газогенератора превышает их сопротивление при свободном истечении в 1,55 раза, что следует учитывать при гидравлическом расчете фурм и оценке общего сопротивления газогенератора. От числа установленных в камере газификации фурм в значительной мере зависит смолосодержание газа, что убедительно иллюстрируется данными фиг. 18, показывающими зависимость смолосодержания в газе от расхода газовоздушной смеси двигателем ГАЗ-42 при различном количестве цилиндрических фурм.

Для правильного выбора наивыгоднейших скоростей воздушного дутья необходимо знать наиболее характерный режим работы газо-

генератора в эксплоатационных условиях и вид топлива, для которого предназначается проектируемый газогенератор.

Для стационарных газогенераторов силового газа обращенного процесса, в целях обеспечения достаточной гибкости работы и получения высокой теплотворности газа на всех режимах работы, включая холостой ход, скорость дутья v берется в пределах 20—25 *м/сек*, для газогенераторов двухзонного процесса $15 \div 20$ *м/сек* и для газогенераторов горизонтального процесса — $25 \div 40$ *м/сек*.

Диаметр фурм определяется на основании количества воздуха, поступающего в газогенератор, числа фурм и скорости воздуха в фурмах.

Расчет количества воздуха $V_в$, поступающего в газогенератор, можно произвести по балансу азота [1]. Расход воздуха при газификации можно определить по следующей формуле:

$$V_в = \frac{N_2^г E - \frac{N_р}{1{,}251}}{N_2^в} G \text{ нм}^3/\text{час}, \qquad (80)$$

где $N_2^г$ — содержание азота в генераторном газе в $м^3/м^3$;

E — выход газа в $нм^3/кг$;

$N_р$ — содержание азота в газифицируемом топливе в $кг/кг$;

$N_2^в$ — содержание азота в 1 $м^3$ воздуха, равное 0,79 $м^3$;

1,251 — вес 1 $нм^3$ азота в $кг$;

G — количество газифицируемого топлива в $кг/час$.

При условии подогрева воздуха, поступающего в газогенератор, до температуры $t°$, действительный его объем будет равен

$$V_в^t = V_в \frac{T \cdot 760}{T_0 \cdot P_ф} \; м^3/час. \qquad (81)$$

Исходя из данной скорости дутья v *м/сек* и выбранного количества фурм n, диаметр фурм определится по формуле

$$d_ф = 18{,}8 \sqrt{\frac{V_в^t}{n \cdot v}} \text{ мм} \qquad (82)$$

Активная зона в газогенераторе обращенного процесса располагается между фурменным поясом и колосниковой решеткой. В случае отсутствия колосниковой решетки нижней границей активной зоны является место отвода газа из раскаленного слоя топлива.

---

[1] Н. С. Мезин рекомендует количество воздуха определять по коэффициенту молекулярного изменения:

$$V_в = \frac{Q_г}{\mu_0} \text{ нм}^3/\text{час},$$

где $Q_г$ — расход газа в $м^3/час$;

μ_0 — коэффициент молекулярного изменения при газификации;

$$\mu_0 = \frac{80}{N_2},$$

где N_2 — объемное содержание азота в генераторном газе в %.

В указанных условиях расчет высоты активной зоны заключается в определении времени контакта (τ) продуктов полного сгорания с поверхностью раскаленного топлива, образующего восстановительный слой активной зоны газогенератора. Зная объем восстановительного слоя, нетрудно подсчитать и его высоту $H_к$.

Средний по высоте активной зоны отбор газа (имея в виду, что секундные объемы газа, проходящие через верхний и нижний слои активной зоны, не равны, вследствие того, что реакции восстановления идут с увеличением объема) можно выразить следующим уравнением:

$$Q_{ср.\ г} = \frac{G_{час}\,(L_0 + E)}{2 \cdot 3600}\ нм^3/сек, \qquad (83)$$

где $G_{час}$ — расход топлива в *кг/час*;

L_0 — расход воздуха газогенератором в *нм³/кг*;

E — выход газа на 1 *кг* топлива в *нм³/кг*.

Тогда время τ контакта продуктов сгорания с поверхностью раскаленного топлива можно представить следующим выражением:

$$\tau = \frac{V_{а.\ з.}}{G_{час}} \cdot \frac{n \cdot 2 \cdot 3600}{(L_0 + E)\left(\frac{t + 273}{273}\right)}\ сек. \qquad (84)$$

Здесь $V_{а.\ з.}$ — объем активной зоны в *м³*;

n — порозность слоя;

t — температура выходящего газа в °С.

Если объем активной зоны подобран правильно, то, очевидно, время контакта должно быть равно времени протекания реакции Z, т. е. должно быть соблюдено равенство

$$\frac{V_{а.\ з.} \cdot n \cdot 2 \cdot 3600}{G_{час}\,(L_0 + E)\left(\frac{t + 273}{273}\right)} = Z\ сек., \qquad (85)$$

откуда может быть найден и объем активной зоны

$$V_{а.\ з.} = \frac{G_{час}\,(L_0 + E)\left(\frac{t + 273}{273}\right) Z}{2 \cdot 3600 \cdot n}. \qquad (86)$$

Зная площадь камеры газификации $F_к$ и объем активной зоны $V_{а.\ з.}$, можно подсчитать высоту активной зоны $H_к$.

Для цилиндрической камеры $H_к$ будет равна:

$$H_к = \frac{V_{а.\ з.}}{F_к}\ м. \qquad (87)$$

Расчет зольника. В нижней части газогенератора расположен зольник, в котором, по мере выгорания топлива, собираются очаговые остатки, состоящие из золы, шлаков и некоторой части недожога. Расчет зольника заключается в определении его объема, удовлетворяющего требованиям периодичности чистки газогенератора в процессе его эксплоатации.

Если в топливе содержится по весу A % золы, а недожог составляет m *кг* на 1 *кг* золы, то в результате при газификации 1 *кг* топлива остается: золы $\frac{A}{100}$ *кг*; недожога $\frac{A}{100}\ m$ *кг*.

При часовом расходе топлива $G_{час}$ количество очаговых остатков за 1 час работы составит

$$\frac{A \cdot G_{час}}{100} + \frac{A_m \cdot G_{час}}{100} \tag{88}$$

или

$$\frac{A}{100} \cdot G_{час}\,(1+m)\ \textit{кг/час}.$$

Если по условиям эксплоатации проектируемой газогенераторной установки период очистки зольника устанавливается $t_{час}$, а коэффициент запаса принимается равным 25%, то необходимый объем зольника при условии, что с газом не уносятся зола и угольная мелочь, будет

$$V_{зол} = \frac{A \cdot G_{час}\,(1+m)\ t \cdot 1{,}25}{\gamma_{оч} \cdot 100}\ \textit{л}, \tag{89}$$

где $\gamma_{оч}$ — удельный вес очаговых остатков; $\gamma_{оч}$ может быть получен делением веса очаговых остатков на занимаемый ими объем:

$$\gamma_{оч} = \frac{1+m}{\frac{1}{\gamma_з} + \frac{m}{\gamma_c}}, \tag{90}$$

где $\gamma_з = 0{,}3$ — удельный вес золы;
$\gamma_c = 1{,}5$ — удельный вес углерода.
Окончательно

$$\gamma_{оч} = \frac{(1+m)\ 1{,}5}{m+5}\ \textit{кг/м}^3. \tag{91}$$

При расчете зольника обычно принимается содержание углерода в 1 *кг* очаговых остатков: для древесины 0,17 *кг*; для древесного угля 0,20 *кг*; для каменного угля $0{,}20 \div 0{,}30$ *кг*; для торфяного кокса 0,4 *кг*.

Не рекомендуется конструировать зольники слишком больших размеров, во избежание протекания обратных реакций.

Расчет газопроводов. При расчете газопроводов необходимо придавать им такие размеры, при которых торможение проходящего газового потока было бы минимальным. Для уменьшения сопротивления движению газа следует выбирать возможно меньшие значения скорости.

Для стационарных газогенераторных установок скорость газа в газопроводах рекомендуется принимать в пределах $7 \div 10$ *м/сек*; для передвижных установок — $10 \div 15$ *м/сек*.

Обозначив через $Q_г$ количество газа, потребляемого двигателем в 1 час при 0° и 760 *мм* рт. ст., через $T_г$ — абсолютную температуру газа в расчетном месте газопровода, через $v_г$ — скорость в *м/сек*, через

$P_г$ — давление в газопроводе в *мм* рт. ст. и через $d_г$ — диаметр газопровода в *м*, получим:

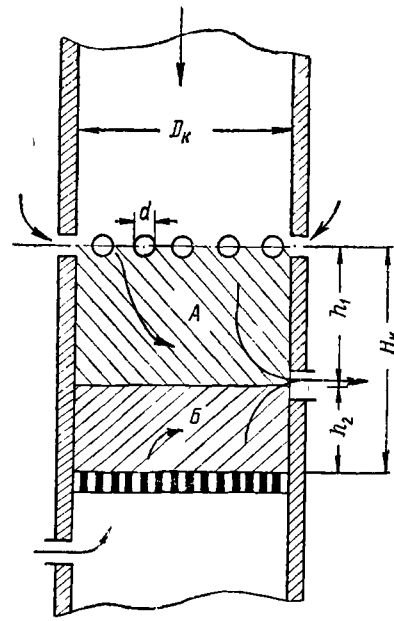
$$d_г = 0{,}0315 \sqrt{\frac{Q_г T_г}{v_г \cdot P_г}} \text{ м}. \qquad (92)$$

Температура в выходном патрубке стационарных газогенераторов, работающих по обращенному процессу, лежит обычно в пределах 350 — 400° С, в двухзонных газогенераторах 550 ÷ 600° С, а в газогенераторах горизонтального процесса поднимается до 700° С.

Давление в газопроводе, измеренное в выходном патрубке газогенератора, обычно меньше атмосферного на 50 — 150 *мм* вод. ст., а давление, измеренное в газопроводе после сухого очистителя, ниже атмосферного на 200—500 *мм* вод. ст., если установка работает под вакуумом, создаваемым двигателем.

Расчет камеры газификации двухзонного газогенератора. В двухзонном газогенераторе процесс газификации топлива протекает одновременно в двух зонах.

Зона *А* является зоной обращенного процесса газификации. Высота активного слоя этой зоны h_1 ограничивается в верхней части плоскостью фурменного пояса, а в нижней — горизонтальной плоскостью, проходящей через ось газоотборной трубы (фиг. 19).



Фиг. 19. Схема камеры газификации двухзонного процесса.

Зона *Б* является зоной прямого процесса газификации и ограничена внизу колосниковой решеткой. Высота этой зоны равна h_2, следовательно, полная высота активной зоны $H_к$ двухзонного газогенератора будет равна

$$H_к = h_1 + h_2.$$

Поскольку двухзонный процесс рекомендуется для битуминозного топлива повышенной влажности, то определяющей интенсивностью процесса R является интенсивность в зоне обращенного процесса, составляющая для битуминозных топлив величину 400—600 *кг/м²-час*.

Топливом в зоне *Б* служит достаточно обугленная, лишенная смолистых соединений часть топлива, опустившаяся из зоны *А*. Интенсивность газификации в этой зоне пониженная и обычно колеблется в пределах 150 — 250 *кг/м²-час*.

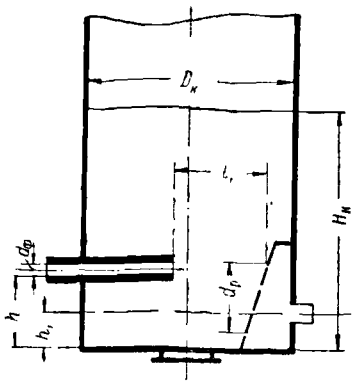
Воздух, необходимый для газификации топлива, в зону *А* поступает через периферийные фурмы, а в зону *Б* через колосниковую решетку.

Практикой установлено следующее распределение воздуха между зонами: зона *А* 65 ÷ 75%; зона *Б* 25 ÷ 35%.

Отношение между высотами зон $\frac{h_1}{h_2}$ в существующих двухзонных газогенераторах для газификации древесины и торфа колеблется в пределах 1,20 — 1,55. Чем топливо крупнее и чем меньше его зольность, тем это отношение больше.

Более точное определение общей высоты активной зоны $H_к$ может быть получено путем раздельного расчета h_1 и h_2 по методу, приведенному для расчета высоты активной зоны газогенератора обращенного процесса.

Расчет камеры газификации газогенератора с горизонтальным процессом газификации. В газогенераторах с горизонтальным процессом газификации твердого топлива камерой газификации служит нижняя часть газогенератора (фиг. 20), в которой размещаются: горизонтально расположенная воздухоподводящая фурма, газоотборная решетка (круглой или прямоугольной формы), патрубок для отбора газа и выгребной люк для удаления очаговых остатков.



Фиг. 20. Схема камеры с горизонтальным процессом газификации.

Диаметр камеры газификации $D_к$ в газогенераторе с горизонтальным процессом газификации и минимально допустимая высота камеры $H_к$ рассчитываются в зависимости от длины активного слоя l_1, расположенного между устьем воздушной фурмы и средней частью газоотборной решетки. Для расчета указанных элементов обычно пользуются следующими эмпирическими формулами:

$$D_к = (1{,}75 \div 2{,}0)\, l_1; \qquad (93)$$

$$H_к = (0{,}8 \div 1{,}0)\, D_к. \qquad (94)$$

Здесь $D_к$ — диаметр камеры газификации в *см*;
$H_к$ — минимально допустимая высота камеры в *см*.

При выборе коэффициента следует учитывать вид газифицируемого топлива, условия работы газогенератора, условия охлаждения воздухоподводящей фурмы и камеры в целом.

Длина активного слоя l_1, по данным Г. Г. Токарева [17], зависит от производительности газогенератора. Для расчете длины активного слоя служит следующая эмпирическая формула:

$$l_1 = 53 \sqrt{G_т}\ мм, \qquad (95)$$

где $G_т$ — расход топлива в *кг/час*.

Общая площадь $F_р$ газоотборной решетки определяется исходя из заданной напряженности процесса $R_в$ *кг/м²* и часового расхода топлива $G_т$ *кг/час*, т. е.

$$F_р = \frac{G_т}{R_в} \; м^2. \tag{96}$$

С расчетом живого сечения газоотборной решетки $F_ж$ связана необходимость установления скорости $v_г$ прохождения через нее газов. Обычно для практически бессмольных топлив скорость газа устанавливается в пределах 1—1,5 *м/сек*, считая на холодный газ, повышаясь до 3—3,5 *м/сек* для топлив, содержащих летучие (например, плохо выжженный древесный уголь [17]).

В общем виде расчетное живое сечение газоотборной решетки можно выразить следующим образом:

$$F_ж = \frac{Q_г}{0{,}36\, v_г} \; см^2, \tag{97}$$

где $Q_г$ — часовая производительность газогенератора по холодному газу;

$v_г$ — принятая скорость прохождения газа через газоотборную решетку (0° С и 760 *мм* рт. ст.).

Высота расположения над днищем газогенератора воздухоподводящей фурмы и высота h_1 до центра газоотборной решетки рассчитываются по формулам, составленным на основе опытных данных.

Высота от днища газогенератора до оси воздухоподводящей фурмы:

$$h = (0{,}4 \div 0{,}5)\; H_к. \tag{98}$$

Высота от днища газогенератора до середины газоотборной решетки:

$$h_1 = 0{,}5\, h_2 + (20 \div 60) \; мм, \tag{99}$$

где h_2 — высота решетки.

ГЛАВА V

КОНСТРУКЦИИ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ СИЛОВОГО ГАЗА

Развитие отечественных конструкций газогенераторов силового газа определилось как совершенно самостоятельная отрасль техники, призванная обеспечить дешевым газом из местного твердого топлива энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания.

Конструктивные формы газогенераторов устанавливались, с одной стороны, видом потребляемого местного твердого топлива, с другой — назначением газогенератора в соответствии с требованием народного хозяйства.

Существующие в настоящее время конструкции газогенераторов силового газа можно разбить на три группы: стационарные, передвижные, транспортные.

Стационарные газогенераторы чаще всего устанавливаются в специально создаваемых для этой цели помещениях на фундаментах, с футерованной кирпичом шахтой и зольником-котлованом. Все остальное оборудование станции также размещается в здании, за исключением градирни, ям для сброса подсмольных вод и др.

Передвижные газогенераторы изготовляются цельнометаллическими, компактными, более облегченного веса. Все другие агрегаты газогенераторной установки также отличаются малым весом и монтируются вместе с генератором, а часто и с двигателем, на одной раме-площадке с полозьями, подставками или колесами—для удобства перемещения. Самостоятельную группу передвижных установок занимают газогенераторы для малолитражных двигателей мощностью в 3—6—9 *л. с.*, поэтому их описание приводится отдельно (см. ниже).

Транспортные газогенераторы устанавливаются на автомобилях, тракторах, речных судах, тепловозах и представляют собой самостоятельную группу, отличающуюся легкостью конструкций, часто оформленных с учетом общих архитектурных форм машины, для которой они предназначаются.

14. Газогенераторы для газификации древесины

Газогенераторы ОГ-12 и ОГ-13 конструкции Центрального научно-исследовательского дизельного института. Газогенераторы тип ОГ-12 для двигателей 2ГЧ 18/26 мощностью 45 *л. с.* и тип ОГ-13

для двигателя 4ГЧ 18/26 мощностью 90 *л. с.* созданы Центральным научно-исследовательским дизельным институтом на базе установок ОГ-2 и ОГ-4 и в настоящее время выпускаются заводом имени 25-го Октября Министерства тяжелого машиностроения комплектно с газовыми двигателями.

Конструктивно газогенераторы ОГ-12 и ОГ-13 подобны друг другу, отличаются только размерами (фиг. 21 и 22) и предназначаются для газификации древесины с относительной влажностью в 45%.

В случае газификации древесины влажностью до 25% высота газогенератора может быть меньше на 1200 *мм*.

Газогенератор (фиг. 21) представляет собой цилиндрическую шахту с металлическим кожухом *1*, выложенную внутри красным и шамотным огнеупорным кирпичом, с камерой газификации *2* и зольником *3*.

Воздух в камеру газификации подается посредством периферийно расположенных фурм *4*.

В нижней части газогенератора установлена колосниковая решетка *5* с подвижными и неподвижными колосниками гребенчатой формы. Подвижные колосники при помощи рычагов, соединительной планки, муфты и валика связаны с ручным приводом, выведенным через сальниковое уплотнение наружу. При повороте рычага решетки гребни колосников приходят в качательное движение и производят сброс золы в гидравлический затвор.

С целью устранения вредного подсоса воздуха в подколосниковую камеру, в случае возникновения трещин в фундаменте, под нижним фланцем кожуха газогенератора установлено железное кольцо с обичайкой, опущенной в гидравлический затвор.

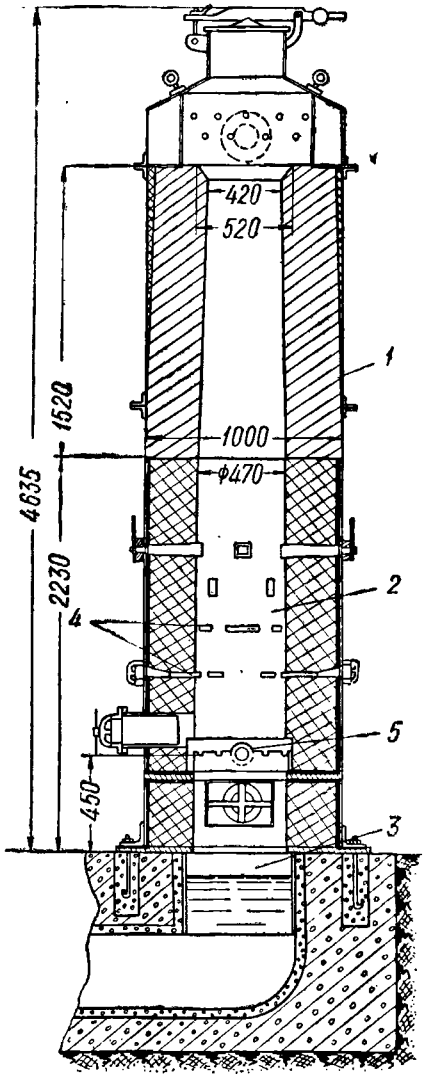
Газогенератор имеет дымовую трубу и ручной вентилятор для розжига топлива и заполнения системы газом перед запуском двигателя. Внизу на дымовой трубе установлена поворотная заслонка для открывания и закрывания трубы и регулирования тяги при удалении избыточной влаги из шахты наружу.

У выходного отверстия дымовой трубы имеется устройство для улавливания сконденсированной смолы и отвода ее в гидравлический затвор. Газогенератор установлен на фундаменте и закреплен открытыми связями.

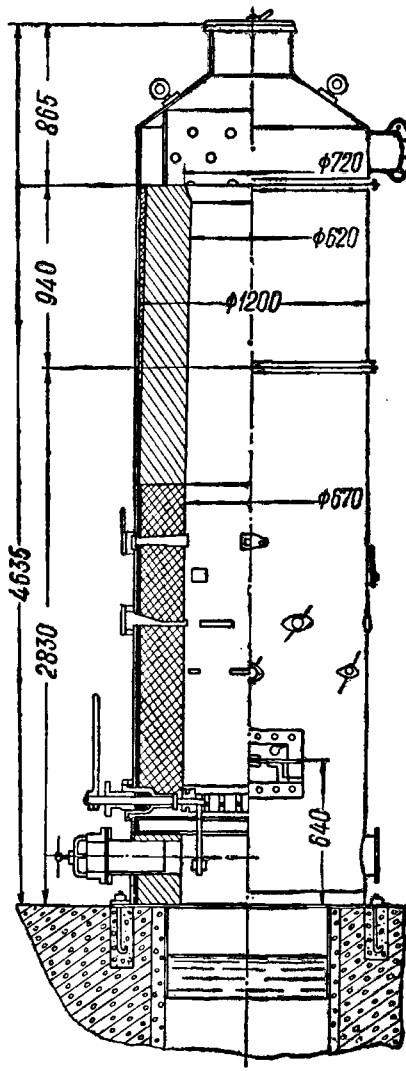
В табл. 24 приводятся основные характеристики газогенераторов ОГ-12 и ОГ-13.

Газогенератор всесоюзной конторы Промзернопроект. Типовой газогенератор Промзернопроекта (фиг. 23) для стационарных силовых установок рассчитан на газификацию древесины в виде чурок длиною 120—200 *мм* и толщиной 80 × 80 *мм*. Газогенератор обращенного процесса газификации, работает под разрежением от двигателя.

Шахта газогенератора *1* сечением 500 × 500 *мм* выкладывается из красного, хорошо обожженного кирпича на глиняном растворе. Толщина стенок шахты $1^1/_2$ кирпича. В зоне высоких температур шахта внутри футеруется огнеупором *2* в $^1/_2$ кирпича, на растворе огнеупорной глины и шамота. Наружная поверхность кладки шахты *3*



Фиг. 21. Газогенератор ОГ-12 для газификации древесины конструкции Центрального научно-исследовательского дизельного института.

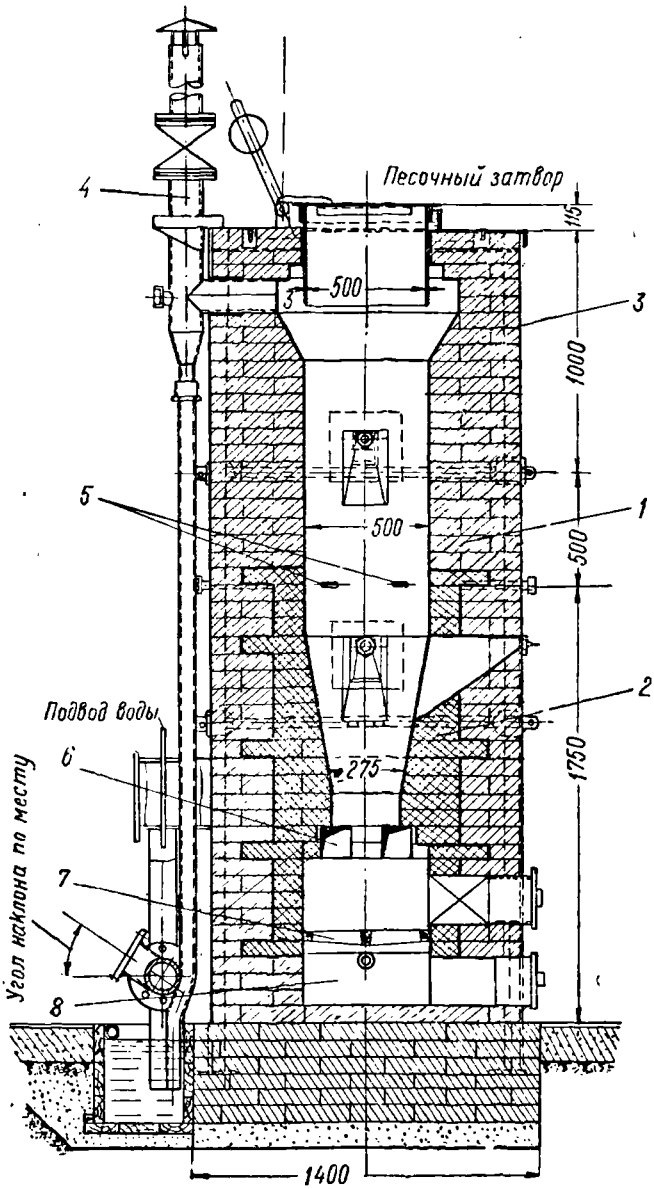


Фиг. 22. Газогенератор ОГ-13 для газификации древесины конструкции Центрального научно-исследовательского дизельного института.

Таблица 24

Основные характеристики газогенераторов ОГ-12 и ОГ-13

Характеристики	Размерность	Модель газогенератора	
		ОГ-12	ОГ-13
I. Производительность газогенератора:			
по газу	*м³/час*	100	200
по топливу влажностью 25%	*кг/час*	49	97
по топливу влажностью 45%	»	86	192
по мощности двигателя	*л. с.*	45	90
II. Топливо (древесные чурки)			
размер чурок	*мм*	60×60×165	80×80×165
влажность	%	45—25	45—25
III. Средние характеристики газа			
Низшая теплотворность	*ккал/нм³*	1182	1182
Выход сухого газа . .	*нм³/кг*	2,05	2,05
Расход воздуха для газификации 1 *кг* топлива	»	1,34	1,34
Температура газа при выходе из генератора	°С	544	544
IV. Экономичность установки			
Удельный расход газа	*нм³/л. с.-час*	2,2	2,2
Удельный расход топлива при влажности 25%	*кг/л. с.-час*	1,08	1,08
То-же при 45%	»	1,90	1,90
Коэффициенты полезного действия:			
газогенераторной установки при влажности топлива 25%	%	73,5	73,5
то же при влажности 45%	»	61,5	61,5
газомоторной установки при влажности топлива 25%	»	17,8	17,8
то же при влажности 45%	»	15,0	15,0
V. Расчетные параметры			
Средняя интенсивность газификации	*кг/м²·час*	280	280
	тыс. ккал/м²·час	924	924
Удельная площадь сечения шахты газогенератора	*см²/э. л. с.*	39	39
Время пребывания топлива в шахте	час	2,5	2,5
VI. Габарнтные размеры			
Внутренний диаметр шахты	*мм*	470	670
Наружный диаметр газогенератора	»	1000	1200
Высота газогенератора	»	4635	4850



Фиг. 23. Газогенератор Промзернопроекта для газификации древесины.

покрывается штукатуркой, периодически возобновляемой для предупреждения подсоса воздуха через трещины и неплотности кладки.

От фурменного пояса до уровня газоотбора шахта имеет плавное сужение с минимальным размером сечения 275×275 *мм* — для генератора производительностью 100 *нм*^{3}*/час* и 340×340 *мм* — для генератора производительностью 140 *нм*^{3}*/час*.

Для равномерного распределения воздуха при подводе его сверху в кладке имеется расширение, которое со стенками загрузочного люка образует воздушный канал по периметру шахты.

Для отвода продуктов сгорания при розжиге или газа при остановке двигателя газогенератор снабжен трубой естественной тяги *4*, или дымоотводом диаметром 133 *мм*.

Воздух в камеру газификации подводится через 8 фурм *5*, изготовленных из отрезков газовой трубы диаметром 1″, расплющиваемых на конце. Конец фурмы, обращенный в помещение, имеет нарезку для посадки колпачка. Для уплотнения к фурме приваривается пластинка, заделываемая в кладку. Кроме того, промежутки в кладке вокруг фурм заполняются асбестом.

Газ отсасывается из газогенератора через кольцеобразный канал *6*. Очаговые остатки накапливаются на колосниковой решетке *7* и сбрасываются в зольник *8*.

Газогенератор АГ-65 Архангельского завода. На фиг. 24 приведена схема газогенератора АГ-65 обращенного процесса, тип КК, для газификации дров-швырка длиною 0,75 *м* с относительной влажностью до 30%. Газогенератор предназначен для питания газом двигателей типа СХТЗ-ЧТЗ мощностью $20 \div 60$ *л. с.*

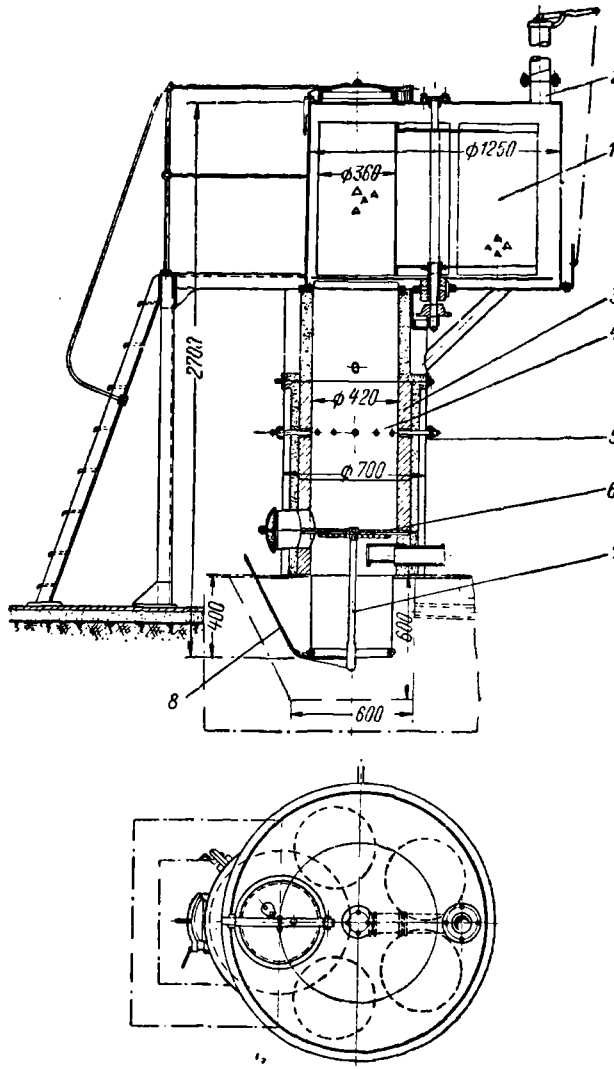
Особенностью конструкции газогенератора является наличие в бункере загрузочного устройства из пяти вращающихся металлических цилиндрических камер *1* без дна диаметром 390 *мм* и высотою 780 *мм*, приваренных к двум звездочкам — верхней и нижней. Дрова загружаются в шахту в вертикальном положении. Подсушка дров происходит в бункере с отводом паров через трубу *2*. Шахта газогенератора *3* имеет полезную высоту 2300 *мм* и состоит из металлического цилиндра с двойными стенками, с обмуровкой графитовой массой и тепловой изоляцией. Предварительно подогретый между кожухами воздух подается в камеру газификации *4* через 12 периферийных фурм *5*.

Литая колосниковая решетка *6* состоит из двух дисков с концентрическими прорезями. Верхний диск неподвижен, а нижний поворачивается на вертикальном валике *7* с помощью рычага *8*.

Газогенератор Угличского лесозавода. Построен на заводе в 1928 г. и предназначен для обеспечения газом двигателя мощностью в 150 *л. с.* Схема газогенератора приведена на фиг. 25.

Шахта газогенератора *1* квадратного сечения, выложена шамотным кирпичом и снаружи закрыта металлическим кожухом *2*.

Сечение шахты в верхней части 850×850 *мм*, в нижней, суженной части — 700×700 *мм*. Живое сечение колосниковой решетки *3* составляет 40%. Газоотборное кольцо *4* расположено на высоте 665 *мм* от колосниковой решетки. Расстояние от оси газоотборного кольца

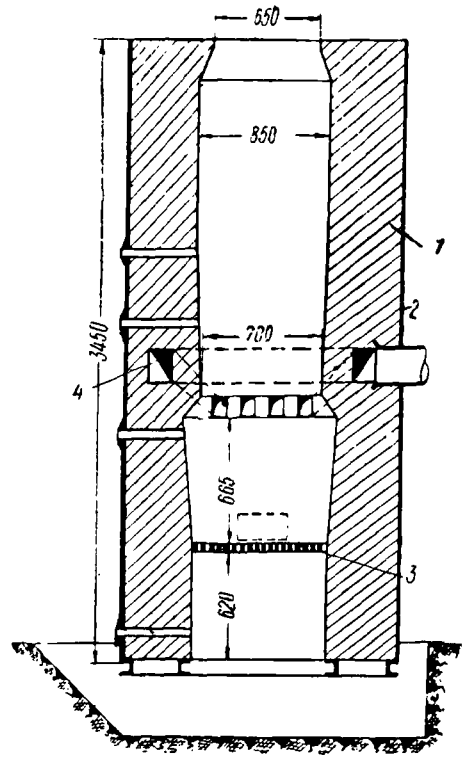


Фиг. 24. Газогенератор АГ-65 Архангельского завода (для швырка).

до загрузочного люка 1700 *мм*. Фурм газогенератор не имеет. Воздух, необходимый для ведения процесса, засасывается через загрузочный люк, открытый во время работы газогенератора. Кроме того, в газогенераторе предусмотрена подача воздуха под колосниковую решетку, что дает возможность работать газогенератору как по прямому, так и по двухзонному процессам.

Достаточно надежная и устойчивая работа газогенератора послужила поводом к организации газогенераторной лабораторией ВТИ длительных испытаний этой конструкции, проведенных в 1932 г. под руководством проф. Н. В. Шишакова. Испытания проводились по обращенному и двухзонному процессам на дровах (горбыль и рейка) длиною 13—52 *см* с относительной влажностью 23—47%.

При всех испытаниях теплотворность газа колебалась в пределах 850—1050 *ккал/нм*³. Повышение влажности древесины от 23 до 38% понижало теплотворность газа на 100—115 *ккал/нм*³. Дальнейшее повышение влажности топлива до 47% на качество газа практически не влияло. Применение двухзонного процесса при влажности дров выше 23% давало повышение теплотворности газа на 120—180 *ккал/нм*³, уменьшение потерь горючего в провале и повышение коэффициента полезного действия газогенератора.



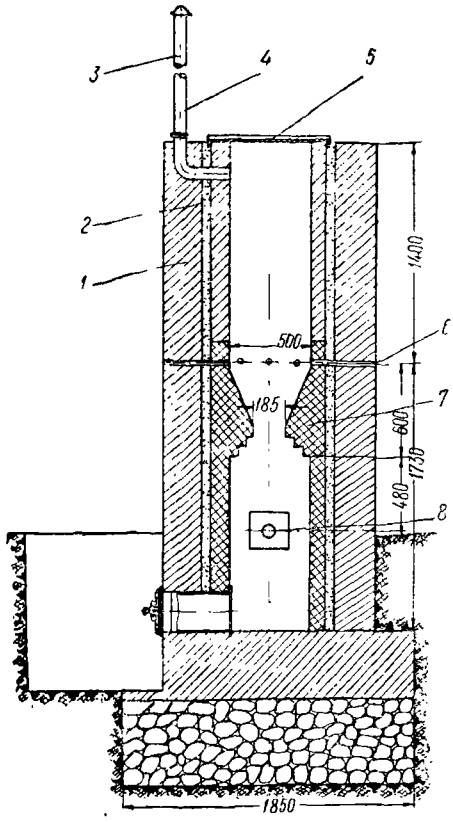
Фиг. 25. Газогенератор Угличского лесозавода.

Газогенератор Казахского отделения ВНИМЭ. Газогенератор для работы на саксауле и дровах разработан Казахским отделением ВНИМЭ для двухтактного двигателя мощностью 30 *л. с.* (фиг. 26). Газогенератор представляет собой шахту *1* прямоугольного сечения. Внутренняя кладка шахты отделяется от наружной слоем песка *2*, что предохраняет последнюю от растрескивания, так как песчаный слой является тепловой изоляцией; поэтому наружная кладка нагревается слабо и равномерно. Наружная кладка нигде не имеет контакта с внутренней.

В верхней части газогенератора устанавливается труба *3* для отсоса влаги, выделяющейся при подсушке топлива. Для регулировки

разрежения при отсосе паров воды, испаряемой топливом, в трубе устанавливается дроссельная заслонка *4*.

Шахта генератора имеет прямоугольное сечение 400×500 *мм*. Сверху шахта закрывается крышкой *5*, края которой входят в песчаную засыпку. Подача воздуха в кислородную зону осуществляется через 12 фурм *6*, расположенных по три с каждой стороны шахты. Благодаря такому расположению фурм воздух в камеру газификации подается равномерно. Диаметр фурм в свету 10 *мм*, общая длина фурмы 425 *мм*. Ниже фурм внутренние стенки генератора имеют с двух сторон выступы *7*, суживающие сечение шахты. Отвод газа из генератора производится через проложенный в нижней части газопровод *8* диаметром 100 *мм*. Общая высота газогенератора 3150 *мм*, полезный объем бункера 0,37 *м*³. Интенсивность процесса при расчетной производительности газогенератора составляет 380 *кг/м²-час*.



Фиг. 26. Газогенератор Казахского филиала ВНИМЭ для газификации саксаула и дров.

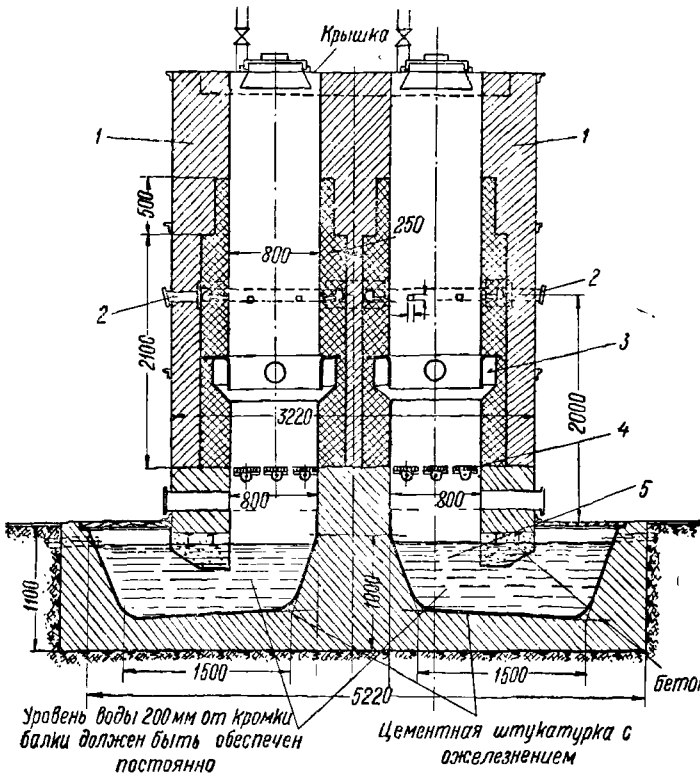
Двухзонный спаренный газогенератор Оргкоммунэнерго. На фиг. 27 приведена схема спаренного газогенератора для двигателя мощностью 300 *л. с.*, разработанного трестом Оргкоммунэнерго. Этот же газогенератор выполняется с одной шахтой для двигателя 150 *л. с.*

Шахты газогенераторов *1* имеют квадратное сечение 800×800 *мм*. Общая высота газогенератора 4000 *мм*. Воздух в камеру газификации газогенератора подается через десять фурм *2* диаметром 40 *мм*, установленных на высоте 700 *мм* от оси газоотборного кольца.

Общая высота активной зоны газогенератора составляет 1500 *мм*. Через фурмы подается до 75% воздуха, необходимого для газификации, остальная часть подается под колосниковую решетку и регулируется в зависимости от влажности топлива и нагрузки газогенератора.

Газ отсасывается из газоотборного кольца *3*, образуемого чугунным литым поясом. Колосниковая решетка *4* состоит из трех секций, вращающихся вокруг горизонтальных осей, концы которых выведены за пределы кладки через сальниковые уплотнения.

Очаговые остатки накапливаются в котловане *5* гидравлического затвора, откуда периодически могут удаляться, не нарушая работы газогенератора.



Фиг. 27. Двухзонный спаренный газогенератор Оргкоммунэнерго.

Газогенератор ЦНИИРФ-12. Газогенератор (фиг. 28) судового типа, по своей производительности рассчитан для питания газом двигателей мощностью 60—75 *л. с.*

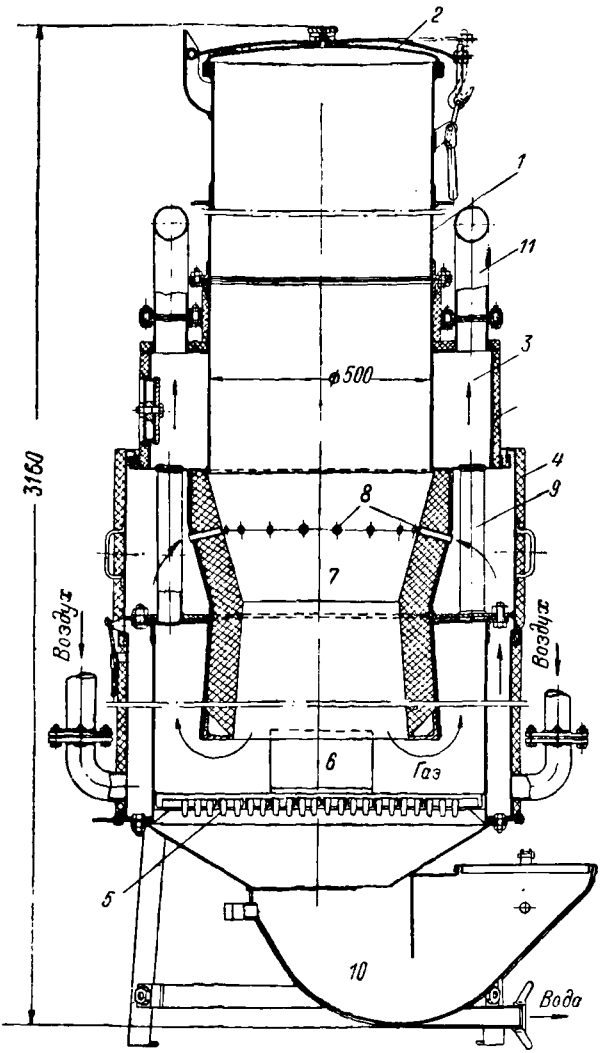
Газогенератор цилиндрической формы; изготовляется из листовой углеродистой стали толщиной 1,5—5 *мм*.

Бункер *1* цилиндрический, диаметром 500 *мм* и высотой 3175 *мм*.

Часть крышки *2* бункера входит в уплотнительную канавку и прижимается с помощью пружины из рессорной стали, которая с одной стороны крепится шарнирно к бункеру, а с другой — скобкой, накладываемой на крюк с регулировочными гайками, которые позволяют изменять натяжение пружины. В крышке бункера имеется лючок для замера высоты слоя топлива в газогенераторе. Нижняя часть бункера является внутренним кожухом газовой коробки *3*.

Съемный наружный кожух *4* газогенератора представляет собой цилиндр, изготовляемый из стали 1,5 *мм*. По высоте имеет два

разъема. Верхняя часть кожуха, предназначенная для осмотра наиболее нагретых частей газогенератора во время работы двигателя, крепится с помощью трех замков, аналогично крышке бункера. Нижняя часть кожуха крепится болтами к плите зольника и в случае осмотра или ремонта может быть легко снята без нарушения остальных узлов газогенератора.



Фиг. 28. Газогенератор ЦНИИРФ-12.

Колосниковая решетка *5* — чугунная, состоит из восьми секций. Для удобства смены отдельных секций решетки предусмотрен лючок *6*, расположенный над ней. Кольцо, на котором лежат секции, при-

варивается к кожуху топливника, а для придания большей прочности под кольцо приварены ребра жесткости.

Камеру газификации *7* образуют два усеченных, сваренных меньшими сечениями конуса, которые изнутри выложены огнеупорным кирпичом. Футеровка расположена на кольцеобразном угольнике, приваренном к нижней части конуса. Угол наклона верхнего конуса выбран так, чтобы загружаемые дрова несколько задерживались около фурм в зоне горения. Обугленные и измельченные куски свободно опускаются в нижнюю часть, объем которой увеличивается по направлению к решетке. К нижнему конусу топливника приварена плита, которая опирается на фланец кожуха топливника. В верхний конус вварены воздушные фурмы *8*.

С целью уменьшения толщины воздушного слоя и улучшения подогрева воздуха, наружный кожух вплотную прилегает к фланцу, а для прохода воздуха в болтах высверлены отверстия.

Для равномерного отбора газа из кольцеобразного пространства топливника и подогрева воздуха служат трубки *9*, которые с одной стороны приварены к плите, с другой — к газовой коробке.

В нижней части газогенератора расположен зольник *10*, который состоит из двух частей: верхнего конуса и выгнутой трубы квадратного сечения. Труба в конце закрывается крышкой с уплотнением.

Во избежание попадания воздуха в газогенератор при чистке зольника во время работы двигателя устроен водяной затвор. Для определения высоты уровня воды в зольнике перед открыванием крышки лючка имеется контрольный пробный краник. Газогенератор крепится к фундаменту посредством четырех стоек из углового железа, приваренных к плите зольника.

Топливом для газогенератора служат дрова-швырок размером 500 × 65 × 65 *мм*; предварительно плотно уложенные в кольцо дрова загружаются в верхнюю часть газогенератора одновременно по всему сечению бункера.

При полной загрузке газогенератора топливом до уровня фурм укладывается четыре вязанки, что составляет примерно двухчасовой запас при работе на максимальной мощности двигателя. Топливо во время пребывания в бункере нагревается и подсушивается. Наиболее интенсивный нагрев дров происходит в последние 30 мин. до поступления в зону горения, за счет физического тепла генераторного газа, проходящего через газовую коробку.

При этом из древесины выделяются не только пары воды, но и часть газообразных летучих.

Воздух, необходимый для газификации, засасывается в газогенератор под влиянием разрежения, создаваемого двигателем.

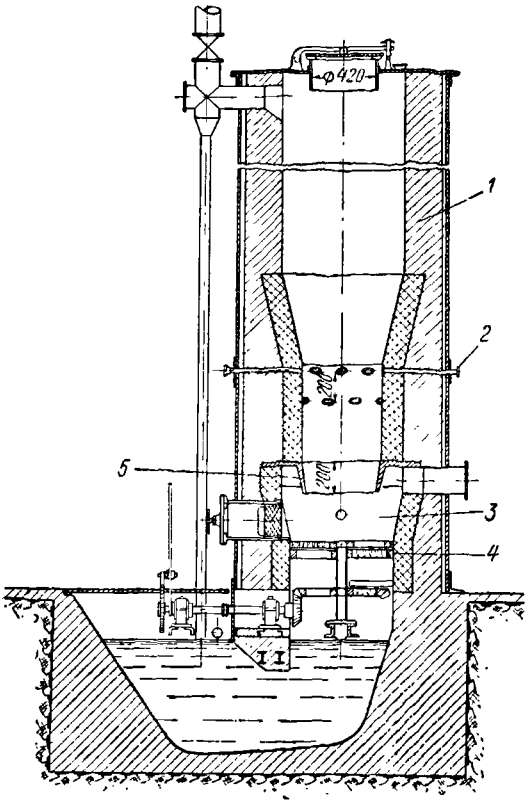
На своем пути воздух нагревается до 200—240° С, за счет тепла, отдаваемого газом через стенку топливника и газоотборные трубы.

Благодаря интенсивному подогреву воздуха и подсушке дров до зоны горения оказалось возможным добиться нормальной газификации дров влажностью до 40—45%.

Продукты газификации вместе с азотом воздуха и водяным паром при температуре 600—700° С выходят из топливника и направляются

ᵻ пространство, образуемое подвесной частью топливника и внутренним цилиндром газогенератора. Через газоотборные трубы газ поступает в газовую коробку, откуда отсасывается по трубам *11* в скруббер.

Зола и угольная мелочь, провалившиеся сквозь колосниковую решетку, могут периодически удаляться из зольника скребком во время работы двигателя, благодаря наличию водяного затвора. Механические примеси, увлекаемые газовым потоком, выделяются в газовой коробке, откуда выгребаются через боковые лючки; часть отмывается в скруббере.



Фиг. 29. Газогенератор Энергопроекта с секторными колосниками для газификации торфа.

15. Газогенераторы для газификации торфа

Газогенератор Энергопроекта. На фиг. 29 приведен общий вид газогенератора обращенного процесса для газификации торфа, спроектированного Энергопроектом для двигателя мощностью 700 *л. с.* Соливанского сахарного завода Киевской области.

Шахта газогенератора *1* — кирпичная. Верхняя ее часть выложена из кирпича-сырца; камера газификации облицована огнеупорным кирпичом. Диаметр камеры газификации 750 *мм*, интенсивность процесса около 200 *кг* торфа в час на 1 $м^2$ сечения. Это же сечение камеры газификации Энергопроектом рекомендуется и для двигателя в 45 *л. с.*, что нельзя считать правильным, так как снижение интенсивности газификации до 120—140 $кг/м^2$-*час* повлечет за собой резкое увеличение смолосодержания в газе.

Воздух в камеру газификации подается двумя рядами фурм *2*. Расстояние между рядами 200 *мм*. Отсос газа производится из расширенной полости *3*, расположенной между колосниковой решеткой *4* и литым металлическим конусом *5*. Подобная конструкция обеспечивает более равномерный отбор газа.

Колосниковая решетка газогенератора состоит из двух частей — верхней и нижней, закрепленных на вертикальном валу. Нижняя

колосниковая плита — неподвижная, прочно закреплена в обмуровке.

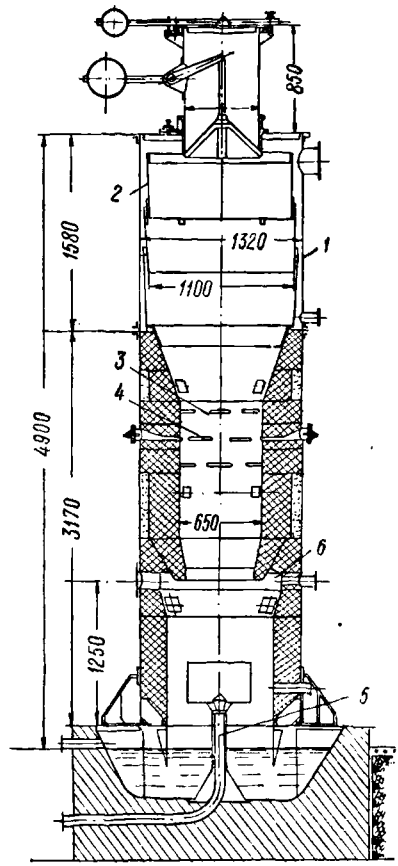
Над колосниками в обмуровке шахты закреплены три пластинчатые скобки для сгребания шлака и золы через зазоры между секторами нижних колосников. Зольник газогенератора очищается через боковой люк, который закрывается огнеупорной вставкой. Через этот люк осуществляется и розжиг газогенератора.

При испытаниях газогенератора на украинском торфе (при $A_c = 18\%$ и $W_p = 27\%$) получен следующий средний состав газа:

$$CO_2 = 12{,}0\%;\ CO = 18{,}0\%;$$
$$CH_4 = 2{,}1\%;\ H_2 = 15{,}0\%;$$
$$N_2 = 52{,}9\%.$$

Низшая теплотворность газа 1135 *ккал/нм*^{3}; выход сухого газа 1,5 *нм*^{3}*/кг*.

Двухзонный газогенератор Украинского научно-исследовательского института местных видов топлива (фиг. 30). Газогенератор предназначается для газификации торфа; построен в Башкирии по проекту Украинского научно-исследовательского института местных видов топлива. В основу проекта положена конструкция двухзонного газогенератора, разработанная трестом „Подземгаз". Газогенератор предназначен для питания газом двигателя внутреннего сгорания мощностью в 70 *л. с.* Высота шахты без загрузочного приспособления 4900 *мм*, диаметр суженной части 650 *мм*. Бункер газогенератора *1* — цельнометаллический, с конденсационной камерой *2* и трубой для отсоса влаги из зоны подсушки. Камера газификации газогенератора *3* футерована кирпичом. Подвод воздуха в верхнюю зону газогенератора осуществляется через три ряда щелевых фурм *4*. В нижнюю зону воздух подводится через центральную трубу *5*. Общая высота активной зоны газогенератора составляет 2100 *мм*.



Фиг. 30. Двухзонный газогенератор для газификации торфа Украинского научно-исследовательского института местных видов топлива.

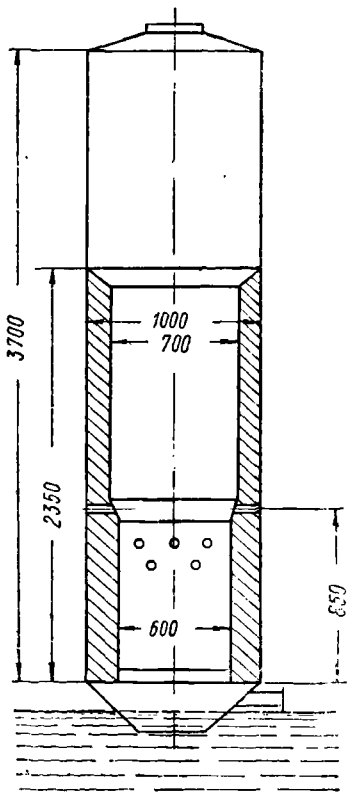
Отбор газа производится через щелевой пояс *6*, расположенный в нижней расширенной части нижней зоны прямого процесса.

При газификации торфа теплотворностью $Q'_н = 3290$ *ккал/кг* был получен следующий средний состав газа: $CO_2 = 11{,}3\%$;

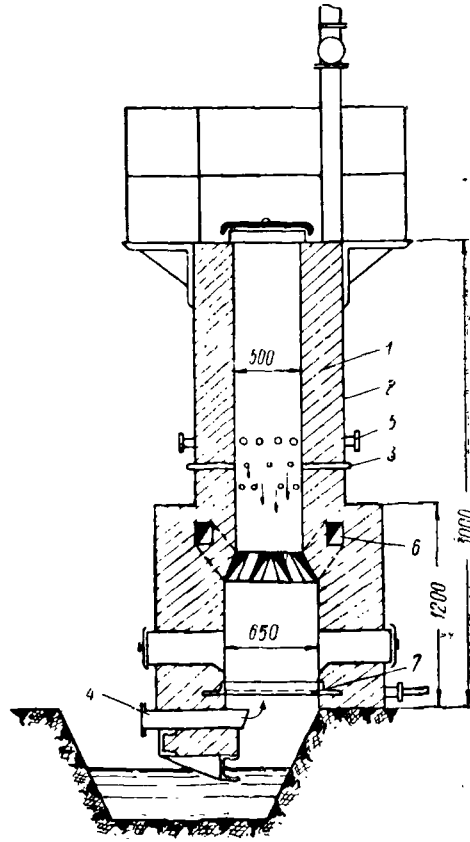
$O_2 = 0{,}2\%$; CO = 17,8%; $H_2 = 15{,}8\%$; $CH_4 = 1{,}8\%$; $H_2S = 0{,}07\%$; $N_2 = 53{,}03\%$.

Теплотворность газа составляет 1100 *ккал/нм*³. Потери топлива с уносом, провалом и золой составляют 1,72%.

Газогенератор Волынского Облмельтреста. На фиг. 31 приведена схема газогенератора обращенного процесса для газификации торфа. Установлен этот газогенератор на Кичаровской мельнице Волынской области УССР.



Фиг. 31. Газогенератор для газификации торфа Волынского облмельтреста.



Фиг. 32. Двухзонный газогенератор для газификации торфа Украинского научно-исследовательского института местных видов топлива.

Газогенератор обслуживает газовый горизонтальный одноцилиндровый двигатель мощностью в 50 *л. с.* при 220 об/мин.; работает на местном кусковом торфе зольностью $A_c = 10\%$ и влажностью W_p 40%.

Как видно из схемы, газогенератор очень прост по конструкции и представляет собой вертикальный металлический цилиндр общей высотою 3700 *мм*.

Внутри, на высоте 2350 *мм*, газогенератор выложен жароупорным кирпичом. Диаметр бункера газогенератора в верхней части составляет 1000 *мм*, затем в зоне кладки он уменьшается до 700 *мм*. Диаметр камеры газификации ниже фурм равен 600 *мм*.

При удельном расходе торфа 1,25 *кг/э. л.с.-час* средний часовой расход торфа составляет 62,5 *кг/час*, а интенсивность процесса около 220 *кг/м²-час*.

Воздух в камеру газификации подается через двадцать фурм диаметром 25 *мм*, расположенных в два ряда. Высота активной зоны газогенератора составляет 500 *мм*.

Зола и шлаки накапливаются на колосниковой решетке, откуда сбрасываются вручную в зольную яму с гидравлическим затвором.

Подобные газогенераторы для газификации торфа с двигателями мощностью 60 *л. с.* установлены еще на нескольких мельницах Волынской области.

Двухзонный газогенератор Украинского научно-исследовательского института местных видов топлива (фиг. 32). Газогенератор спроектирован для газификации торфа двигателю 2ГЧ мощностью в 45 *л. с.*

Шахта газогенератора *1* из кирпича, заключена в стальной сварной кожух *2*; в области фурм выложена жароупорным кирпичом. Общая высота шахты 3000 *мм*.

Подача воздуха в верхнюю зону осуществляется через три ряда фурм *3* диаметром 20 *мм*, по восемь фурм в ряду.

Подача воздуха в нижнюю зону происходит через трубу *4* диаметром 85 *мм*. Шуровка слоя производится через шуровочные отверстия *5*. Удаление золы и шлака осуществляется вручную, через трехвальную колосниковую решетку *7*, примерно через 1—1,2 часа работы.

Газ отводится через газоотборное кольцо *6*. Расстояние от газоотборного кольца до нижнего ряда фурм составляет 570 *мм*.

Подсушка торфа осуществляется в бункере путем естественного отсоса паров через трубу, которая используется и при розжиге газогенератора.

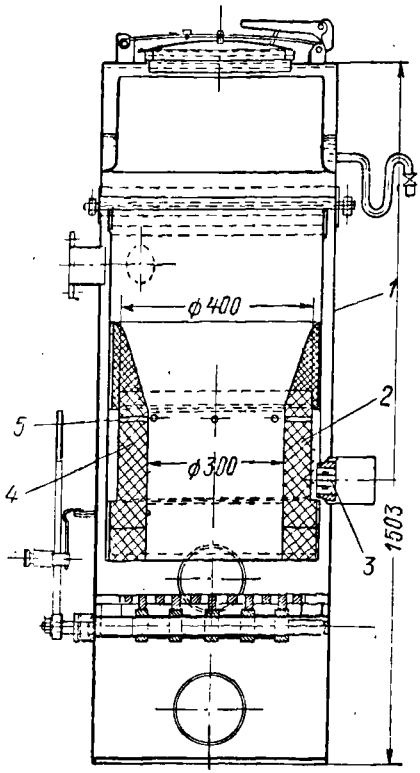
По данным института, газогенератор работает устойчиво при относительной влажности торфа до 25% и зольности до 18%.

Результаты испытаний газомоторной установки на куганском торфе со степенью разложения в 35%, зольностью 15—18% и влажностью 20—25% могут быть охарактеризованы следующим составом сухого газа: $CO = 17{,}2\%$; $CO_2 = 11{,}0\%$; $H_2 = 14{,}0$; $CH_4 = 2{,}0\%$; $C_nH_m = 0{,}2 \div 0{,}5\%$; $O_2 = 0{,}4 \div 0{,}8\%$.

Низшая теплотворность газа равна 1030 *ккал/нм³*. Выход сухого газа $1{,}8 \div 2{,}0$ *нм³/кг*; удельный расход сухого газа $2{,}2 \div 2{,}5$ *нм³/э. л. с.-час*; удельный расход торфа $1{,}20 \div 1{,}25$ *кг/э. л. с.-час*.

Расход газа двигателем мощностью 45 *л. с.* составляет $80 \div 90$ *нм³/час*. Расход торфа $54 \div 56$ *кг/час*; к. п. д. газогенератора равен 0,70; общий к. п. д. газомоторной установки равен 0,18.

Содержание смолы в газе выше среднего допустимого и составляет 0,11÷0,17 *г/нм*³, что является следствием недостаточной интенсивности процесса, которая в данном случае равна $55 \cdot 10^4$ *кккл/м*²-*час*.



Фиг. 33. Газогенератор Т20-1 Центрального научно-исследовательского института железнодорожного транспорта.

16. Газогенератор Т20—1 для газификации бурых углей

Газогенератор Т20—1 конструкции Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (фиг. 33) производительностью до 100 *нм*³/*час* предназначается для газификации бурых углей и древесных чурок.

Газогенератор имеет металлический кожух *1* с внутренней огнеупорной футеровкой *2*. Воздух, необходимый для газификации, поступает через футорку *3* во внутренний фурменный пояс *4*, где подогревается, и далее через шесть фурм *5* поступает в камеру газификации.

Газ отбирается над колосниковой решеткой и, поднимаясь вверх по кольцевому пространству между внутренней и наружной обичайками, охлаждается, отдавая часть тепла топливу.

В случае питания газом двигателя, воздух всасывается под действием разрежения, создаваемого двигателем; в случае обслуживания других потребителей воздух в газогенератор нагнетается вентилятором; этим же давлением газ транспортируется по трубопроводу к потребителю.

Газогенератор Т20—1 проверен в длительной эксплоатации на топливе влажностью 40—42%. Хорошей работе на влажном топливе способствует наличие конденсатоуловителя, из которого влага удаляется через V-образный патрубок в гидравлический затвор.

В этом газогенераторе можно газифицировать бурый уголь, жирный каменный уголь, торфяные брикеты, кусковой торф и древесные чурки. В случае газификации топлива с высоким содержанием летучих (дрова, торф) и в целях улучшения очистки газа от смолистых веществ путем сжигания их в рабочей камере, диаметр топливника уменьшается до 120 *мм*.

Газогенератор Т20—1 хорошо зарекомендовал себя в работе на

ряде железных дорог Советского Союза, обслуживая небольшие электростанции, обеспечивая газом двигатели от 15 до 40 *л. с.*

Основные средние показатели работы газогенератора следующие:

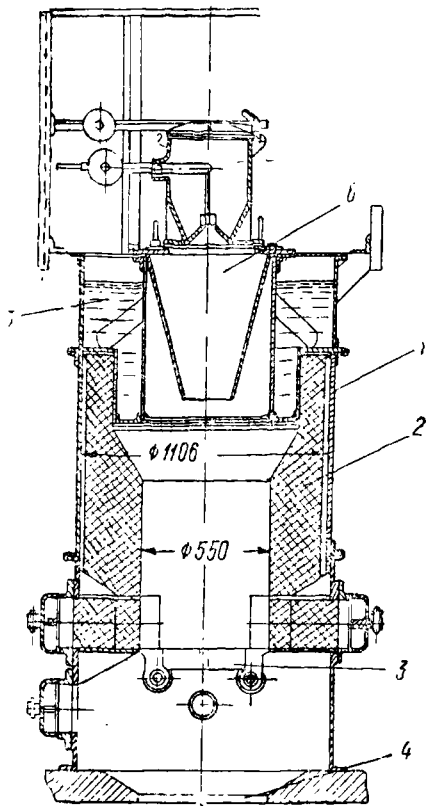
Влажность топлива	до 35%
Производительность	до 100 *нм³/час*
Максимальная интенсивность (считая на условное топливо)	до 335 *кг/м²·час*
Состав сухого газа в % CO_2	до 8
O_2	до 1
CO	20 ÷ 25
H_2	15 ÷ 10
CH_4	2 ÷ 1
Теплотворность газа	1100—1150 *ккал/нм³*
Расчетный удельный расход условного топлива	0,65 *кг/э. л. с.-час.*

17. Газогенераторы для газификации антрацита

Газогенератор ОГ-5. Газогенератор ОГ-5 для газификации антрацита создан Центральным научно-исследовательским дизельным институтом и предназначен для двигателя мощностью 45 *л. с.* Его производство осуществлялось на заводе имени 25-го Октября.

Газогенератор (фиг. 34) состоит из шахты *1*, футерованной огнеупорным кирпичом *2*, заключенным в железный кожух. В нижней части газогенератора установлена встряхивающаяся щелевая колосниковая решетка *3*, а под нею расположен зольник с гидравлическим затвором *4*.

В верхней части газогенератора имеется сварной испаритель *5* для производства пара за счет теплоты генераторного газа. Паровоздушная смесь образуется просасыванием воздуха через испаритель. Для регулирования температуры паровоздушной смеси в трубопроводе имеется тройник для подвода вторичного воздуха. Паровоздушная смесь подводится в газогенератор под колосниковую решетку.



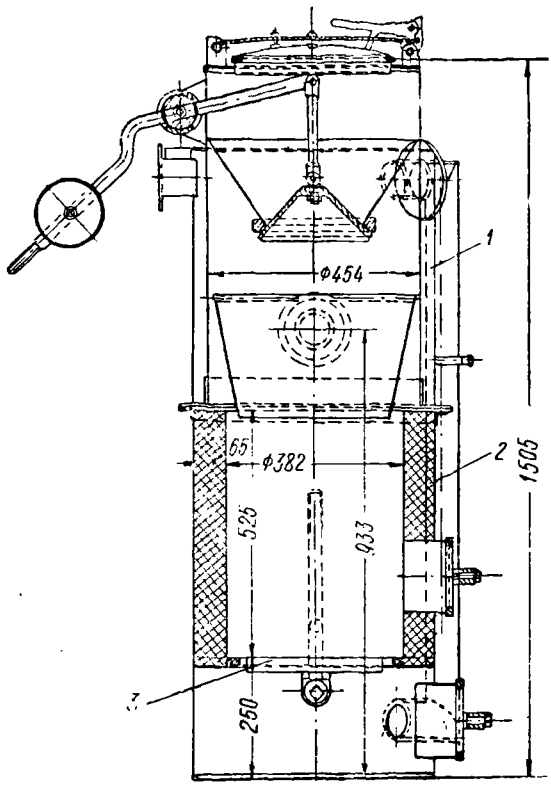
Фиг. 34. Газогенератор ОГ-5 для газификации антрацита конструкции Центрального научно-исследовательского дизельного института.

Топливозагрузочное устройство состоит из топливной воронки *6* с двумя затворами: нижний затвор — колокольного типа с рычагами и противовесом, верхний затвор — крышечного типа, тоже с рычагами и противовесом.

В качестве топлива для газификации употребляется донецкий антрацит марок АГ и АК, зольностью до 8%, с размером кусков в 25 ÷ 50 *мм* и содержанием серы до 2,5%

Интенсивность процесса газификации равна 115 *кг/м²-час*, что соответствует 800 тыс. *ккал/м²-час*.

Диаметр шахты газогенератора 550 *мм*. Удельная площадь шахты составляет 43 *см²/л. с.*



Фиг. 35. Газогенератор Т20-2 для газификации антрацита, коксика и шлакоотсева.

Производительность газогенератора по газу равна 120 *нм³/час*, а по топливу — 27,5 *кг/час*. Удельный расход антрацита 0,5 *кг/э. л. с.-час*. Расстояние от уровня топлива в газогенераторе до топливного конуса равно 100 *мм*. Высота газогенератора с площадкой равна 3100 *мм*, диаметр (внешний) без выступающих частей — 1106 *мм*.

Общий вес без футеровки равен 1500 *кг*, что дает удельный вес около 27 *кг/л. с.*

Во время испытаний на антраците с размерами 40 × 40 × 40 *мм* марки АК треста „Чистяковантрацит" был получен газ следующего

среднего состава: $CO = 18{,}21\%$; $H_2 = 12—15\%$; $CH_4 = 1{,}5—3{,}0\%$; $CO_2 = 5—7\%$; $O_2 = 0{,}2 \div 0{,}6\%$; $H_u = 1050—1200$ *ккал/нм³*.

Газогенератор Т20—2. Газогенератор прямого процесса газификации (фиг. 35) для антрацита, коксика и шлакоотсева спроектирован Всесоюзным научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта.

Шахта газогенератора — сварная, состоит из двух частей; верхней *1* и нижней *2*, соединенных болтами. Футеровка топливника выполнена тесаным огнеупорным кирпичом. Толщина футеровки 65 *мм*. Между огнеупорной футеровкой и наружной обичайкой топливника прокладывается асбест толщиною 10 *мм*. Колосниковая решетка *3* встряхивающегося типа. В длительной эксплоатации проверены сварные и литые чугунные решетки, показавшие удовлетворительные результаты; по продолжительности службы следует предпочитать литые колосники. Приводим основные средние показатели работы газогенератора:

Производительность газогенератора	до 75 *нм³/час*
Максимальная интенсивность (считая на условное топливо)	160 *кг/м²ч.с*
Состав сухого газа в %: CO_2	до 7
O_2	„ 1
CO	$20 \div 25$
H_2	15
CH_4	$1{,}5 \div 1$
Теплотворность газа	$1100 \div 1200$ *ккал/нм³*
Расчетный удельный расход условного топлива без учета розжига	0,65 *кг/э. л. с.-час.*

Газогенератор Т-24 Ростовского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. Конструкция широко распространенного в железнодорожном хозяйстве стационарного газогенератора Т-24 с гидравлическим затвором представлена на фиг. 36.

Предназначается этот газогенератор для газификации антрацита, кокса или хорошо отработанного сортированного шлакоотсева.

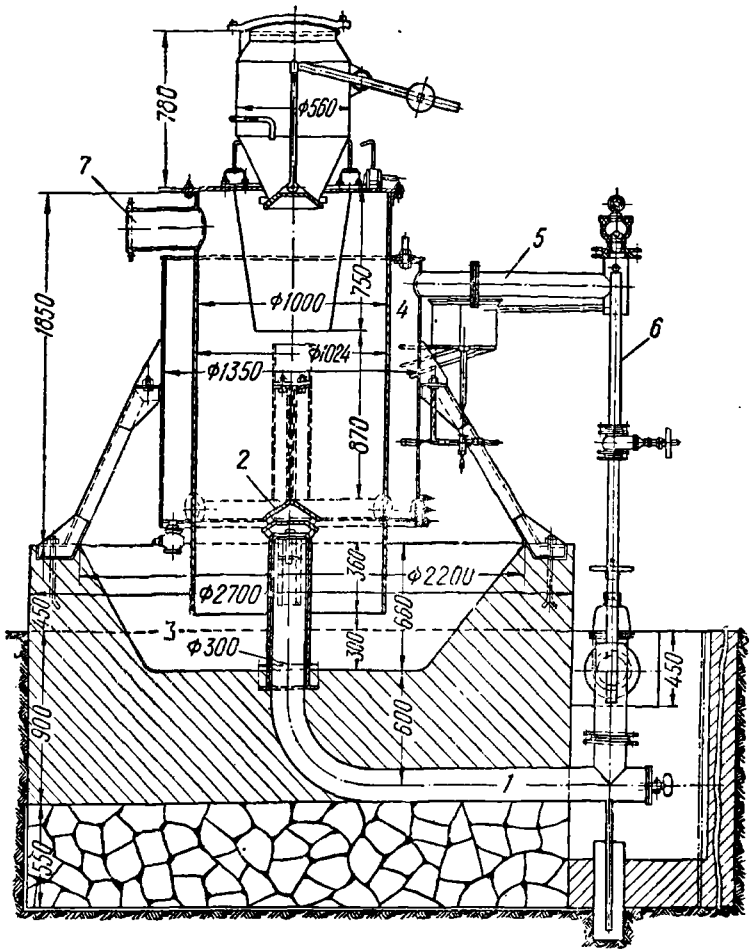
Газогенератор цельнометаллический, сварной. Основные обичайки изготовляются из листовой стали толщиною от 6 до 12 *мм*; внутренние стенки шахты рекомендуется изготовлять из стали толщиной 10—12 *мм*.

Воздух, необходимый для газификации, подается по трубе *1* в дутьевую головку-колосник *2* и оттуда поступает в рабочую шахту газогенератора. Колосниковая решетка в газогенераторе отсутствует. Равномерное распределение воздуха осуществляется слоем крупнозернистого шлака, который в начале розжига засыпается в газогенератор сверху. Для сбора золы и шлаков служит ванна-затвор *3*.

Необходимый для газификации пар получается в пароводяной рубашке *4*. По трубе *5* и стояку с регулирующими клапанами *6* пар подается в трубу *1*. Отвод газов осуществляется через патрубок *7*.

Уровень воды в паровоздушной рубашке при помощи поплавко-

вой камеры устанавливается неизменным, максимальная высота слоя топлива при помощи конуса поддерживается также постоянной, создавая таким образом благоприятные условия для образования почти постоянного количества пара. Предохранительный клапан регулируется



Фиг. 36. Газогенератор Т-24 для газификации антрацита Ростовского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта.

на давление 0,5—0,6 *ата*; избыток пара выпускается в атмосферу; количество пара, поступающего на газификацию, контролируется температурой паровоздушной смеси и регулируется задвижкой.

Дутьевая головка отливается из обычного серого чугуна; загрузочная коробка и бункер иногда также выполняются в виде литой конструкции, однако в последние годы успешно применяются сварные стальные бункеры.

Основные расчетные показатели газогенератора Т-24 для внутрен-

него диаметра шахты в 1000 *мм* и производительности до 600 *нм³/час* следующие:

Топливо	донецкий антрацит марок АС и АМ с размером кусков 6 ÷ 25 *мм*
Содержание мелочи (меньше 6 *мм*)	до 14%
Содержание золы в рабочем топливе	„ 12%
Теплотворность рабочего топлива (низшая рабочая)	6580 *ккал/кг*
Интенсивность процесса газификации (форсировка)	до 185 *кг/м²-час*
Производительность по топливу	145 *кг/час*
Производительность по сухому газу	595 *нм³/час*
Температура паровоздушной смеси	55—60° С
Расход воздуха	2,84 *нм³/кг*
Высота слоя топлива в генераторе	0,85 *м*
Выход газа	4,1 *нм³/кг*
Теплотворность газа, высшая	1195 *ккал/нм³*
Теплотворность сухого газа, низшая	1133 *ккал/нм³*
Давление паровоздушного дутья	170 *мм* вод. ст.
Давление газа на выходе из газогенератора	75 „ „ „
Температура газа на выходе из газогенератора	400° С
Расход воды в охлаждающем кожухе с учетом 15% расхода на продувки	167 *кг/час*
Давление пара в кожухе (максимум)	0,6 *ата*
К. п. д.	70,8%

Газогенератор Полтаво-Брединской ЦЭС. В 1941 году на Полтаво-Брединской ЦЭС было установлено несколько газогенераторов для питания газом двигателей. Газогенератор этого типа представлен на фиг. 37.

Шахта газогенератора *1* состоит из цилиндрического стального кожуха, футерованного огнеупорным кирпичом.

Внутренний диаметр шахты 1160 *мм*. Колосниковая решетка *2* — плоская, неподвижная. Над решеткой расположены два люка для очистки газогенератора и два люка под решеткой — для очистки зольника. На расстоянии 0,84 *м* от решетки, на боковой поверхности шахты устроены шуровочные отверстия *3*. В верхней, расширенной до 1,16 *м* части шахты, на расстоянии 1,3 *м* от плоскости решетки установлен газоотводный патрубок *4*. Загрузочная коробка *5* снабжена нижним конусным затвором и верхней крышкой с гидрозатвором. Нижняя часть загрузочной коробки опущена внутрь шахты газогенератора в виде юбки диаметром 0,7 *м* и высотой 0,45 *м*. Нижняя кромка юбки расположена на расстоянии 1,25 *м* от плоскости колосниковой решетки.

При работе на прокопьевском угле теплотворность газа получается в пределах 1200—1460 *ккал/нм³* при следующем среднем составе: $CO_2 = 6{,}3\%$; $CO = 24{,}5\%$; $H_2 = 14{,}6\%$; $CH_4 = 2{,}2\%$.

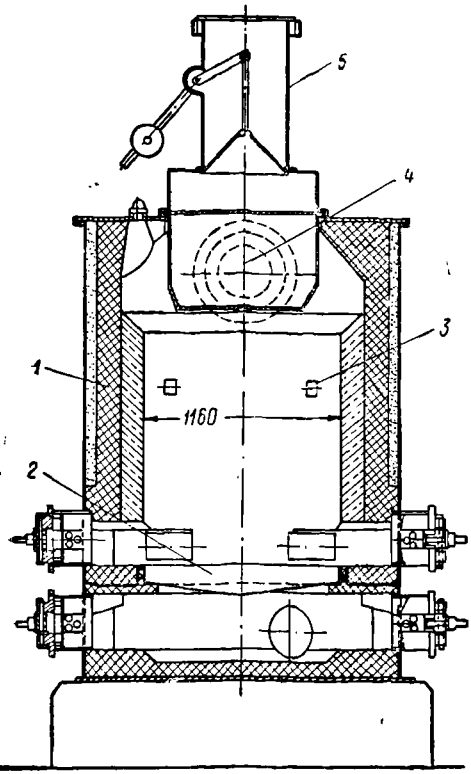
При газификации коксовой мелочи был получен газ следующего состава: $CO_2 = 6.1\%$; $CO = 27{,}2\%$; $H_2 = 14{,}1\%$; $CH_4 = 0{,}47$ при теплотворности 1225 *ккал/нм³*.

Средняя производительность газогенератора установлена около 100 *кг/час*, что соответствует интенсивности процесса 145 *кг/м²-час*.

Газогенератор МССЗ-1 (Московского судостроительно-судоремонтного завода). На речных судах в Советском Союзе устанавливаются

газогенераторы небольшой мощности, газифицирующие антрацит. Эти судовые газогенераторы могут быть отнесены к типу передвижных газогенераторов.

На фиг. 38 приведена схема подобного газогенератора прямого процесса МССЗ-1. Шахта газогенератора *1* — металлическая, с общей высотой 2220 *мм*. Наружный диаметр газогенератора равен 732 *мм*.



Фиг. 37. Газогенератор Полтаво-Брединской ЦЭС.

Топливо—антрацит в газогенератор загружается через двойной затвор *2* колокольного типа. В верхней части газогенератора расположен испаритель *3*, через который поступает воздух для газификации топлива. Колосниковая решетка *4* — качающаяся, с ножовыми колосниками. В зольнике газогенератора расположены два люка *5*. Защита стенок нижней части шахты газогенератора от воздействия высоких температур осуществлена шамотной набивкой на металлические ребра шахты.

Полумеханизированный газогенератор ВНИИТ. В 1939 г. Восточным институтом топливоиспользования была создана типовая конструкция индивидуального полумеханизированного газогенератора с диаметром шахты в 1000 *мм* (фиг. 39), при максимальной высоте слоя 1200 *мм*.

Шахта газогенератора опирается на четыре стальные сварные колонны, установленные на общем фундаменте. Уровень рабочей площадки над полом газогенераторной станины составляет 3,0 *м* Вращение чаши газогенератора производится от мотора мощностью. 1,5 *квт* при 1500 об/мин. через червячный редуктор с передаточным числом $i = 1 : 34$, эксцентриковую тягу, храповик, храповое колесо и закрепленный на одном валу с ним червяк. Последний сцепляется с зубчатым ободом поддона, имеющим 114 зубцов. Привод позволяет, путем изменения расстояния между цапфами и храповиком, изменять число оборотов чаши от 1 до 3 оборотов в час. Общая компоновка привода чаши показана на фиг. 40.

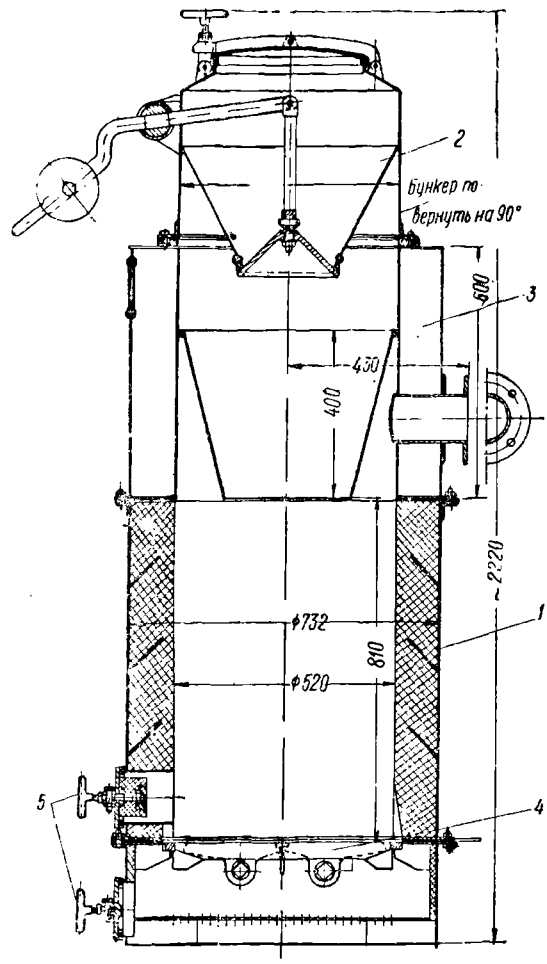
Приведем некоторые данные эксплоатации газогенератора на

кольчугинском угле марки Д крупностью $20 \div 50$ *мм*, $W_р = 10{,}4\%$, $A_с = 10{,}4\%$ и $V^с = 34{,}6\%$ при следующем режиме:

Высота слоя топлива	500 *мм*
Высота зольной подушки	40—250 *мм*
Давление паровоздушной смеси	280 *мм* вод. ст.
Давление газа на выходе	114 *мм* вод. ст.
Температура паровоздушной смеси	43° С
Температура газа на выходе из генератора	625° С.

В этих условиях получался газ следующего среднего состава: $CO_2 = 5{,}5\%$; $O_2 = 0{,}3\%$; $CO = 23{,}5\%$; $H_2 = 12{,}3$; $CH_4 = 2{,}1\%$ с теплотворностью 1230 *ккал/нм*³.

При средней интенсивности процесса в 250 *кг/м²-час*, в отдельных сменах — при работе на просеянном угле интенсивность повышалась до 425 *кг/м²-час*, теплотворность газа увеличивалась до $1400 \div 1500$ *ккал/нм*³.



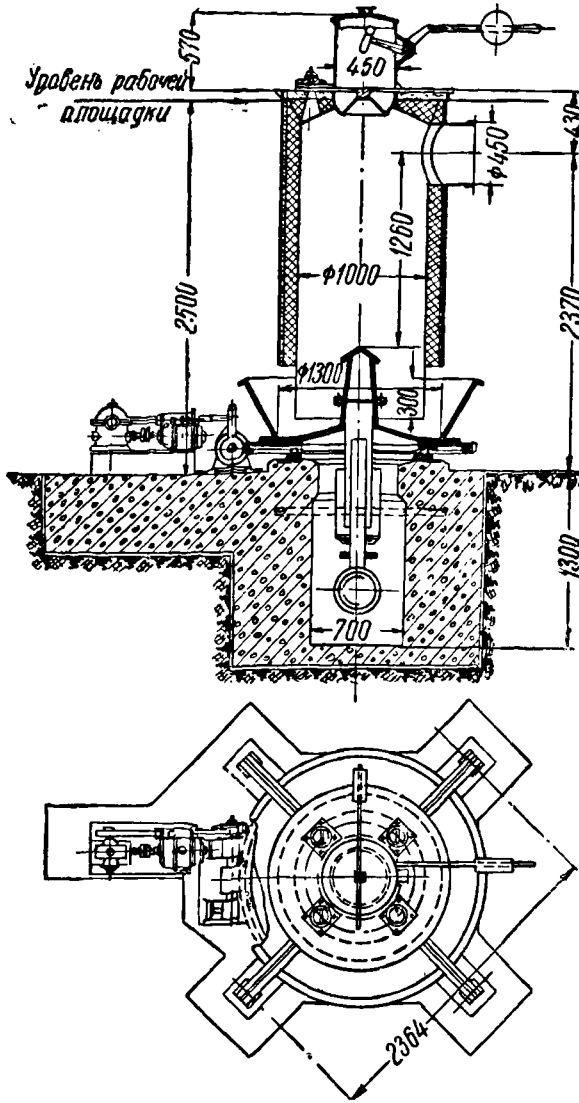
Фиг. 38. Газогенератор МССЗ-1.

18. Газогенераторы для газификации растительных отходов

Газификацию растительных отходов для получения силового газа, по ряду присущих им особенностей, следует рассматривать как самостоятельную отрасль газогенераторной техники. База ее — растительные отходы — до недавнего времени чрезвычайно слабо использовались в качестве энергетического сырья.

Наиболее полное теоретическое освещение и практическое развитие эта отрасль получила в Советском Союзе в последние десять лет, значительно опередив зарубежные страны.

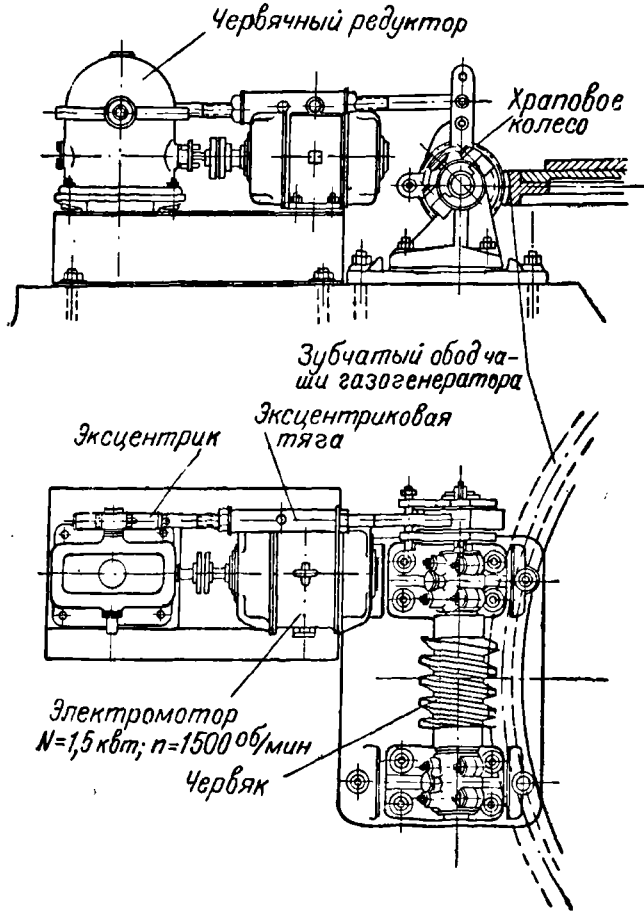
Пионером газификации растительных отходов в СССР является проф. Д. Л. Тагеев. Ему принадлежит первая работа по газификации соломы.



Фиг. 39. Схема типового полумеханизированного газогенератора ВНИИТ.

Большие исследовательские работы по газификации растительных отходов на Украине и в Сибире были проведены автором, и в Ленинградском политехническом институте — Г. В. Мельниковым. Аналогичные работы были развернуты также в ВИЭСХ, Энергетическом

институте Академии наук СССР, Институте энергетики Академии наук УССР и в Центральном научно-исследовательском дизельном институте.



Фиг. 40. Компоновка привода чаши газогенератора.

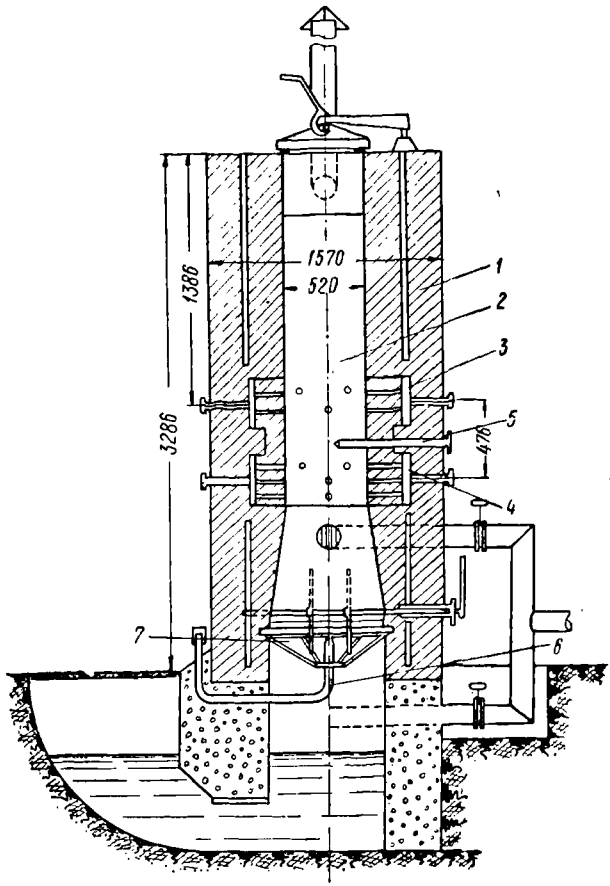
Пути развития этой отрасли техники и ее внедрение в народное хозяйство отражены в приводимых ниже наиболее характерных конструкциях газогенераторов.

Двухзонный газогенератор К-10 для газификации соломы, полыни и опада древесного листа. Газогенераторная установка с таким газогенератором для двигателя в 20 *л. с.* была построена в 1942 г. в Сибирском учебно-опытном хозяйстве по проекту автора.

Солома и полынь перед загрузкой в шахту газогенератора предварительно или резрезалась (длина резки 10—12 *см*) или собиралась

в пучки (пакеты), причем производилось ручное прессование в простом станке на размер, соответствующий сечению шахты газогенератора.

Кизяк газифицировался в кирпичах, а древесная листва — свободной насыпью.

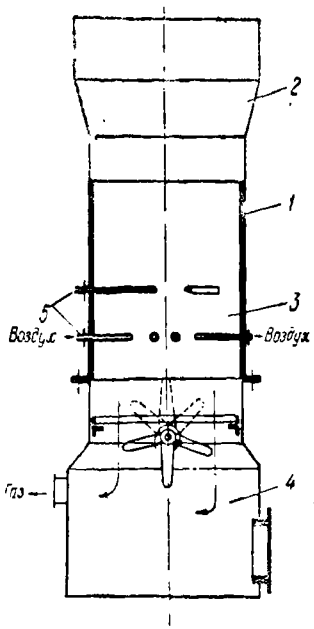


Фиг. 41. Двухзонный газогенератор К-10 для газификации соломы, полыни, кизяка и опада древесного листа.

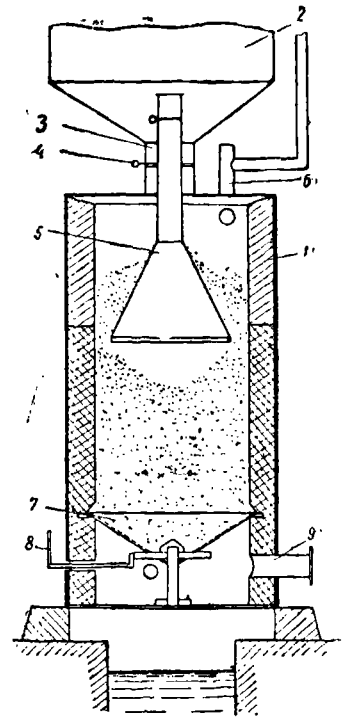
На фиг. 41 приведена схема газогенератора. Шахта газогенератора *1* выполнена из кирпичной кладки. Сечение шахты 520 × × 520 *мм*. Общая высота газогенератора 3988 *мм*. Камера газификации газогенератора *2* состоит из трех частей: верхнего периферийного воздушного пояса *3* с 16 фурмами диаметром 10 *мм*, расположенными в два ряда, нижнего периферийного пояса *4* с 16 фурмами, расположенными в три ряда, и боковой центральной трубы *5* с 13 соплами.

Боковая фурма употребляется в случае работы на растительных отходах малой зернистости (типа костры). Таким образом, камера имеет 45 точек подвода воздуха в слой, из них 13 — центральных и 32 — периферийных. Общая высота камеры — 816 *мм*.

В случае работы по двухзонному процессу подача воздуха в нижнюю часть газогенератора происходит через центральную фурму *6*.



Фиг. 42. Газогенератор для газификации соломы-сечки Центрального научно-исследовательского дизельного института.



Фиг. 43. Газогенератор для газификации мякины.

Колосниковая решетка *7* газогенератора неподвижная, имеет форму обратного конуса и установлена в нижней расширяющейся части шахты. Площадь колосниковой решетки — 5160 *см*^{2}; живое сечение составляет 60%. Золоудаление ручное и осуществляется посредством пальцев, установленных на валу золосбрасывателя. Пальцы при круговом вращении вала золосбрасывателя осуществляют и шуровку слоя около газоотборной решетки. Зола с колосников собирается на дне гидравлического затвора.

Общий полезный объем шахты газогенератора 0,936 *м*^{3}, в том числе: бункер 0,386 *м*^{3}; камера газификации 0,23 *м*^{3}; объем зоны восстановления 0,32 *м*^{3}. Соотношение между объемами камеры газификации и зоны восстановления 1 : 1,4. Расчетная тепловая напряженность процесса установлена в 500 тыс. *ккал*/*м*^{2}*час*.

В период государственных испытаний установки с двигателем У-5 (в 1943 г.) получены следующие показатели:

Устойчивая мощность двигателя на тормозе . . . 21 *л. с.*
Удельный расход топлива при относительной влажности 12% (солома и полынь) . . . . . 1,53 *кг/э. л. с.-час*
Средняя теплотворность газа . . . . . 1080—1100 *ккал/нм*^{3}.

Газогенератор обращенного процесса для газификации соломы-сечки Цеитрального научно-исследовательского дизельного института. По своим практическим результатам большой интерес представляют работы по газификации соломы-сечки, проводимые Центральным научно-исследовательским дизельным институтом. В результате этих работ был предложен метод газификации соломы-сечки в свободно-насыпном слое и разработана конструкция газогенератора для народного хозяйства. В авторском свидетельстве № 77735 предмет изобретения сформулирован следующим образом: „Газогенератор обращенного процесса для газификации соломы, отличающийся тем, что с целью проведения газификации в слое естественной насыпи без предварительного уплотнения или прессования соломы применено большое количество различных углубленных в слой периферийных воздухоподводящих фурм, расположенных в средней части газогенератора".

Газогенератор (фиг. 42) состоит из металлического цилиндрического корпуса *1*. Верхняя часть представляет воронку *2* для загрузки соломы-сечки, средняя часть является камерой газификации *3*, а нижняя часть представляет собой зольник *4* для сбора очаговых остатков. В камере газификации установлены фурмы *5* различной длины с большим количеством сопел, обеспечивающих образование в слое газифицируемой соломы-сечки так называемой воздушно-газовой решетки, которая дает возможность достаточно полно разрешить вопрос крекирования смол при сравнительно низком тепловом режиме в целом. Это показывает, что борьба со смолами может вестись не только изменением конфигурации камеры, приводящей к изменению площади ее поперечного сечения, но и методом насыщения слоя топлива воздухом.

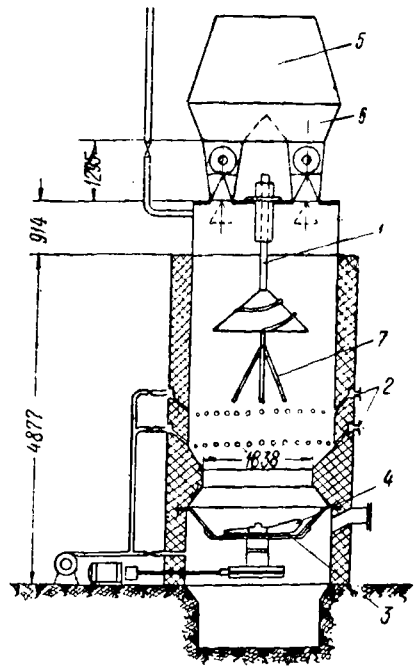
Средний состав газа, получаемый при газификации соломы-сечки при относительной влажности 5—6%, следующий: $CO_2 = 13{,}3\%$, $O_2 = 0{,}2\%$; $CO = 15{,}4\%$; $H_2 = 14{,}8\%$; $CH_4 = 3{,}2\%$; $C_nH_m = 0{,}1\%$; $N_2 = 53{,}0\%$. Теплотворность газа равна 1120 *ккал/нм*^{3}.

Результаты производственной работы газомоторных установок в сельском хозяйстве показали их большую экономичность. Удельный расход соломы составил в среднем $1{,}15 \div 1{,}20$ *кг/э. л. с-час*. Удельный расход соломы на 1 *т* обмолоченного зерна лежал в пределах 14 — 17 *кг/т* (в среднем — 15 *кг/т*). Этот удельный расход по отношению к общему количеству выдаваемой молотилкой соломы составлял всего 1 — 1,5%. Следует указать, что сельскохозяйственный локомобиль типа 4-ЛП-20 с соломотопкой имеет удельный расход соломы 5 — 6 *кг/э. л. с.-час*, а удельный расход соломы по отношению к обмолоченному зерну составляет 60 — 150 *кг/т*.

На основании ряда проведенных испытаний следует, что коэффициент полезного действия локомобиля колеблется от 4,14 до 2,72%, в то время как газомоторная установка с газогенератором для газификации соломы имеет к. п. д. не ниже 13 — 14%.

Приведенные данные показывают, что газомоторная установка с газогенератором для газификации соломы в 4 — 6 раз экономичнее сельскохозяйственного локомобиля. Это определяет важность широкого использования газогенераторных установок на соломе для механизации и электрификации социалистического сельского хозяйства.

Газогенератор для газификации мякины. Для газификации топлив типа мякины — рыхлой массы с малым насыпным весом — находят применение газогенераторы обращенного процесса; схема одного из них приведена на фиг. 43.



Фиг. 44. Механизированный газогенератор для газификации кукурузных и хлопковых отходов и древесных опилок.

Газогенератор представляет собой цилиндрическую шахту *1* с шамотной обмуровкой. В верхней ее части установлен бункер для запаса топлива *2* и питательный рукав *3* с задвижкой *4*, которой регулируется количество поступающего в газогенератор топлива. Воздух, необходимый для газификации, подается в газогенератор посредством конической трубы *5*. Как видно из схемы, расширенная часть этой трубы покрывает почти 80% площади шахты. Топливо, поступая из питательного рукава в бункер газогенератора, скользит по конической поверхности воздухоподающей трубы, проходит через кольцевое пространство между трубой и стенкой шахты газогенератора и оседает в виде обратного конуса под расширенной частью воздухоподводящей трубы.

Эта часть слоя топлива является кислородной зоной газогенератора, непрерывное питание которой свежим топливом происходит за счет притока топлива из кольцевого пространства. Такая система питания слоя воздухом особо применима для рыхлых топлив, где фурменный подвод сопряжен с преодолением трудностей свободного движения топлива по шахте, достаточно равномерного распределения воздуха в слое и борьбы с прогарами.

Топливо, лежащее на достаточно нагретой металлической поверхности конуса, проходит предварительную подсушку. Пары

влаги удаляются через трубу *6*, установленную в верхней части бункера газогенератора.

Очаговые остатки, накапливаясь на колосниковой решетке *7*, имеющей форму корзины, удаляются в приямок посредством встряхивания или вращения решетки с помощью привода *8*.

Газ из подколосникового пространства отсасывается трубой *9* и поступает на очистку и охлаждение.

Газогенератор для газификации кукурузных и хлопковых отходов и древесных опилок. На фиг. 44 дана схема газогенератора большой производительности для получения силового газа из кукурузных и хлопковых отходов и древесных опилок. Газогенератор обращенного процесса газификации с комбинированной подачей воздуха через центральную трубу *1* и два ряда периферийных фурм *2*. Решетка газогенератора имеет подвижную и неподвижную части. Неподвижная часть состоит из плоского решетчатого днища *3*, а подвижная—из двухлопастного неравнобокого скребка-золосбрасывателя *4*.

Розжиг газогенератора осуществляется вентилятором. Топливо из главного складочного бункера подается транспортером в бункер *5*, откуда по двум рукавам *6* поступает в газогенератор.

Разравнивание и разрыхление слоя осуществляется центральным вращающимся механизмом *7*. Верхняя его часть, благодаря кулачковому механизму, имеет круговое движение и вертикальное перемещение.

Нижняя часть производит рыхление слоя посредством пальцев-рыхлителей, имеющих пневматический привод. Указанный механизм управления слоем топлива характерен для газификации растительных отходов, так как содействует значительному выравниванию процесса и его устойчивости.

Растительные отходы в указанном газогенераторе газифицируются с влажностью 15—20%, имея среднюю теплотворность 3600 *ккал/кг*.

Производительность газогенератора составляет 1450 *нм*^{3}*/час*. Если считать выход газа с 1 *кг* отходов около 3 *нм*^{3}, то в переводе на топливо производительность газогенератора составляет около 480 *кг/час*.

Интенсивность процесса газификации равна 190 *кг/час* или примерно 680 тыс. *ккал/м*^{2}*-час*.

19. Газогенераторы для газификации пылевидного и мелкозернистого топлива

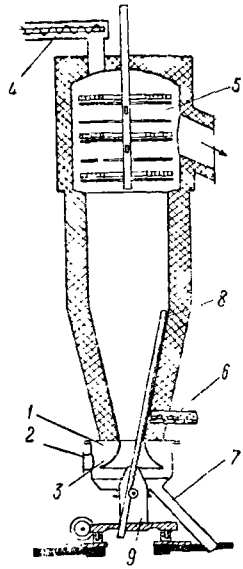
Среди газогенераторов, обеспечивающих силовым газом двигатели внутреннего сгорания и газовые турбины, еще не нашли широкого распространения новые конструкции, предназначенные для газификации пылевидного и мелкозернистого топлива.

Это объясняется прежде всего трудностями газификации такого топлива и сравнительной сложностью созданных агрегатов, исключающих массовое их применение.

В Советском Союзе работы в указанной области определены пятью направлениями: газификация пыли, газификация мелкозернистого топлива во „взвешенном" слое, газификация „в кипящем"

слое, газификация в прессованном газопроницаемом слое и газификация в свободно-насыпном слое методом воздушно-газовой решетки.

Газогенератор ВНИГИ для газификации во взвешенном слое. Метод газификации топлива во взвешенном слое был разработан Институтом газа и искусственного жидкого топлива (ВНИГИ). Газогенератор для осуществления этого процесса представляет собой вертикальную шахту диаметром 1,1 *м* и высотой 4,3 *м* (фиг. 45), выложенную огнеупорным кирпичом и заключенную в стальной кожух. Верхняя часть шахты — цилиндрическая, нижняя — коническая. Высота сужающейся части шахты 2 *м*; наиболее узкое место внизу шахты имеет диаметр 245 *мм*. Коническая часть соединяется снизу с диффузором, окруженным зольной коробкой *7*, в которую подведено дутье. Воздух, подаваемый в дутьевую камеру через патрубок *2*, поступает в коническую часть через диффузор *3*.



Фиг. 45. Газогенератор ВНИГИ для газификации во взвешенном слое.

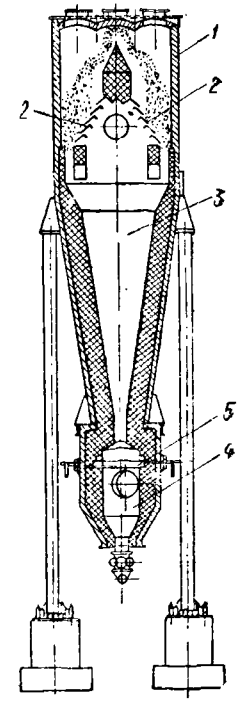
Топливо величиною зерна 10 *мм* из бункера шнеком *4* подается на тарельчатый аппарат *5*, предназначенный для подсушки и частичного швелевания.

Тарелки приводятся в движение вертикальным валом и при помощи скребков пересыпают топливо с верхней тарелки на нижнюю, ускоряя процесс подсушки.

Увлеченные из газогенератора с газовым потоком мелкие несгоревшие частицы топлива собираются в специальном мультициклоне (на рисунке не показан) и, возвращаясь посредством шнека *6* в коническую часть шахты, газифицируются в процессе полета вверх по оси шахты газогенератора.

Некоторая часть золы удаляется из газогенератора вместе с газом, отяжелевшие же частицы золы (шлаки) выпадают из потока, попадая на охлаждаемое дно дутьевой камеры и отсюда через патрубок *7* направляются в гидравлический затвор.

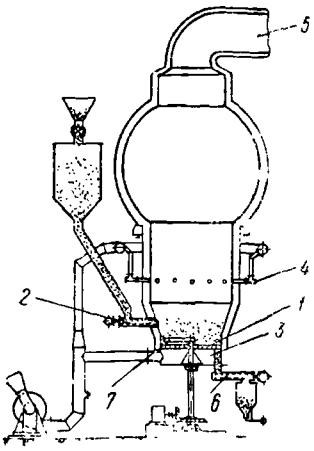
Частицы оплавленной золы, оседающие на шамотной стенке конуса, удаляются штангой *8*. Эта штанга, посредством привода, скрытого во вращающейся тумбе *9*, может вдвигаться в конусную часть шахты на желаемую высоту.



Фиг. 46. Газогенератор ЛФИ для газификации во взвешенном слое.

Характерными особенностями газогенератора ВНИГИ являются: наличие аппарата для подсушки топлива, расположенного внутри газогенератора, возврат уноса и газификация во взвешенном слое.

Газогенератор ЛФИ для газификации во взвешенном слое. Принцип ВНИГИ был использован в конструкции газогенератора ЛФИ (Ленинградский филиал Института торфа) для газификации фрезерного торфа.



Фиг. 47. Газогенератор для газификации в „кипящем" слое.

Газогенератор ЛФИ (фиг. 46) состоит из прямоугольной камеры подсушки *1*, в которой фрезерный торф лежит на двух ступенчатых колосниковых решетках *2*. Под этой камерой находится диффузор *3* прямоугольного сечения, в котором располагается взвешенный слой газифицируемого топлива. Низ диффузора соединен с дутьевой камерой *4*, куда подается дутье. В камере установлена колосниковая решетка *5* со скребками, которые предназначены для сбрасывания шлака с решетки в нижнюю часть камеры, где шлак гранулируется путем обрызгивания водой и откуда удаляется гидравлическим путем.

В камеру подготовки торф подается питателем, установленным над газогенератором. Подготовленное топливо сбрасывается в диффузор двумя питателями, установленными у основания наклонных колосниковых решеток.

Газогенератор для газификации в кипящем слое. Схема газогенератора для газификации топлива в кипящем слое приведена на фиг. 47.

Шахта газогенератора — цилиндрическая, футерована огнеупорным кирпичом. Общая толщина футеровки и изоляционного слоя составляет 440 *мм*; толщина стенки железного кожуха 10 *мм*.

В нижней части шахты газогенератора установлена колосниковая решетка *1*, живое сечение которой зависит от производительности газогенератора.

Топливо размером 0,5 *мм* посредством шнека *2* подается непрерывно в нижнюю часть шахты на расстоянии 0,5 *м* от плоскости колосников. Дутье (воздух или парокислородная смесь) подводится в двух местах: в дутьевую камеру *3*, расположенную под колосниками (первичное дутье), и через систему сопел *4* — непосредственно в шахту. Вторичное дутье в объеме 15—25% от общего подводится на расстоянии 5 ÷ 5,5 *м* над колосниками с таким расчетом, чтобы обеспечить скорости потока в 2 — 3 *м/сек* (считая на полное сечение шахты).

Угольная пыль, благодаря интенсивному „кипению" слоя, выносится из слоя в надслойное пространство газогенератора и здесь до-

жигается вторичным воздухом. Газ отводится из газогенератора по трубе *5* через верх шахты.

Основная часть золы уносится с газом; оплавившиеся отдельные частицы золы и топлива выпадают на колосники и оттуда удаляются через специальные отверстия в карманы *6* вращающимся брусом *7*.

В газогенераторе с кипящим слоем нет зонального процесса, характерного для газогенератора с неподвижным слоем топлива.

Летучие вещества, выделяющиеся из топлива в кипящем слое, частично сгорают и крекируются, в результате чего газ не содержит смол.

Унос газифицируется вторичным воздухом в значительном объеме верхнего пространства, рассчитанном на 7—10-секундное пребывание газо-пыле-воздушной смеси.

20. Газогенераторные установки малой мощности

В разнообразных отраслях народного хозяйства СССР в большом количестве применяются двигатели внутреннего сгорания небольшой мощности (примерно в 10 *л. с.*). Такие двигатели используются в сельском хозяйстве, на строительствах, на экспедиционных работах, в горном деле и на различных участках культурного строительства (сельские радиоузлы, кинопередвижки и др.).

Для всех перечисленных областей применения маломощных двигателей вопрос о замене жидкого топлива твердым местным топливом приобретает большое хозяйственное значение.

Условия работы малолитражного генератора, предназначенного для производства силового газа, несколько отличны от условий работы газогенераторов большой производительности. Эти условия определяются:

а) небольшим объемом шахты;

б) небольшой высотой;

в) более высокими теплопотерями в окружающую среду, вызванными необходимостью значительного облегчения веса газогенератора и уменьшения веса теплоизолирующих элементов.

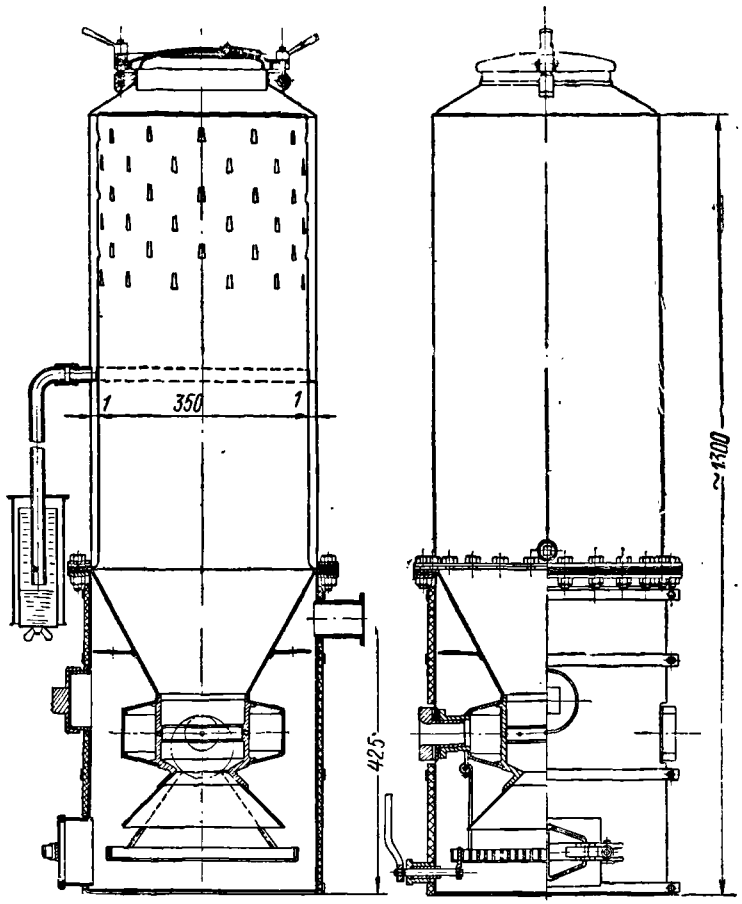
Наличие этих условий определяет стремление использовать в качестве топлива для малолитражных газогенераторов в первую очередь небитуминозные его виды, как древесный уголь, антрацит, кокс и т. п.

Однако не следует делать заключения о непригодности в этих условиях древесины и торфа, которые во всех случаях остаются основными видами местного твердого топлива для газификации.

Газогенератор ВД-7 для газификации древесины. Генератор ВД-7 конструкции инж. К. А. Введенского для двигателя Л-6/2 мощностью 4 *л. с.* является одним из первых отечественных малолитражных газогенераторов и предназначен для газификации древесных чурок размером $40 \times 15 \times 15$ *мм*.

Общий вид газогенератора приведен на фиг. 48. Газогенератор обращенного процесса представляет собой металлический цилиндр

диаметром 350 *мм* и высотою 1300 *мм*. Бункер газогенератора образован двумя цилиндрами — наружным и внутренним. Диаметр камеры газификации равен 130 *мм*; интенсивность процесса равна 600 *кг/м² час*.



Фиг. 48. Газогенератор ВД-7.

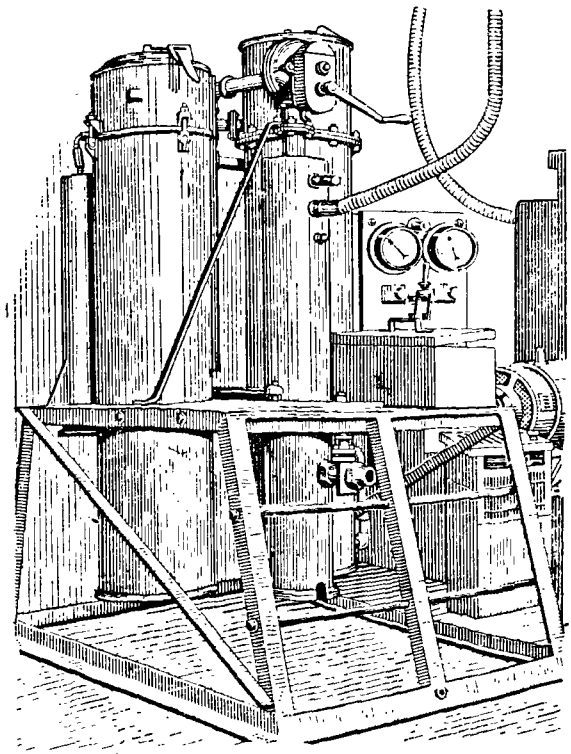
Общий вес передвижной газогенераторной установки слагается из следующих элементов:

Газогенератор в сборе	44,3 *кг*
Три охладителя в сборе	23,3 „
Газоочиститель в сборе	14,2 „
Рама установки	15,2 „
Итого . . .	97,0 *кг*

Удельный вес установки равен 24,2 *кг/л. с.* Расход топлива при мощности в 4 *л. с.* составляет 1,46 *кг*. С понижением нагрузки расход возрастает и при мощности в 2 *л. с.* составляет 2,4 *кг*.

На фиг. 49 приведен общий вид газогенераторной установки ВД-8 для питания газом электроагрегата АЛ-6/2, состоящего из двигателя Л-6/2 и динамомашины постоянного тока (тип ПН-28,5) мощностью в 3 *квт*.

Газогенераторная установка смонтирована на раме отдельно от двигателя и состоит из газогенератора обращенного процесса, газо-



Фиг. 49. Общий вид газогенераториой установки ВД-8.

очистителя комбинированного типа — циклона и скруббера с цилиндрическими кольцами, орошаемых водой от циркуляционной системы, каплеуловителя, ручного вентилятора розжига и газгольдера.

Газогенератор НИКФИ. Газогенератор НИКФИ разработан для питания газом двигателя Л-3/2, спаренного с электрогенератором в 0,75 *квт*, и предназначен для обслуживания сельских кинопередвижек.

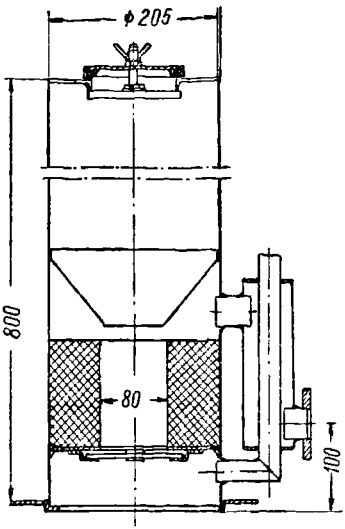
Газогенератор прямого процесса; газифицирует древесный уголь. Продолжительность работы газогенератора на одной заправке—4,5 часа. Вертикальный разрез газогенератора приведен на фиг. 50.

Процесс газификации протекает с присадкой воды, которая через специальное капельное устройство подается в водяной патрубок.

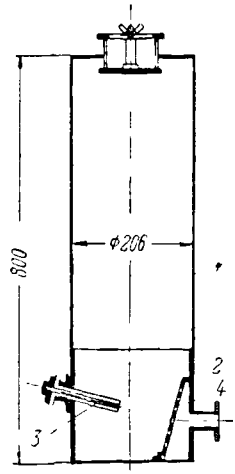
Итоги испытания этой установки с двигателем Л-3/2 показали достаточно устойчивую работу всей системы.

Газогенератор горизонтального процесса для газификации древесного угля. Схема газогенератора этого типа приведена на фиг. 51. Охлаждение газа осуществляется в охладителе батарейно-трубчатого типа, очистка — металлическими кольцами.

Бункер газогенератора *1* изготовлен из листовой стали толщиною 1 *мм*. Топливная камера *2* изготовлена из стали толщиною 2,5—3 *мм* Необходимость установки здесь жаростойких элементов отпадает, так как процесс газификации осуществляется на коротком участке — от фурмы *3* до решетки *4*, а слой угля достаточно надежно предо-



Фиг. 50. Газогенератор НИКФИ.



Фиг. 51. Газогенератор горизонтального процесса для древесного угля.

храняет стенки камеры от воздействия высоких температур. Температура стенок камеры редко превышает 100° С. Фурма, через которую засасывается воздух, имеет специальное устройство для охлаждения проточной водой, что в значительной степени удлиняет срок ее службы. Зольная решетка расположена перед патрубком отбора газа.

Газогенератор указанного типа надежен и устойчив в работе, однако пригоден он только для газификации бессмольного топлива.

Газогенератор ГРУ-3 для газификации древесного угля. Газогенератор создан в 1943 г. в системе Народного комиссариата связи и предназначен для кинотеатров. Схема его приведена на фиг. 52.

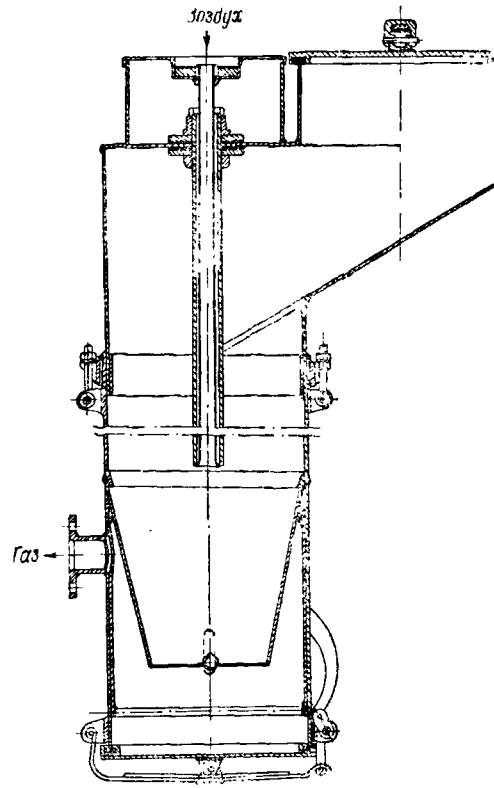
Газогенератор — цельнометаллический, с вынесенным в сторону бункером для топлива.

Воздух в камеру газификации подается вентиляционной фурмой, представляющей тонкостенную стальную трубку диаметром 12 *мм*. Во избежание обгорания фурма помещена в водяную рубашку, вода в которую поступает из бака, установленного в горловине загрузочного люка.

На фиг. 53 приведена общая схема газогенераторной установки, состоящая из газогенератора, двух трубчатых очистителей грубой очистки газа и тонкого фильтра.

В более поздних конструкциях этой газогенераторной установки матерчатый фильтр заменен масляным.

Газогенераторная установка при испытаниях показала надежную работоспособность и рекомендована для использования в передвижных установках с потребляемой мощностью не выше 0,75 *квт*.



Фиг. 52. Газогенератор ГРУ-3.

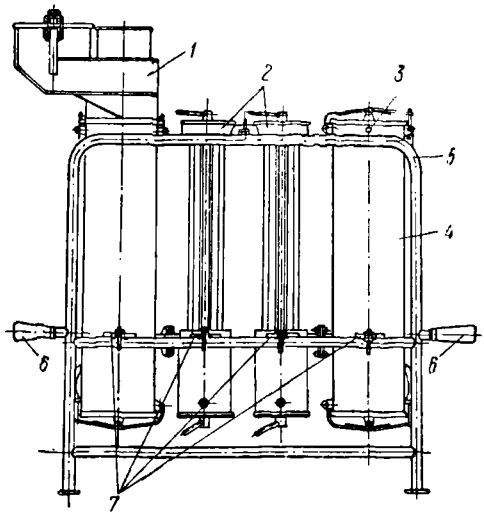
Газогенератор ГКП-2Ш для газификации древесного угля. Газогенератор горизонтального процесса; создан Управлением кинофикации при Московском областном совете депутатов трудящихся для работы в киносети с двигателями мощностью от 3 до 5 *л. с.*

Газогенератор ГКП-2Ш (фиг. 54) представляет собой металлический цилиндр высотою 985 *мм* и диаметром 300 *мм*. Воздух в камеру газификации поступает через фурму, представляющую отрезок трубы диаметром 12,7 *мм* с комбинированной внутренней втулкой диаметром 8 *мм*.

Газогенератор переносный и монтируется на легкой сварной раме из труб диаметром $^1/_2$''. В комплект газогенераторной установки входят газогенератор и охладитель-очиститель. Продолжительность работы установки с двигателем Л-3/2 на одной заправке составляет 4 часа.

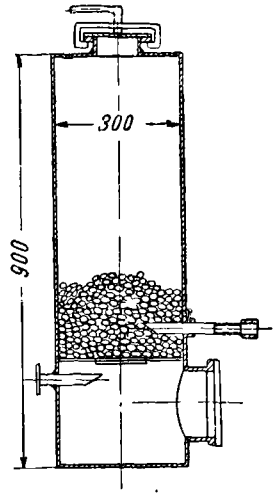
Испытания установки ГКП-2Ш дали вполне удовлетворительные результаты; установка обеспечивала устойчивую мощность электростанции в 750 *вт*. При испытаниях было рекомендовано улучшить качество очистки газа установкой масляного или матерчатого фильтра.

Газогенератор ВАР-2 для газификации древесного угля. На фиг. 55 приведены газогенератор и общая схема газомоторной установки для двухтактных двигателей типа Л-300 и ИЖ-7-8, созданная В. А. Радзиховским. Установка состоит из газогенератора, охладителя и газоочистителя.

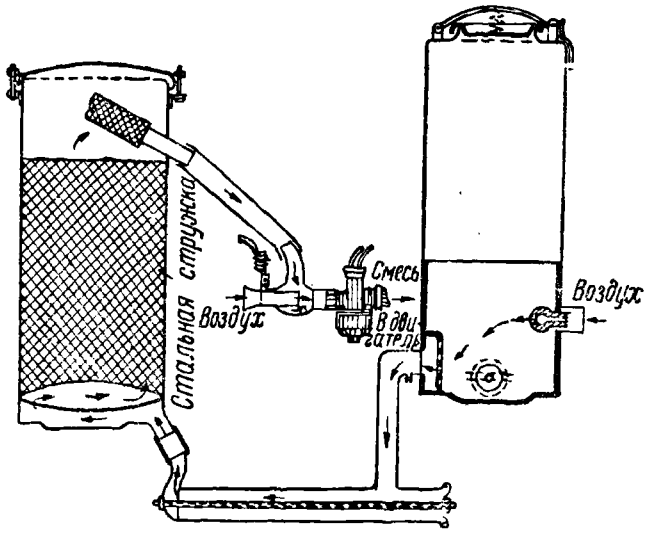


Фиг. 53. Переносная газогенераторная установка ГРУ-3 для газификации древесного угля:

1 —газогенератор; *2* — охладители; *3* — газоотборный патрубок; *4* — очиститель; *5*—рама; *6* — ручки для переноса; *7* — лапы для крепления.

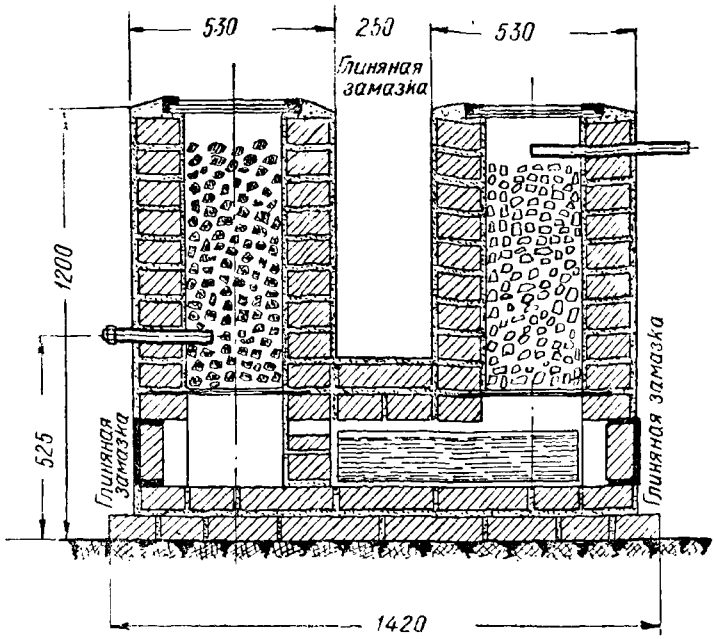


Фиг. 54. Газогенератор ГКП-2Ш.



Фиг. 55. Газогенераторная установка ВАР-2.

Газогенератор горизонтального процесса газификации. Его диаметр 220 *мм*; высота 500 *мм*. Емкость 5 *кг* угля при величине кусков 30 *мм*. Воздухоподводящая фурма имеет несколько отверстий. Охладитель газа, являющийся и первичным охладителем, представляет собой тонкостенную стальную трубу диаметром 45 *мм*, длиною



Фиг. 56. Керамическая газогенераторная установка НИКФИ.

415 *мм*. Очиститель газа — цилиндр диаметром 220 *мм*, высотой 535 *мм*, заполненный металлической стружкой.

Степень сжатия двигателя увеличена с 4,5 до 6,5, а угол опережения зажигания увеличен до 10°. Сопротивление установки при полном открытии дросселя с полной нагрузкой составляет всего 10—20 *мм* рт. ст.; на прикрытом дросселе и холостом ходу — 60—70 *мм* рт. ст. Продолжительность розжига газогенератора, включая перевод двигателя на газ, занимает 4—6 мин.

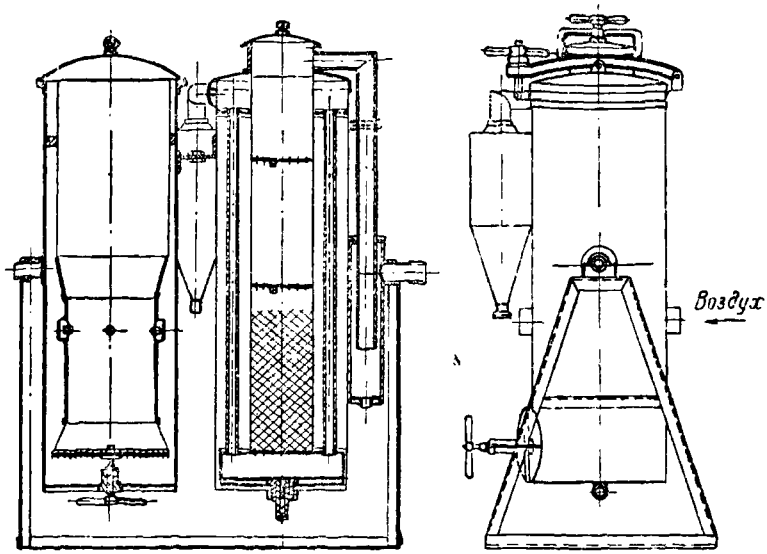
Керамическая газогенераторная установка НИКФИ для газификации древесного угля. Наравне с практикой строительства сравнительно мощных газогенераторных установок из местных материалов, стремление максимально использовать местные материалы нашло отражение и в деле создания газогенераторных установок малого литража. Установка такого типа приведена на фиг. 56. Вся установка представляет собой один кирпичный блок, состоящий из газогенератора горизонтального процесса газификации и охладителя-очистителя с коробом, заполненным водой и слоем цилиндрических колец.

Испытания этой газогенераторной установки показали следующие результаты:

1) вполне стабильная работа электростанции в течение более трех часов на одной загрузке;

2) температура газа, подаваемого к смесителю, только на 3—5° С выше температуры окружающего воздуха (в металлических газогенераторах этот период установлен в 15—20° С);

3) мощность, развиваемая электростанцией, составляет 900 *вт*;



Фиг. 57. Газогенераторная установка для газификации бурого угля Узбекского управления кинофикации.

4) колебания напряжения, частоты и мощности находятся в допустимых пределах;

5) система очистки вполне удовлетворительная.

Газогенератор для газификации бурых углей. Узбекским управлением кинофикации для обслуживания передвижных и стационарных киноустановок создана газогенераторная установка для газификации среднеазиатских бурых углей. Газогенератор обращенного процесса и при одной заправке, обслуживая двигатель Л-3/2, работает 3,5—4 часа. Охладитель батарейно-трубчатого типа с водяной рубашкой. Грубая очистка газа осуществляется в циклоне, тонкая —цилиндрическими кольцами или другими материалами, например, волокнистым материалом растительного происхождения. На фиг. 57 приведена схема такой газогенераторной установки.

Газогенератор рассчитан на непрерывную работу в течение 3,5—4 час. при средней мощности электростанции 650 *вт*. Топливо — бурые угли Сулюктинского и Кокянгакского месторождений. Расход топлива 1,7 *кг/час*. Величина зерна топлива $15 \div 25$ *мм*.

ГЛАВА VI

ОХЛАЖДЕНИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

Газ, выходящий из газогенератора, обладает температурой в пределах 500—700° С.

В целях увеличения весового количества засасываемой рабочей смеси в двигатель, в газомоторных установках газ необходимо охлаждать до возможно более низкой температуры.

Процесс охлаждения газа сопровождается его очисткой от твердых уносов и конденсацией находящихся в нем паров воды и кислот. Особенно активно протекает процесс очистки газа от пыли при водяном охлаждении.

Охлаждение газа является в то же время одним из самых простых и дешевых способов его осушки.

В газомоторных установках, в зависимости от их типа и условий работы, применяются две основные группы охладителей: поверхностные воздушные охладители и скрубберы, в которых охлаждение происходит при непосредственном соприкосновении воды и газа.

21. Поверхностные воздушные охладители

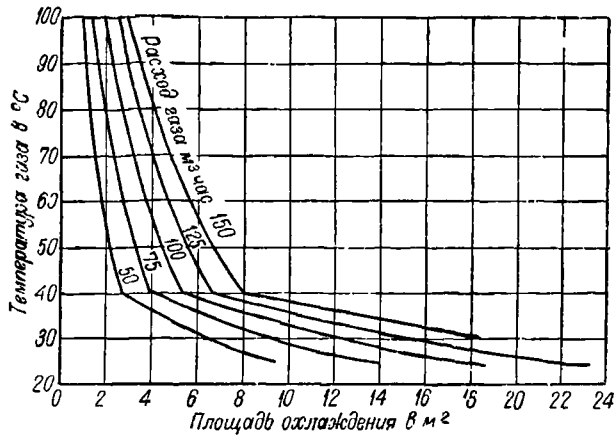
Поверхностные воздушные охладители газа разделяются на трубчато-батарейные и радиаторные.

Трубчато-батарейные воздушные охладители газа состоят из полых металлических труб или сваренных из стали цилиндров или коробов с перфорированными перегородками для очистки газа от уносов.

Охладители радиаторного типа представляют собой трубчатые змеевики, устанавливаемые чаще всего перед водяными радиаторами двигателей; охлаждение осуществляется потоками воздуха, отсасываемого вентилятором двигателя. Чаще всего охладители этого типа применяются на транспортных и на легких перевозных газомоторных установках. Радиаторные охладители бывают сухие и с водяным барботажем; в последнем случае газ, помимо охлаждения, интенсивно очищается от твердого уноса.

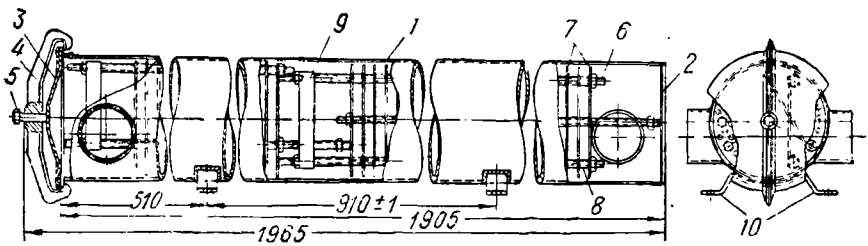
В поверхностных охладителях степень охлаждения газа зависит главным образом от величины поверхности теплообмена и скорости обтекающего воздуха. Зависимость температуры газа от площади охлаждения при различных расходах газа приведена на фиг. 58.

Трубчато-батарейный охладитель. Каждая секция охладителя (фиг. 59) состоит из корпуса круглого сечения и крышки *3* с запорной скобой *4*. Внутри каждой секции установлен собранный на четырех стержнях пакет перфорированных металлических перегородок, служащих для очистки газа от механического уноса.



Фиг. 58. Зависимость температуры газа от площади охлаждения при различных расходах (точка росы 40° С; коэффициент теплопередачи 14; температура окружающей среды 20° С: условия — стационарные),

Подобными охладителями снабжались первые советские автотракторные газогенераторные установки и мотовозные установки. В настоящее время такие охладители иногда применяются в стационарных условиях.

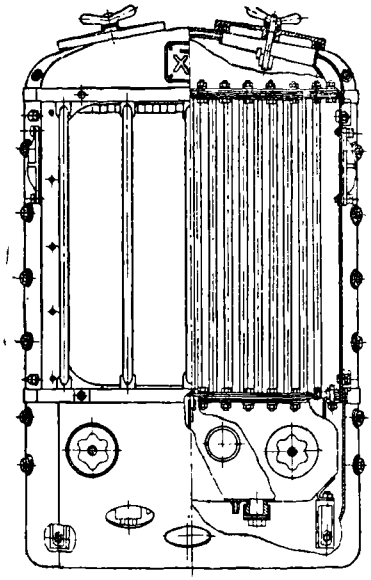


Фиг. 59. Секция трубчато-батарейного охладителя:

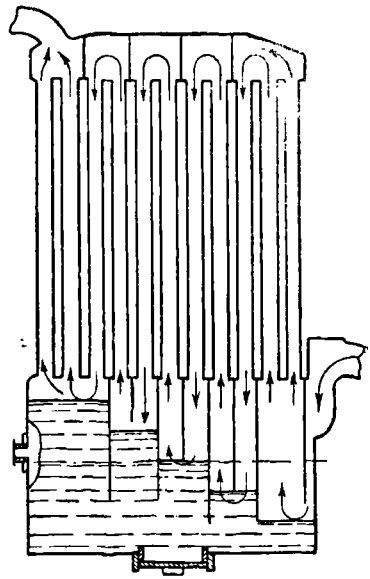
1 — корпус; *2* — днище; *3* — крышка; *4* — скоба крепления крышки; *5* — нажимной болт; *6* — стержни; *7* — диски; *8* — распорные трубки; *9* — рукоятка; *10* — лапки крепления.

Радиаторный охладитель сухого типа. На фиг. 60 приведен общий вид радиаторного сухого охладителя типа ХТЗ. Верхний бак охладителя изготовлен из листовой стали толщиною 1,5 *мм* и снабжен двумя горловинами для промывки охладителя. Нижний бак выполнен сварным и разделен перегородкой на две половины. Плоские трубы охладителя вварены в опорные пластины нижнего и верхнего баков охладителей.

Газ входит в правую секцию нижнего бака охладителя, поднимается по трубкам, расположенным справа от перегородки, в верхний бак, откуда по трубкам, расположенным слева от перегордки, опускается в левую часть нижнего бака и выходит из охладителя через выходной патрубок. Кроме охлаждения, в охладителе происходит очистка газа от пыли. Для радиаторных охладителей, при скорости прохода



Фиг. 60. Общий вид радиаторного сухого охладителя типа ХТЗ.



Фиг. 61. Схема радиаторного охладителя-очистителя с водяным барботажем.

воздуха до 10—15 *м/сек*, удельная площадь охлаждения ориентировочно принимается 0,03—0,04 $м^2/л.\ с.$

Радиаторный охладитель-очиститель с водяным барботажем. На фиг. 61 приведен общий вид радиаторного охладителя-очистителя с водяным барботажем, созданного заводом имени И. В. Сталина для газогенераторного автомобиля ЗИС-41. Охладитель представляет собой змеевик, нижняя часть которого состоит из коробки с жидкостью. Поток газа проходит последовательно по десяти овальным трубкам сечением 34×170 *мм*.

В подводящей трубе и первой короткой перегородке сделаны отверстия для того, чтобы при малых отборах газа и постоянном количестве жидкости, уровень которой поддерживается обратным клапаном, прохождение газа было спокойным. Расстояние от уровня конденсата до места, определяющего начало поворота газа, постепенно увеличивается; последний отсек осуществляет функции каплеуловителя.

Старая установка ЗИС-13 имела охладители трубчато-батарейного типа, причем их общая поверхность равнялась 8 $м^2$. Приведенная

конструкция охладителя радиаторного типа имеет поверхность охлаждения 2 $м^2$. При испытании температура газа на входе в радиатор составляла 220° С, а на выходе 50° С.

Основы расчета поверхностных воздушных охладителей генераторного газа. Охлаждение генераторного газа, проходящего через трубы или змеевики воздушных охладителей, осуществляется за счет теплопроводности, конвекции и лучеиспускания.

Количество газа $Q_г$, проходящее через охладительную систему в 1 час, можно определить, зная выход газа из 1 *кг* топлива E и часовой расход топлива $G_{час}$:

$$Q_г = \frac{E \cdot G_{час}}{22{,}4} \; кг\text{-}моль. \qquad (100)$$

При охлаждении газа от температуры t_1 до температуры t_2 количество отведенного тепла будет равно

$$Q_{охл} = \left(CO \cdot C_p^{CO} + CO_2 \cdot C_p^{CO_2} + H_2 \cdot C_p^{H_2} + CH_4 \cdot C_p^{CH_4} + N_2 \cdot C_p^{N_2} + \right.$$

$$\left. + \frac{W_{tr}^{пар}}{18} \cdot C_p^{H_2O}\right) \cdot (t_1 - t_2) + (W^{пар} - W_{t_г}^{пар}) \times$$

$$\times \left[600 - t_2 + \frac{C_p^{H_2O}}{18} \cdot (t_1 - 100)\right] \; ккал, \qquad (101)$$

где CO, CO_2, H_2, CH_4 N_2 — компоненты генераторного газа; C_p^{CO}, $C_p^{CO_2}$, $C_p^{H_2}$, $C_p^{CH_4}$, $C_p^{N_2}$, $C_p^{H_2O}$ — средние молекулярные теплоемкости в интервале температур от 0° до t° С (табл. 25); $W^{пар}$ — количество влаги, содержащейся в газе по выходе из газогенератора, в *кг/нм*³; $W_{t_г}^{пар}$ — количество влаги, насыщающей часовой объем газа, при температуре газа $t_г$, в *кг/нм*³.

Таблица 25

Средние теплоемкости одной граммолекулы газа между 0° и t° С

Температура в °С	C_p^{CO}, $C_p^{O_2}$, $C_p^{H_2}$, $C_p^{N_2}$	$C_p^{H_2O}$	$C_p^{CO_2}$
0		8,16	8,67
100		8,29	9,20
300		8,45	10,00
500	6,98 + 0,000266 t	8,59	10,58
700		8,75	10,97
900		8,89	11,28
1000		9,00	11,43

Примечание. Теплоемкость метана определяется по формуле

$$C_p^{CH_4} = 7{,}7 + 0{,}008\, t.$$

После подсчета величины $Q_{охл}$ поверхность охладителя определяется по следующей формуле:

$$F = \frac{Q_{охл}}{k\left(\frac{t_1 - t_2}{2} + \frac{t_1^в + t_2^в}{2}\right)} \text{ м}^2, \qquad (102)$$

где t_1 и t_2 — начальная и конечная температура газа, проходящего охладитель;

$t_1^в$ и $t_2^в$ — температура стенок охладителя до прохода газа и при установившемся движении газа через охладитель;

k — общий коэффициент теплопередачи от газа к воздуху в *ккал/м² час* °С.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2 + a_3} + \frac{\delta}{\lambda}}. \qquad (103)$$

Здесь a_1 — коэффициент теплоотдачи путем конвекции и теплопроводности от газа к стенке охладителя в *ккал/м²·час·*°С;

a_2 — коэффициент теплоотдачи путем конвекции и теплопроводности от стенок охладителя воздуху в *ккал/м²·час·*°С;

a_3 — коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием от охладителя в окружающую среду в *ккал/м²·час·*°С;

δ — толщина стенки охладителя в *м*;

λ — коэффициент теплопроводности стенки в *ккал/м²·час·*°С.

Определение коэффициентов теплоотдачи от газа к стенке и от стенки к воздуху можно произвести по следующим формулам:

$$a_1 = 2 + 10\sqrt{v_г}; \qquad (104)$$

$$a_2 = 2 + 10\sqrt{v_в}; \qquad (105)$$

$$a_3 = \frac{c\left\{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right\}}{t_1 - t_в}, \qquad (106)$$

где $v_г$ — скорость движения газа в охладителе в *м/сек*;

$v_в$ — скорость движения охлаждающего воздуха в *м/сек*[1];

c — постоянная лучеиспускания охладителя; $c = 4$ *ккал/м²·час·*°С

t_1 — температура наружной стенки охладителя;

---

[1] При обдуве охладителя воздухом производительность вентилятора можно определить по уравнению

$$L_в = \gamma\pi(R^2 - r^2)\, nbz\eta_в \cdot 60\sqrt{\sin\theta \cdot \cos\theta} \quad кг/час,$$

где γ — удельный вес воздуха; $\gamma = 1{,}293$ *кг/нм³*;

n — число оборотов вентилятора в минуту;

$\eta_в$ — коэффициент, учитывающий сопротивление при выходе воздуха из-под капота двигателя;

R и r — внешний и внутренний радиусы крыльчатки в *м*:

b — ширина лопатки в *м*;

z — число лопастей;

θ — угол наклона лопастей по отношению к направлению воздушного потока.

t_2 — температура предметов, окружающих двигатель;
$t_в$ — температура воздуха;
T_1 — абсолютная температура наружной стенки охладителя, равная $273° + t_1$;
T_2 — абсолютная температура предметов, окружающих охладитель, равная $273° + t_2$.

Если в системе воздушного охладителя предусматривается барботаж газа через воду, то при его расчете принимают, что тепло, отданное газом, расходуется только на испарение воды, газ полностью насыщается водяным паром, температура воды и теплосодержание газа остаются практически постоянными.

Искомая температура t_x, до которой охладится газ, и количество g_2 воды, которое при этом испарится, определятся из следующего выражения:

$$(Q_г \cdot C_г + g_г \cdot C_1)(t_1 - t_x) = g_2 [r + C_1 (t_x - t_в)], \qquad (107)$$

где $Q_г = 1$ *м*³ — объем сухого газа;
$C_г = 0{,}32$ *ккал/м*³ °С — средняя объемная теплоемкость газа;
$g_г$ — первоначальное влагосодержание газа в *кг/м*³;
$C_1 = 0{,}466$ *ккал/кг* — средняя теплоемкость насыщенного водяного пара;
$r = 580{,}1$ *ккал/кг* — теплота испарения воды;
t_1 и t_b — температура входящего газа в воды.

22. Скрубберы

Наиболее распространенным устройством для охлаждения газа в стационарных газомоторных установках являются скрубберы, в которых газ подводится снизу, а вода сверху. Охлаждение газа в скруббере происходит непосредственно на поверхности соприкосновения воды и газа. Кроме охлаждения генераторного газа, в скруббере происходит и его очистка от механических примесей и некоторых вредных газовых примесей.

По способу образования поверхности соприкосновения газа и воды скрубберы можно разделить на два вида: скрубберы с насадкой (заполнением) и скрубберы без насадки.

В виде насадки используются кокс, металлические и фарфоровые кольца.

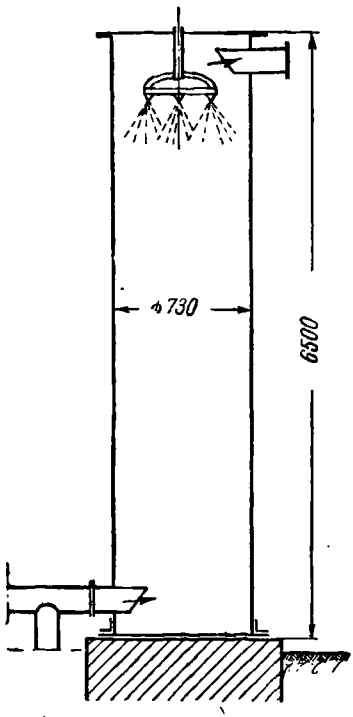
Так как в скрубберах с насадкой основную роль в распределении воды по сечению скруббера, а также в создании поверхности соприкосновения воды и газа играет насадка, то здесь не требуется тонкого распыления воды. Поэтому в таких скрубберах устанавливают брызгала простейшего типа: сита, чашечные брызгала, желоба и тонкие распылители.

Простота изготовления скрубберов, несложность ухода за ними, достаточно высокое качество их работы являются преимуществами установки скрубберов при наличии воды.

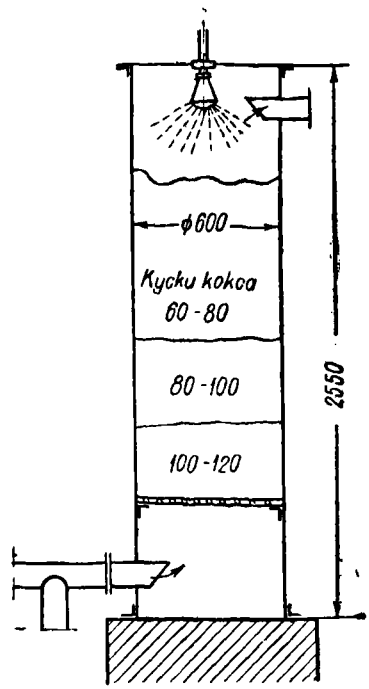
Скруббер без насадки. Простейшим типом скруббера является безнасадочный скруббер, в котором поверхность охлаждения создается

поверхностью капель воды. При этом поверхность охлаждения достигает 100 $м^2$ и выше на единицу объема скруббера.

На фиг. 62 приведена схема безнасадочного скруббера к двигателю 300 *л. с.*, в котором распыление воды производится тремя форсунками. Величина капель воды может регулироваться от 1 до 0,1 *мм* давлением, количеством воды, а также конструкцией головки форсунки. В скрубберах наблюдается унос с газами значительного количества капель воды. Уменьшение уноса может быть достигнуто умень-



Фиг. 62. Схема безнасадочного скруббера.



Фиг. 63. Схема скруббера с коксовой насадкой.

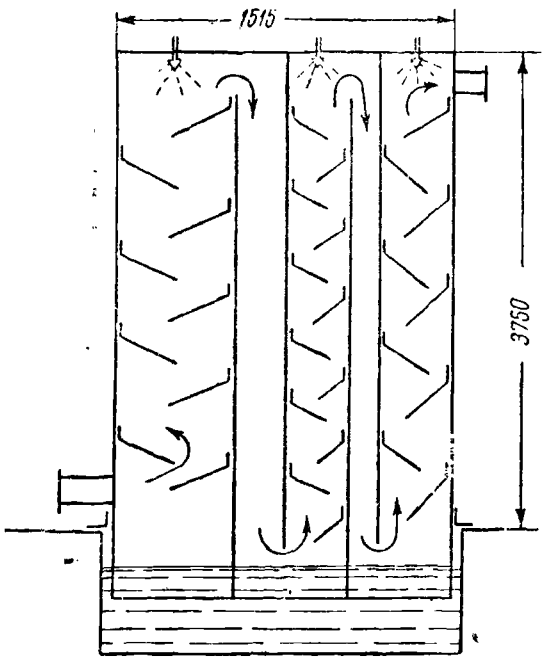
шением скоростей газа при выходе из скруббера и установкой задерживающих устройств-каплеуловителей.

Скруббер с коксовой насадкой. На фиг. 63 приведена схема скруббера с коксовой насадкой для установки с двигателем мощностью 50 *л. с.* Скруббер состоит из металлического сварного цилиндра, внутри которого на расстоянии 400 *мм* от днища установлена деревянная или металлическая решетка для удержания насадки и стока вод. В верхней части скруббера установлена лейка.

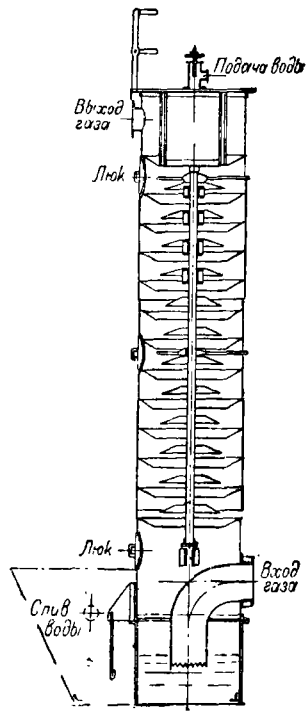
По сравнению с безнасадочными скрубберами, скрубберы с коксовой насадкой или с цилиндрическими кольцами могут иметь высоту в 2—3 раза меньшую, но создаваемые ими сопротивления значительно выше. При недостаточной высоте здания или отсутствии материала

для изготовления скруббера надлежащих размеров охлаждение и очистка газа могут быть осуществлены в нескольких скрубберах последовательно.

Каскадный скруббер. На фиг. 64 приведена схема каскадного скруббера с противотоком воды и газа. Скруббер состоит из трех полостей, каждая из которых имеет отдельное оросительное устройство. Газ входит в скруббер в нижнюю часть, проходит последовательно три полости и выходит через верхний газоотборный патрубок. Вода с полок секций стекает в гидравлический затвор.



Фиг. 64. Схема каскадного скруббера.



Фиг. 65. Схема тарельчатого скруббера.

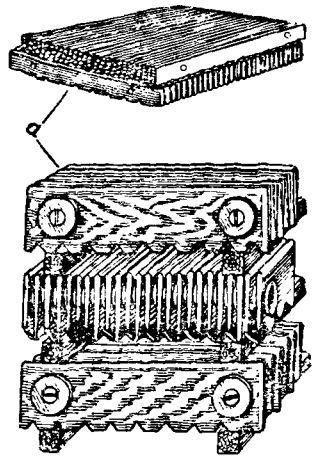
Тарельчатый скруббер. Схема тарельчатого скруббера с противотоком воды и газа приведена на фиг. 65. Внутреннее устройство скруббера состоит из колец и металлических тарелок, насаженных на вертикальную ось. Вода подается в верхнюю часть скруббера. Стекая по тарелкам и кольцам, вода создает завесу, через которую проходит газ, поднимающийся снизу скруббера.

Хордовый скруббер. Насадка хордового скруббера состоит из деревянных реек прямоугольного и трапецоидального сечения, скрепленных в пучки (фиг. 66).

Толщина реек 12—25 *мм*; высота 100—150 *мм*; расстояние между рейками 25—50 *мм*. Для достижения равномерного стекания

воды по рейке нижний ее край иногда делают с зубчатым вырезом. По практическим данным, максимальная интенсивность орошения хордовых насадок с промежутками между рейками 12,5 и 25 *мм* не должна превышать соответственно 7,5 и 10 *л/мин* на 1 погонный метр ребра насадки, во избежание переполнения насадки водой и сокращения поверхности конденсации и охлаждения.

Как видно из данных табл. 26, лучшей по удельной поверхности является насадка из колец, на втором месте стоит хордовая насадка, третье место занимает кокс.



Фиг. 66. Виды хордовой насадки скруббера.

Схема расчета скруббера. *Определение расхода воды на охлаждение генераторного газа.* Количество тепла, выделяющееся в скруббере при охлаждении газа, складывается из теплоты сухого газа Q_1, теплоты охлаждения водяного пара Q_2 и теплоты конденсации водяного пара Q_3.

$$1.\quad Q_1 = V_0 C_г (t_2 - t_1)\ ккал/час. \qquad (108)$$

Здесь V_0 — производительность газогенератора по сухому газу при 0° С и 760 *мм* рт. ст.;
$C_г$ — средняя теплоемкость сухого газа, равная 0,32 *ккал/м³ · °С*;
t_2 — температура газа, поступающего в скруббер, в °С;
t_1 — температура газа, выходящего из скруббера, в °С.

$$2.\quad Q_2 = V_0 C_п (t_2 - 100)\, g_1\ ккал/час. \qquad (109)$$

Здесь $C_п$ — теплоемкость перегретого пара, равная 0,48 *ккал/кг* °С;
g_1 — начальное влагосодержание газа в *кг/м³*.

$$3.\quad Q_3 = G \cdot r - G\,(100 - t_в)\ ккал/час. \qquad (110)$$

Здесь $G = V_0 (g_1 - g_n)\ кг/час$ — количество выделившегося конденсата;
g_n — влагосодержание отходящего газа из скруббера в *кг/нм³*;
r — теплота конденсации пара в *ккал/кг*;
$t_в$ — температура воды, уходящей из скруббера, в °С.

Общее физическое тепло газа и водяного пара, выделяющегося в скруббере, равно

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3\ ккал/час. \qquad (111)$$

4. Часовой расход воды, потребный для охлаждения газа, определяется из следующего выражения:

$$M = \frac{Q}{t_в - t_n}\ л/час, \qquad (112)$$

где t_n — температура воды, поступающей в скруббер.

Таблица 26

Характеристика скрубберных насадок

Вид насадки и величина элемента (в *мм*)	Количество элементов в 1 $м^3$ объема	Поверхность насадки в $м^2/м^3$	Свободный объем в %	Вес насадки в $кг/м^3$
Кокс: 75	—	41	58	500
150	—	19	59	430
Кварц: 50	—	63	45	1420
150	—	21	44	1440
Кольца фарфоровые:				
15 × 15	210 000	369	74	750
20 × 25	52 000	220	81	650
40 × 40	13 250	115	68	720
50 × 50	5 750	92	75	625
75 × 75	1 700	62	74	610
Хордовая деревянная насадка:				
12,5 × 100 × 25	265	61	67	200
12,5 × 100 × 50	160	36	69	190
25 × 100 × 25	200	50	50	300
25 × 100 × 50	130	33	65	210
25 × 150 × 25	130	46	50	300

5. Удельный расход воды получим из выражения

$$M' = \frac{M}{N_e} \; л/л.\ с.\text{-}час. \qquad (113)$$

Расчет рабочего объема скруббера. Процесс охлаждения газа в скруббере складывается из двух фаз. В первой фазе охлаждение газа сопровождается испарением воды; во второй фазе происходит конденсация пара и дальнейшее охлаждение. Исходя из этого, проф. Н. В. Шишаков [16] рекомендует и расчет объема скруббера вести отдельно по каждой фазе.

Первая фаза — испарение воды происходит до полного насыщения газа; температура воды остается без изменения.

1. Определяем количество тепла $Q_{исп}$, отнимаемого от газа на испарение воды:

$$Q_{исп} = Q_г\,(C_г + C_в)\,(t_1 - t_2) \; ккал, \qquad (114)$$

где $Q_г$ — расход газа в $нм^3/час$;

$C_г$ — теплоемкость сухого газа, равная 0,32 $ккал/м^3 \cdot °C$;

$C_в$ — теплоемкость насыщенного пара;

t_1 — температура газа перед скруббером в °С;

t_2 — температура, соответствующая полному насыщению газа, в °С.

При среднем теплосодержании пара 615,6 *ккал* количество воды, израсходованной до насыщения газа, будет равно

$$G_{\text{исп}} = \frac{Q_{\text{исп}}}{615{,}6} \ кг. \tag{115}$$

Следовательно, влагосодержание газа к моменту его насыщения будет слагаться из начального содержания влаги в газе и количества воды $G_{\text{исп}}$, израсходованной до полного насыщения газа.

2. Средняя температура газа в первой фазе

$$\Delta t = \frac{t_1 - t_2}{2{,}3 \lg \frac{t_1}{t_2}} \ °C. \tag{116}$$

3. Средний объем влажного газа V_1 при среднем влагосодержании найдем из следующего выражения:

$$V_1 = \left(Q_г + \frac{Q_г \cdot g_2 \cdot 22{,}4}{18}\right) \cdot \frac{273 + \Delta t}{273} \ м^3, \tag{117}$$

где g_2 — среднее влагосодержание газа в $г/м^3$.

4. Задаваясь диаметром скруббера и типом насадки, находим объем газа, приходящийся на 1 $м^2$ свободного сечения скруббера:

$$V_г = \frac{V_1}{F \cdot \mu} \ м^3/м^2 \cdot час. \tag{118}$$

Здесь F — площадь сечения скруббера в $м^2$;

μ — коэффициент заполнения скруббера (при хордовой насадке принимается равным 50%, при коксе — 65%).

5. Средняя разность температур для первой фазы

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_2) - (t_2 - t_3)}{2{,}3 \lg \frac{t_1 - t_3}{t_2 - t_3}} \ °C, \tag{119}$$

где t_3 — температура воды после скруббера в °С.

6. Необходимый для первой фазы рабочий объем скруббера

$$V_I^c = \frac{Q_{\text{исп}}}{\Delta t \cdot k_1} \ м^3, \tag{120}$$

где k_1 — коэффициент теплопередачи для первой фазы;
$k_1 = 0{,}08 \cdot V_г \cdot ккал/м^3 \cdot час \cdot °C$.

Вторая фаза — охлаждение газа, насыщенного водяным паром. Расчет охлаждения во второй фазе производится по общей сумме тепла, отводимого от газа, так как тепло, затраченное на испарение воды, снова выделяется при конденсации пара.

1. Принимая, согласно расчету теплового баланса скруббера, за $Q_{об}^{п}$ — приход тепла и $Q_{об}^{р}$ — расход тепла, получим разность, выражающую тепло, подлежащее отводу от газа:

$$Q_{об}^{п} - Q_{об}^{р} = Q_т^г \ ккал/час. \tag{121}$$

2. Часовой объем выходящего из скруббера газа

$$V_{II} = \left(Q_г + \frac{Q_г \cdot g_2 \cdot 22{,}4}{18}\right) \cdot \frac{273 + t_4}{273} \; м^3, \qquad (122)$$

где t_4 — температура газа при выходе из скруббера в °С;
g_2 — влагосодержание газа при расчетной температуре в *кг/нм*³.

3. Скорость газа при выходе из скруббера

$$w = \frac{V_{II}}{3600 \cdot F \cdot \mu} \; м/сек. \qquad (123)$$

4. Необходимый для второй фазы рабочий объем скруббера выражается формулой

$$V_{II}^c = \frac{Q_т^г}{\Delta t_2 \cdot k_{II} \cdot F_н} \; м^3, \qquad (124)$$

где $Q_т^г$ — общее количество тепла, отнимаемого от газа;
Δt_2 — средняя логарифмическая разность температур воды и газа в °С;
k_{II} — коэффициент теплопередачи для второй фазы; по эмпирической формуле Н. И. Таганова [18]

$$k_{II} = (62 + 0{,}503p) \cdot (w_0 - 0{,}094) - 29{,}2 \; ккал/час \cdot м^2 \cdot °С, \qquad (125)$$

где p — упругость насыщенного пара при температуре точки росы в *мм* рт. ст.;
w_0 — скорость газа в насадке, считая на сухой газ, при нормальных условиях (0° С и 760 *мм* рт. ст.) в *м/сек*;
$F_н$ — поверхность орошения, образуемая 1 *м*³ насадки в *м*².

5. Полный рабочий объем скруббера

$$V_{об} = V_I^c + V_{II}^c \; м^3. \qquad (126)$$

6. Высоту скруббера найдем следующим образом. Площадь сечения скруббера F указана в выражении (118). Тогда высота скруббера H', занятая насадкой, будет равна

$$H' = V_{об} : F \; м,$$

где $V_{об}$ — полный рабочий объем скруббера в *м*³;
F — сечение скруббера в *м*².

Общая высота скруббера

$$H = H' + h_1 + h_2 + h_3 \; м,$$

где h_1 — суммарная величина разрывов между ярусами в *м*;
h_2 — высота от днища до последнего яруса насадки в *м*;
h_3 — высота от первого яруса до крышки скруббера в *м*.

Расчет гидравлического сопротивления скруббера. Гидравлическое сопротивление скруббера с насадкой может быть подсчитано по следующей формуле:

$$\Delta p = \frac{4kH\gamma v^2}{2gd}, \qquad (127)$$

где Δp — общее сопротивление в *кг/м²*;
k — коэффициент трения;
H — высота скруббера в *м*;
γ — вес 1 *м³* газа в *кг*;
v — скорость газа в *м/сек*;
g — ускорение силы тяжести в *м/сек²*;
d — диаметр свободного сечения в *м*.

Расчет по приведенной формуле можно вести на условную скорость газа на 1 пог. метр высоты насадки.

Условная скорость равна количеству газа, приходящемуся на 1 *м²* полного сечения скруббера.

Если обозначить $\frac{4k}{d}$ через f, то f явится в каждом отдельном случае коэффициентом, характеризующим данный вид газа и тип насадки.

Приведенная выше ф-ла (127) приобретает следующий вид:

$$\Delta p = \frac{fH\gamma v^2}{2g}. \qquad (127а)$$

23. Градирни

В стационарных газомоторных установках со скрубберами, при отсутствии центрального водоснабжения и недостатке воды, скрубберные воды после спуска в отстойные колодцы подвергаются охлаждению в градирнях.

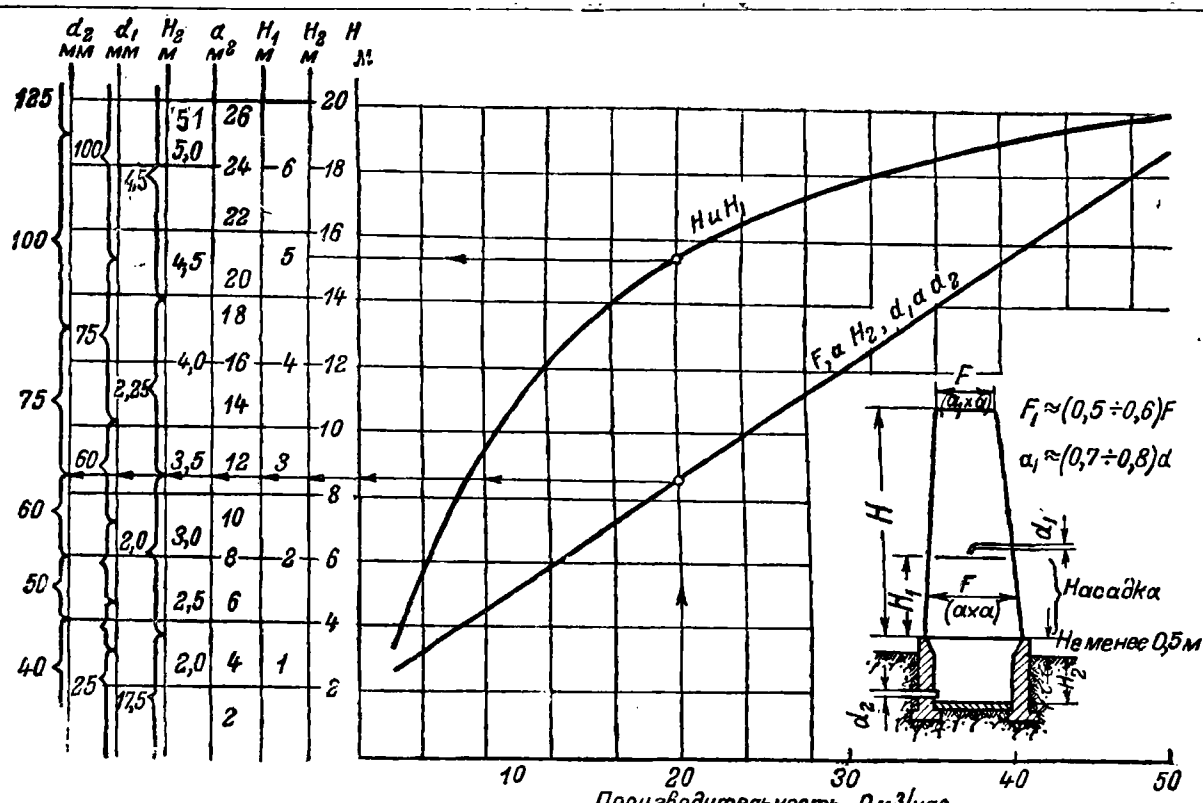
Градирня представляет собой башню, в которую на известной высоте подводится нагретая вода. При помощи специальных устройств вода распыляется и стекает вниз. Вследствие естественной тяги, создаваемой высокой башней, навстречу каплям падающей воды поднимается поток воздуха, имеющий более низкую температуру, чем вода. Воздух охлаждает воду путем конвекции и испарения части теплой воды; при этом тепло, затрачиваемое на испарение, отнимается от остальной части воды, температура которой снижается.

Различают следующие типы градирен:

1) открытые с естественной циркуляцией воздуха;
2) закрытые с естественной циркуляцией воздуха;
3) закрытые и искусственной циркуляцией воздуха;
4) закрытые с комбинированной циркуляцией воздуха.

Вода, подаваемая на градирню, разбрызгивается либо стекает по стенкам в виде пленки (пленочные градирни).

Нижним пределом температуры охлаждающей воды является температура, соответствующая парциальному давлению пара в поступающем в градирню воздухе. Эта температура носит название точки росы, так как соответствует появлению росы на охлаждающей по-



Фиг. 67. Номограмма для определения размеров градирни.

верхности психометра. На практике в градирне такая температура не достигается, а достигается несколько более высокая, называемая пределом охлаждения.

На фиг. 67 приведена номограмма, разработанная А. Г. Игнатьевым [7], для определения основных размеров градирен. Она дает возможность определить основные размеры градирен башенного типа с реечной насадкой (для метеорологических условий средней полосы СССР), производительностью от 4 до 50 $м^3$ воды в час.

Стрелками указан ход расчета основных размеров градирен для охлаждения 20 $м^3$ воды в час.

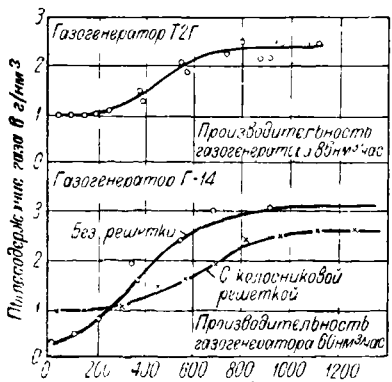
В итоге расчета получаем: высота, занятая насадкой, 5 *м*; сечение в середине зоны орошения 11,5 $м^2$; сторона квадрата 3,4 *м*; глубина бассейна для охлаждения воды 2,0—2,25 *м*; диаметр труб, подводящих воду, 60 *мм*; диаметр труб, отводящих воду, 60—75 *мм*.

ГЛАВА VII

ОЧИСТКА ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

24. Характеристика технических примесей генераторного газа

Силовой газ, получаемый в газогенераторе, не может быть непосредственно использован в двигателе не только вследствие высокой температуры и значительного содержания водяных паров, а также из-за наличия угольной пыли, золы и сажи. Эти механические примеси, попадая в двигатель, загрязняют картерное масло, следствием чего являются повышенные износы и сокращение сроков службы поршней, поршневых колец, цилиндров и других трущихся деталей двигателя. Поэтому генераторный газ перед поступлением в двигатель должен подвергнуться сперва грубой, а затем тонкой очистке.



Фиг. 68. Пылесодержание газа за газогенератором в зависимости от времени его работы после чистки.

При грубой очистке из газа выделяются более крупные частицы угля и золы. В процессе тонкой очистки газа должны задерживаться мельчайшие пылевые частички. Основная их масса (92 — 95%) имеет размер от 10 до 60 *мк* и легко уносится газом.

Установлено, что унос пыли из газогенератора обращенного процесса зависит от следующих основных условий: 1) от времени работы газогенератора после очистки; 2) от производительности газогенератора; 3) от степени крупности топлива и 4) от частоты шуровки слоя и встряхивания колосниковой решетки.

На фиг. 68 приведены данные пылесодержания газа за газогенераторами Т2Г и Г-14 при производительности 85 — 90% от максимальной. В начале работы газогенератора пылесодержание газа составляет 0,5 — 1,0 *г/н.м*³, затем увеличивается и достигает более или

менее стабильной величины в 2,5 — 3,0 *г/нм*³. Наличие колосниковой решетки уменьшает пылесодержание в газе.

С увеличением производительности газогенератора унос пыли повышается. Так, при увеличении производительности газогенератора Г-14 с 30 до 65 *нм*³/*час* пылесодержание газа увеличивается от 0,7 до 3.2 *г/нм*³.

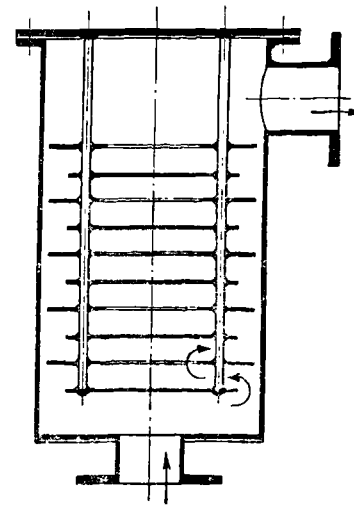
Пылесодержание газа после генераторов легкого типа не превышает 0,15 *г/нм*³. В указанном количестве пыли зольного остатка содержится не более 0,06 — 0,09 *г/нм*³. Если сделать пересчет количества механических примесей на смесь газа с воздухом при $\alpha = 1{,}15$, то количество зольного остатка составит только $0{,}028 \div 0{,}042$ *г* на 1 *нм*³ сухой нормальной смеси. Очистка газа в автотранспортных газогенераторных установках составляет 92 — 96%, а в стационарных установках может быть доведена до 98 — 99%.

25. Конструкции очистителей генераторного газа

Сухая грубая очистка газа производится в основном либо в пластинчатых очистителях, либо в циклонах различных конструкций.

Тонкая очистка газа может осуществляться в следующих принципиально различных типах очистителей: а) матерчатых фильтрах; б) в фильтрах с набивками; в) в очистителях с цилиндрическими кольцами; г) в барботажных жидкостных очистителях: д) в электрофильтрах.

Пластинчатые очистители. Пластинчатые очистители (фиг. 69) представляют собой удлиненные коробки или цилиндры с герметично закрывающимися люками и набором скрепленных пластин с отверстиями диаметром от 8 до 15 *мм*. Так как отверстия у смежных пластин обычно смещены, то струя газа в промежутке между пластинами отклоняется от прямолинейного пути, а пыль при изменении направления выпадает между пластинами.



Фиг. 69. Схема пластинчатого очистителя.

Число пластин и количество ударов струи газа о пластины значительно сказываются на степени очистки, в особенности при влажном газе. Поэтому там, где происходит конденсация паров воды, рекомендуется ставить больше пластин и располагать их с меньшими интервалами. В тех случаях, когда газ горячий, а конденсат отсутствует, пластины рекомендуется устанавливать реже.

Работоспособность пластинчатых очистителей может считаться удовлетворительной, если контактная площадь пластин (за вычетом отверстий) составляет не менее $(2{,}5 \div 3) \cdot 10^{-2}$ *м*²/*м*³ газа.

В стационарных условиях для очистки горячего газа применяются очистители с наклонными пластинами (фиг. 70). Так как эти пластины имеют различные размеры — увеличиваются в направлении движения газа, то скорость газа над первой пластиной меньше, чем над последней.

Циклоны. Применение циклонных пылеуловителей основано на действии центробежной силы. В результате вращения газа в пылеуловителе, взвешенные в нем частицы прижимаются к стенкам и под влиянием трения и силы тяжести выпадают из потока и падают вниз. Очищенный газ выходит через отводной канал в середине циклона.

По современным экспериментальным данным, движение газа в циклоне совершается следующим образом (фиг. 71). Поток газа вдувается в циклон через тангенциально расположенное отверстие. Далее этот поток движется вниз по спирали, образуя внешний вихрь, после чего поднимается опять по спирали вверх по выходной трубе, образуя внутренний вихрь.

Теория и практика работы циклонов приводят к следующим выводам:

1. Наиболее высокая степень очистки получается в газе, содержащем крупные частицы пыли, размером не менее 100 *мк*, при высокой начальной концентрации пыли в газе.

2. Мелкие частицы увлекаются из газа тем лучше, чем выше концентрация пыли.

3. Очистка газа в циклоне зависит от величины скорости, с которой газ входит в циклон. Среднее значение входной скорости колеблется в пределах $15 \div 20$ *м/сек*.

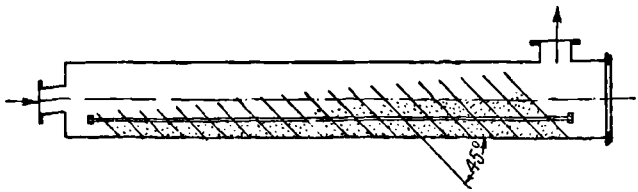
4. Повышение качества очистки осуществляется путем увеличения числа циклонов, соединенных последовательно, однако при этом возрастает гидравлическое сопротивление очистительной установки.

На фиг. 72 приведена схема циклона, наиболее широко распространенного на автотракторных и передвижных газогенераторных установках мощностью от 25 до 100 *л. с.*, а в табл. 27 приведены

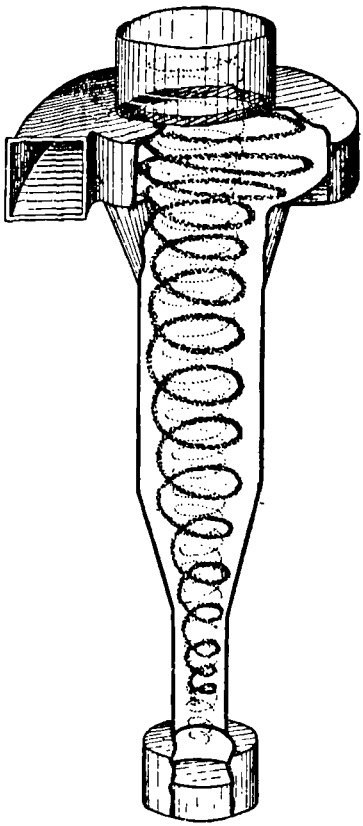
Таблица 27

Основные характеристики циклонов

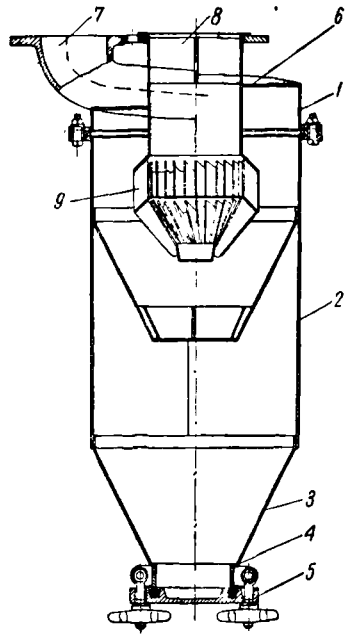
Характеристика	Газогенераторная установка	
	СГ-65	ХТЗ-Т2Г
Максимальный расход газа в *нм³/час*	140	105
Диаметр цилиндрической части в *мм*	294	228
Шаг спирали в *мм*	60	52
Входное отверстие в *мм*	60×70	50×52
Диаметр выходного отверстия в *мм*	144	100
Вес в *кг*	32	23
Высота бункера пылесборника в *мм*	115	240
Объем бункера пылесборника в *л*	6,5	7,5



Фиг. 70. Схема очистителя с наклонными пластинами.



Фиг. 71. Схема движения газа в циклоне.



Фиг. 72. Схема циклона газогенераторной установки ХТЗ.

основные характеристики циклонов газогенераторных установок СГ-65 и ХТЗ-Т2Г.

Корпус циклона разъемный. Верхняя часть корпуса циклона *1* соединена с нижней частью *2* посредством фланцев. Нижняя часть корпуса заканчивается конусом *3*, облегчающим выгрузку скопляющейся в циклоне пыли. К конусу приварена горловина *4*, заканчивающаяся крышкой *5*. Верхняя часть корпуса закрыта крышкой *6*, выполненной в виде одного витка плоской винтовой поверхности. В раствор между началом и концом винтовой поверхности, по касательной к окружности конуса циклона, вварен отлитый из стали входной патрубок *7*. Выходной патрубок *8* расположен по оси циклона. У нижней части выходного патрубка расположены лопатки *9*.

В установке эти циклоны работают по два, соединенных последовательно, причем коэффициент очистки у первого циклона всегда больше, чем у второго. Например, коэффициент очистки циклона ХТЗ-Т2Г при 10-часовой работе составлял у первого 46%, а у второго 12%; при 20-часовой работе — у первого 40%, а у второго 14%, что объясняется количеством и величиной частиц, поступающих в циклон.

Коэффициент очистки газа у циклона не является постоянным в течение всего времени его работы. Даже при постоянном расходе газа коэффициент очистки изменяется, так как газогенератор выдает вначале меньше пыли, но зато эта пыль более мелка и хуже задерживается циклоном.

По мере увеличения времени работы газогенератора количество пыли увеличивается, и она становится более крупной.

В настоящее время еще не существует достаточно надежного метода для расчета циклонов. Это объясняется сложностью и недостаточной изученностью процессов, происходящих в циклоне. Методы расчета, которыми пользуются, в большей части построены на обобщении экспериментальных данных и применимы для частиц определенных размеров и свойств.

1. Скорость осаждения пыли v_{oc} может быть подсчитана по следующей формуле:

$$v_{oc} = v_{вх} \sqrt{\frac{2d\gamma_м}{3c\gamma_г R}}, \qquad (128)$$

где v_{oc} — скорость осаждения пыли в *м/сек*;
$v_{вх}$ — скорость входа газа в циклон в *м/сек*;
d — диаметр частицы пыли в *м*;
R — радиус циклона в *м*;
$\gamma_м$ — объемный вес вещества пыли в *кг/м*^{3};
$\gamma_г$ — объемный вес газа в *кг/м*^{3};
c — коэффициент, определяемый из выражения

$$c = 2{,}5\,\frac{24g\eta}{v_{oc}d}\left(1+\frac{3v_{oc}d}{16g\eta}\right), \qquad (129)$$

в котором g — ускорение силы тяжести в *м/сек*^{2}:
η — вязкость газа в *кг·сек/см*^{2}.

Вязкость газа увеличивается с температурой и равна

$$\eta_t = \eta_0 \frac{1 + \frac{c}{273}}{1 + \frac{c}{T}} \sqrt{\frac{T}{273}}, \qquad (130)$$

где η_t — вязкость газа при данной температуре и 760 *мм* рт. ст. в пуазах;

η_0 — вязкость газа при 0° С и 760 *мм* рт. ст. в пуазах;

c — постоянная, определенная для каждого газа;

T — абсолютная температура газа (табл. 28).

Таблица 28

Значение вязкости η_0 и постоянных c для различных газов в абсолютных единицах

	CO	CO_2	N_2	H_2	H_2O	O_2	CH_4	SO_2	Воздух
$\eta_0 \cdot 10^4$	1,66	1,50	1,63	0,85	0,89	1,84	1,10	1,20	1,68
c	102	264	110	74	673	114	—	270	1,28

Вязкость смеси газов равна сумме произведений вязкостей отдельных газов на их содержание в единице объема

$$\eta = V_1\eta_1 + V_2\eta_2 + V_3\eta_3 + \ldots + V_n\eta_n.$$

2. Если входное отверстие циклона прямоугольное, то ширину входного отверстия циклона a в метрах определяют из уравнения, связывающего его с радиусом эквивалентного сечения $r_в$ в метрах:

$$(r_в + a)^{\frac{3}{2}} - 10n\sqrt{\frac{2d\gamma_м}{3c\gamma_г}}\left(r_в + \frac{a}{2}\right) = r_в^{\frac{3}{2}}, \qquad (131)$$

где n — число оборотов газа в циклоне, обычно равное $1 \div 3$.

В этом случае радиусом эквивалентного сечения входной трубы $r_в$ задаются в зависимости от производительности с таким расчетом, чтобы скорость газа в выходной трубе была меньше входной скорости. Задаются также величиной R, придерживаясь следующего:

для частиц больше 0,1 *мм* $R = 2r_в$;

для частиц меньше 0,1 *мм* $R = 1{,}5r_в$.

Найдя величину a, можно подсчитать высоту входного отверстия циклона, исходя из часовой производительности и скорости выхода газов, которую принимают равной до $15 \div 20$ *м/сек*.

3. Сопротивление циклона вычисляется по формуле

$$\Delta p = \frac{\gamma}{g}\left(\frac{v^2}{r_1} - \frac{v^2}{r_2}\right) \text{ мм вод. ст.}, \qquad (132)$$

где v — скорость газового потока в *м/сек*,

γ — удельный вес газа в *кг/нм*^{3};

r_1 — радиус внутренней трубы в *м*;

r_2 — радиус кожуха в *м*.

Матерчатые фильтры. В матерчатых фильтрах тонкой очистки газа фильтрующим элементом является ткань с ворсом, натянутая на пружинные каркасы. Схема таких фильтров с различными фильтрующими патронами приведена на фиг. 73.

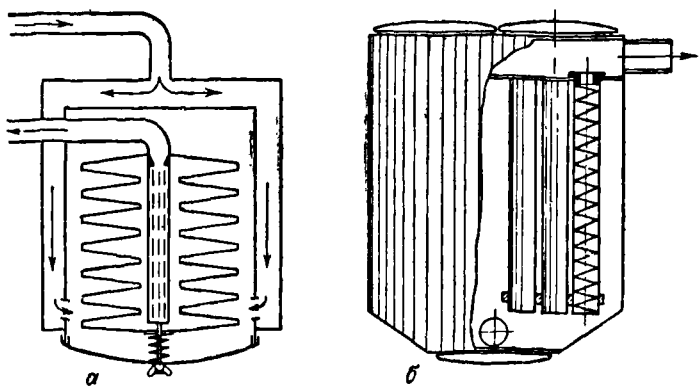
Потребная поверхность очистки матерчатых фильтров подсчитывается по следующей эмпирической формуле:

$$F = 0{,}05 N_e \ м^2, \qquad (133)$$

где коэффициент 0,05 — удельная площадь фильтра в $м^2/л.\ с.$;

N_e — эффективная мощность двигателя в $л.\ с.$

Матерчатые фильтры дают высокую степень очистки газа, однако применение их возможно только при достаточно сухом газе.



Фиг. 73. Схемы матерчатых фильтров:

а — с цилиндрическими патронами; *б* — с гармоникообразным патроном.

Увлажнение поверхности фильтра значительно повышает его сопротивление и быстро выводит его из строя. Матерчатые фильтры применяются главным образом в установках, работающих на древесном угле.

Фильтры с набивками. Среди фильтров тонкой очистки газа в газомоторных установках нашли распространение фильтры с набивкой из различных местных материалов, как древесные опилки, измельченная в виде резки солома, луговой мох, древесные стружки и др.

Фильтр представляет собой металлический цилиндр, в котором находятся деревянные или металлические решетки, на которые и укладывается фильтрующий материал.

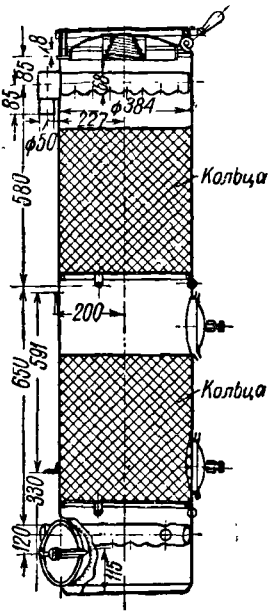
Заполнитель фильтра оказывается достаточно хорошей средой для остаточной конденсации влаги, находящейся в газе, которая стекает в нижнюю часть фильтра, откуда периодически спускается.

Опыт показывает, что для генераторного силового газа объем фильтрующей массы из древесных опилок составляет примерно 0,004 $м^3$ на 1 $л.\ с.$, для лугового торфа — 0,006 $м^3$ на 1 $л.\ с.$

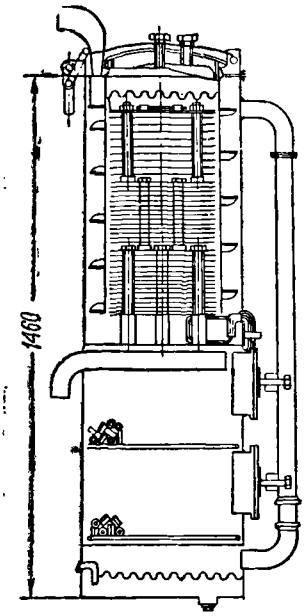
Очистители с цилиндрическими кольцами. Эти очистители широко распространены для очистки генераторного газа. Экспериментальным

путем установлено, что для очистки газа в таких очистителях без орошения необходимо максимально использовать конденсат, выделяющийся из газа при его охлаждении, для смачивания колец и частичного смывания осевшей на кольцах пыли.

Общий вид тонкого очистителя с цилиндрическими кольцами для двигателя в 30 *л. с.* приведен на фиг. 74. Количество колец в таком типе очистителя составляет около 25 тыс. шт.



Фиг. 74. Схема тонкого очистителя с цилиндрическими кольцами.



Фиг. 75. Схема комбинированного очистителя КО2М.

Одним из недостатков металлических колец является быстрое их разъедание в процессе очистки газа.

На фиг. 75 приведена схема комбинированного очистителя КО2М с кольцами и пластинами, предложенного М. Н. Меламед и Б. А. Миллер, для передвижной газомоторной установки с двигателем в 30 *л. с.* Испытания очистителя показали надежную работу, исключающую смерзание колец, что обычно имеет место в очистителях с кольцами.

Порядок расчета очистителей с кольцами может быть принят следующий:

1. Определяется количество паров воды в газе, выходящем из газогенератора:

$$g = \frac{W_p + gH_p}{100V_g} + \frac{G_в}{V_g} - \frac{0{,}804\,(H_2 + 2CH_4)}{100}\ кг/нм^3, \qquad (134)$$

где W_p и H_p — процентное содержание влаги и водорода в 1 *кг* топлива;

H_2 и CH_4 — процентное (по объему) содержание водорода и метана в 1 $м^3$ газа;

$G_в$ — вода, подводимая извне, в *кг* на 1 *кг* топлива;

0,804 — условный удельный вес ($кг/м^3$) водяного пара при 0° С и 760 *мм* рт. ст.;

V_g — объем влажного газа в $м^3$.

2. Зная температуру газа, выходящего из очистителя, определяют по табл. 29 содержание насыщенного водяного пара в газе (g_t $г/нм^3$) при данной температуре.

3. Определяется количество выпавшего конденсата:

$$g = g_г - g_t \ г/нм^3. \qquad (135)$$

4. Задаваясь желаемым коэффициентом очистки газа по диаграмме фиг. 76, определяют высоту колец при данной величине конденсации паров.

Таблица 29

Парциальное давление и содержание водяных паров в газе при насыщенном состоянии

Температура в °С	Парциальное давление пара в *мм* рт. ст.	Содержание пара в *г* на 1 $нм^3$ газа при 0° С и 760 *мм* рт. ст.		Температура в °С	Парциальное давление пара в *мм* рт. ст.	Содержание пара в *г* на 1 $нм^3$ газа при 0° С и 760 *мм* рт. ст.	
		влажного	сухого			влажного	сухого
20	17,5	18,5	19,0	39	52,4	55,4	59,6
21	18,9	19,7	20,2	40	55,3	58,5	63,1
22	19,8	21,0	21,5	42	61,5	65,0	70,8
23	21,1	22,3	22,9	44	68,3	72,2	79,3
24	22,4	23,7	24,4	46	75,7	80,0	88,8
25	23,8	25,1	26,0	48	83,7	88,5	99,5
26	25,2	26,7	27,6	50	92,5	97,8	111
27	26,7	28,3	29,3	52	102,1	108	125
28	28,3	30,0	31,1	54	112,5	119	140
29	30,0	31,8	33,1	56	123,8	131	156
30	31,8	33,6	35,1	58	136,1	144	175
31	33,7	35,6	37,3	60	149,4	158	197
32	35,7	37,7	39,6	62	163,8	173	221
33	37,7	39,9	42,0	64	179,3	190	248
34	39,9	42,2	44,5	66	196,1	207	280
35	42,2	45,5	47,3	68	214,2	226	315
36	44,6	47,1	50,1	70	233,7	247	357
37	47,1	49,8	53,1	72	254,6	269	405
38	49,7	52,5	56,2	74	277,2	293	461

5. Принимая условную скорость газа в очистителе в пределах $v_{оч} = 0{,}15 \div 0{,}5$ *м/сек*, определяют диаметр очистителя:

$$D_{оч} = 18{,}8 \sqrt{\frac{V_г}{v_{оч}}}, \qquad (136)$$

где $V_г$ — производительность газогенератора в *нм³/час* (сухого газа);

$v_{оч}$ — скорость прохождения через свободное сечение очистителя в *м/сек*.

Барботажные жидкостные очистители. В газомоторной технике некоторое распространение получили очистители с гидравлическим затвором, при которых происходит барботаж газа через слой жидкости (вода, масло и проч.). Однако очистка газа может быть улучшена барботажем только в том случае, если газовый поток, проходя через слой воды, хорошо дробится, а слой воды достаточно велик (200 ÷ 300 *мм*). Существующие в настоящее время барботажные очистители не удовлетворяют этим требованиям. При наличии гидравлического затвора с постоянной высотой уровня оптимальный крутящий момент двигателя можно иметь только при том числе оборотов в минуту, при котором произведена регулировка качества смеси. Переход на другой скоростной режим вынуждает находить новое положение воздушной заслонки смесителя; в противном случае неизбежно наступает снижение крутящего момента.

Для того чтобы успешно применить в очистителях с барботажем гидравлический затвор большой высоты, при котором сопротивление гидравлического затвора изменялось бы в соответствии с расходом газа, обеспечивая постоянство пропорции между газом и воздухом в рабочей смеси при всех возможных ее расходах, И. С. Мезиным предложена конструкция водяного очистителя переменного сопротивления с глубоким барботажем (фиг. 77).

На фиг. 78 изображены результаты сравнительных 10-часовых испытаний очистителей без воды и с водой с глубоким барботажем.

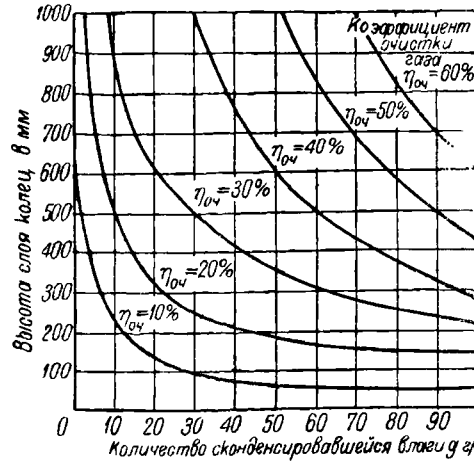
За период испытаний по первой схеме пылесодержание в газе после очистки оказалось равным 0,10 *г/м³*, а по второй схеме — 0,07 *г/м³*.

Таким образом, наличие высокого слоя воды в кольцах уменьшает пылесодержание в газе после очистителя в полтора раза.

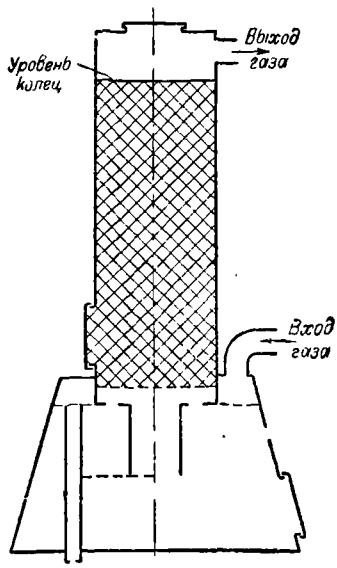
Электрофильтры. Первый советский электрофильтр для очистки газа был построен в 1925 г. на заводе „Красный Выборжец" инж. Баймаковым. В 1928 г. был создан трест „Газоочистка", на предприятиях которого и началась постройка электрофильтров.

На газогенераторных станциях технологического газа электрическая очистка получает значительное распространение и оказывается значительно дешевле других способов очистки. Расход электроэнергии составляет примерно 0,5 *квт* на 1000 *м³* газа.

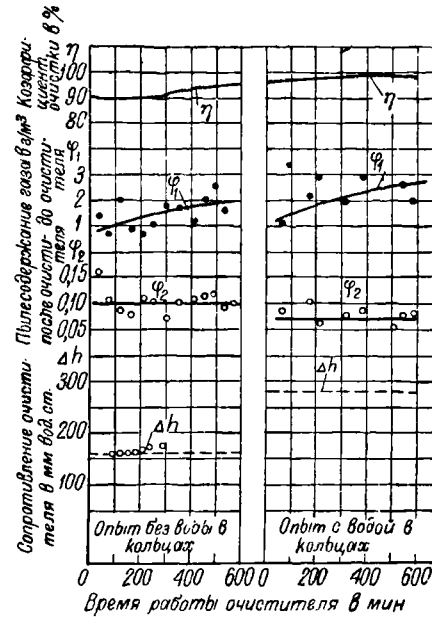
Необходимо отметить, что электрическая очистка газа позволяет выделить из него мельчайшие взвешенные частицы, не поддающиеся извлечению другими способами.



Фиг. 76. Влияние количества сконденсировавшейся влаги g *г/нм*³ газа в очистителе с кольцами на качество очистки газа (по опытам НАТИ).



Фиг. **77.** Схема водяного очистителя переменного сопротивления с глубоким барботажем.

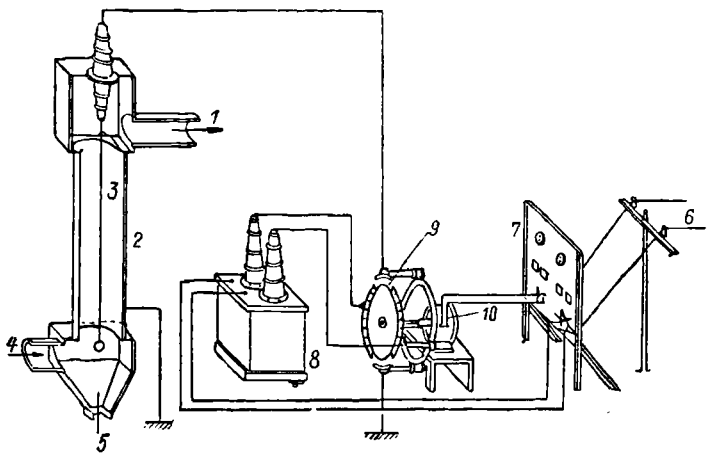


Фиг. **78.** Качество очистки газа в очистителе с глубоким барботажем и без барботажа.
(Топливо — березовые чурки с абсолютной влажностью 11—12%. Расход газа — 73—74 *нм*³/*час*. Температура газа после очистителя 40—43° С).

В основе принципа электрической очистки газа лежит способность частиц пыли, смолы, влаги, взвешенных в газе и находящихся в поле высокого напряжения, получать электрический заряд, перемещаться от одноименно заряженного электрода к противоположно заряженному и здесь оседать. Для достижения этого электрические фильтры работают на постоянном токе.

В схему установки для электрической очистки газа (фиг. 79) входят: электрофильтр, высоковольтный трансформатор, выпрямитель и щит управления.

Применение электрофильтров в газомоторных установках хотя и сопряжено с необходимостью разработки более компактных кон-

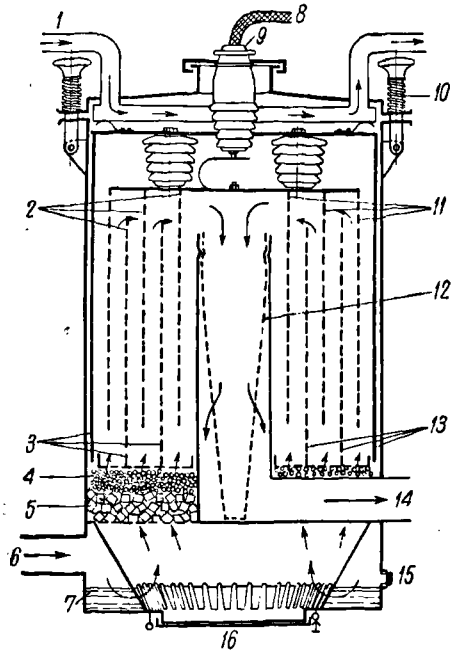


Фиг. 79. Схема установки для электрической очистки газа:
1 — отвод очищенного газа; *2* — электрофильтр; *3*—коронирующий электрод; *4* — вход сырого газа; *5* — выгрузка пыли; *6* — электросеть; *7* — щит; *8* — трансформатор высокого напряжения; *9* — выпрямитель; *10* — синхронный мотор.

струкций, применения различных источников тока и дешевых, широко доступных способов его трансформации и выпрямления, однако следует считать, что достоинства этого способа дают ему право на безусловное внедрение в эту область энергетической техники.

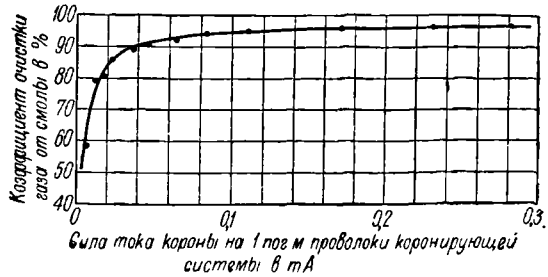
На фиг. 80 приведена схема компактного электрофильтра для газомоторных установок легкого типа. Фильтр состоит из трех основных частей: нижней, заполненной водой, средней, состоящей из дырчатых концентрических цилиндров, собственно электрофильтра и обогревательного приспособления, работающего от выхлопных газов двигателя в верхней части. Обогрев необходим для поддержания в сухом виде изоляторов, расположенных, как это видно из схемы, в верхней части фильтра. В зависимости от загрязненности газа уносом и смолами, очистка фильтра производится через $8 \div 50$ час. непрерывной его работы.

Степень очистки газа от смолы и пыли зависит от температуры газа, его влажности и скорости прохождения в фильтре. Однако на коэффициент очистки газа главное влияние оказывает сила тока



Фиг. 80. Схема электрофильтра для установок легкого типа:

1— выхлопные газы; *2* — коронирующий электрод; *3* — нижний коронирующий электрод; *4* — подушка из фильтрующего материала; *5* — цилиндрические кольца; *6* — вход газа; *7* — вода; *8* — кабель высокого напряжения; *9* — изолятор; *10* — накидные зажимы; *11*—коронирующий электрод; *12*—конусный фильтр; *13*—нижний коронирующий электрод; *14*—выход газа; *15*—контрольная пробка; *16*—нижняя крышка.



Фиг. 81. Коэффициент очистки газа от смолы в зависимости от силы тока короны.

короны (фиг. 81). Чем больше влагосодержание газа, тем выше качество его очистки.

Очистка генераторного газа от серы. Сера в генераторном газе содержится главным образом в виде сероводорода (H_2S), который при сгорании выделяет большое количество тепла (5995 *ккал/м*³). Сероводород и соединения, образующиеся при его сгорании, разрушают детали газогенераторной установки и двигателя; поэтому они являются вредными примесями генераторного газа.

Очистка генераторного газа от сероводорода может производиться двумя способами: сухим и мокрым.

При сухом способе очистки газ пропускается через твердую массу, поглощающую сероводород. В качестве такой массы обычно используют болотную руду, известь и активированный уголь.

По данным НАТИ, наибольший эффект сероочистки газа дает активированный уголь, получаемый чаще всего путем специальной термической или химической обработки обычного древесного угля. Активированный уголь поглощает до 95% серы, содержащейся в газе.

Из мокрых способов очистки генераторного газа от сероводорода наиболее простым является содовый, основанный на обратимой реакции между содой и сероводородом:

$$N_2CO_3 + H_2S \rightleftarrows NaHS + NaHCO_3. \qquad (137)$$

При промывке газа содовым раствором реакция протекает слева направо, т. е. сероводород поглощается и газ очищается, а при регенерации реакция идет справа налево с выделением сероводорода.

Установка для очистки газа по содовому способу состоит из поглотителя и регенератора, часто изготовляемых в одном блоке. Как регенератор, так и поглотитель обычно заполняются насадкой: деревянной, хордовой, коксом и др. Расход соды составляет 0,1—0,2 *кг* на 1 *кг* выделенного сероводорода. Степень очистки 85—90%. Расход воздуха на регенерацию раствора 2,5—3,0 *м*³ на 1 *м*³ газа.

ГЛАВА VIII

УСТРОЙСТВА ДЛЯ РОЗЖИГА ГАЗОГЕНЕРАТОРА

26. Условия работы вентилятора розжига

Запуск газомоторной установки начинается обычно процессом розжига топлива в газогенераторе, т. е. доведением некоторой массы топлива до температуры, достаточной для протекания газогенераторного процесса.

На длительность розжига, помимо применяемого способа, влияют следующие факторы:

а) реакционная способность топлива;

б) влажность топлива;

в) диаметр, число и расположение фурм;

г) расход газа (производительность вентилятора).

Опытами, проведенными в НАТИ, установлено, что высота расположения фурм в камере заметно влияет на продолжительность розжига.

При увеличении диаметра фурм и постоянном давлении дутья скорость струи в слое топлива затухает медленнее, что ускоряет распространение фронта горения; это приводит к сокращению периода нарастания температур, а следовательно, к ускорению процесса розжига.

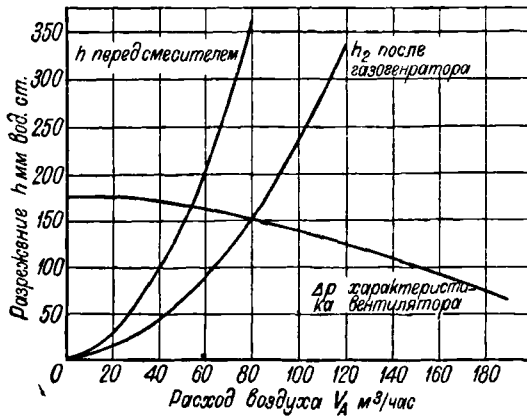
Далее, в результате проведенных опытов установлено, что продолжительность розжига газогенератора не зависит от числа фурм и обратно пропорциональна их диаметру, при одинаковом давлении воздушного дутья.

Для розжига топлива в газогенераторе применяются центробежные вентиляторы с ручным или механическим (электрическим) приводом.

Каждый вентилятор может работать и как всасывающий, и как нагнетательный. В первом случае трубопровод присоединяется к всасывающему патрубку, а нагнетательный соединяется с атмосферой; во втором случае, наоборот, всасывающий патрубок соединяется с атмосферой, а нагнетательный — с трубопроводом. Теоретически можно считать, что разрежение в первом случае будет равно давлению во втором.

Отсасывающие вентиляторы можно включать в газопровод перед смесителем двигателя, в целях подсоса газа ближе к двигателю и ускорения пуска, или непосредственно за газогенератором.

При нагнетающем вентиляторе воздух попадает в камеру газификации газогенератора, а газ выходит или через трубу розжига, или через открытый люк, или может нагнетаться через всю систему. Фактическая производительность вентилятора зависит от того, в



Фиг. 82. Производительность вентилятора ЗИС-21 в зависимости от места его включения в систему газогенераторной установки.

какое место газогенераторной установки произведено его включение. На фиг. 82 приведена характеристика производительности вентилятора ЗИС-21 в зависимости от места его включения в систему газогенераторной установки.

27. Характеристики вентиляторов, применяемых для розжига газогенераторов и для дутья

Вентилятор, создающий избыточное давленче до 100 *мм* вод. ст., как правило, изготовляется с одним рабочим колесом.

Полный напор H вентилятора состоит из статического $H_с$ и динамического $H_д$ напоров, т. е.

$$H = H_с + H_д.$$

Статический напор затрачивается на преодоление сопротивления системы.

Величина динамического напора определяется из соотношения

$$H_д = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g}, \qquad (138)$$

где γ — удельный вес отсасываемого газа при данной температуре и 760 *мм* рт. ст.;

v — скорость газа в трубопроводе в *м/сек*;

g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 *м/сек*.

Мощность, потребляемая вентилятором, с учетом гидравлических и механических потерь на трение и в зазорах будет равна

$$N_c = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma_г}{60 \cdot 102 \cdot \eta} \quad квт, \qquad (139)$$

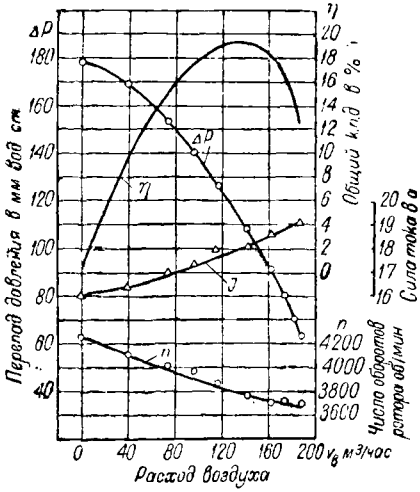
где Q — производительность в $м^3/мин$;

H — действительный напор вентиляторов в $мм$ вод. ст.;

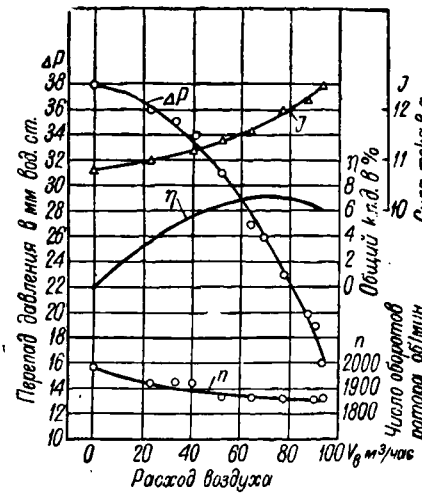
η — полный к. п. д. вентилятора;

$\gamma_г$ — удельный вес газа в $кг/нм^3$.

При расчете и подборе вентиляторов следует помнить, что вентиляторы на заданном числе оборотов могут в широких пределах



Фиг. 83. Характеристика вентилятора ВГ-197 при работе от аккумулятора напряжением 12 *в*.



Фиг. 84. Характеристика вентилятора ВГ-197 при работе от аккумулятора напряжением 6 *в*.

изменять производительность, создаваемый напор и потребляемую мощность, в зависимости от сопротивления системы и эквивалентности ее сечений.

В то же время, для каждого вентилятора может быть только один наиболее выгодный режим, с наиболее высоким к. п. д.

В практике эксплоатации силовых газогенераторных установок розжиг топлива в газогенераторе, в зависимости от его производительности и требуемой величины полного напора, осуществляется:

а) ручными или механическими вентиляторами автотракторного типа;

б) вентиляторами системы В. Н. Косточкина;

в) вентиляторами системы „Сирокко“;

г) специальными вентиляторами, выпускаемыми заводами, изготовляющими газомоторные установки.

Таблица 30

Основные данные по вентиляторам „Сирокко"

Тип вентилятора	Характеристики	Напор в *мм* вод. ст.								
		20	40	60	80	100	120	140	160	180
ЦС-2	*Q* м³/час	338—1015	476—1480	583—1745	676—2020	785—2260	832—2480	890—2680	955—1990	1015—2160
	n об/мин.	940—1145	1330—1680	1630—1980	1880—2290	2100—2560	2310—2800	2480—3020	2660—2730	2820—2970
	N квт	0,032—0,132	0,09—0,37	0,164—0,680	0,254—1,05	0,354—1,465	0,468—1,92	0,584—2,430	0,716—1,54	0,855—1,900
ЦСАЗ	*Q* м³/час	324—3140	430—4400	560—5100	680—6500	750—6900	820—4500	890—4800	0,56—4000	1010—3000
	n об/мин.	730—1000	1040—1410	1260—1730	1520—2160	1700—2290	1870—2140	2020—2300	2180—2340	2250—2350
	N квт	0,07—0,45	0,21—1,26	0,37—1,34	0,53—4,10	0,73—4,75	0,97—3,0	1,24—3,7	1,54—3,36	1,75—2,75
ЦС-4	*Q* м³/час	320—3460	480—5300	585—5600	600—6350	650—7200	710—7850	760—8500	820—6800	865—6100
	n об/мин.	670—870	950 1330	1160—1400	1450—1720	1616—1920	1760—2100	1900—2260	2040—2265	2160—2265
	N квт	0,14—0,61	0,39—2,18	0,5—2,5	0,65—2,76	0,75—3,9	0,9—5,0	1,10—6,3	1,35—5,2	1,54—3,30

Q — производительность вентилятора
n — число оборотов ротора
N — потребная мощность на привод вентилятора

Автомобильные электровентиляторы. Из автомобильных электровентиляторов употребляется вентилятор типа ВГ-197, работающий от аккумулятора напряжением 12 *в*, для автомобиля ЗИС-21, и от аккумулятора напряжением 6 *в*, для автомобиля ГАЗ-42.

На фиг. 83 приведены его характеристики при работе от аккумулятора напряжением 12 *в* и на фиг. 84 — при работе от аккумулятора напряжением 6 *в*.

По мере сокращения расхода воздуха (прикрытие дросселя), как это видно из приведенных характеристик, увеличивается число оборотов ротора и уменьшается сила тока. В этих условиях напор расходуется на нарастание скорости и преодоление сопротивления дросселированию.

Общий коэффициент полезного действия электровентилятора

$$\eta = \frac{\Delta P W_в}{367 I V}, \qquad (140)$$

где ΔP — перепад давления в *мм* вод. ст.;

$W_в$ — расход воздуха в *м*³/*час* (или *кг*/*час*);

I — сила тока в *а*;

V — напряжение в *в*;

367 — переводной коэффициент *вт* в *кгм*/*час*.

Ручной вентилятор розжига КТ-12. Вентилятор КТ-12 устанавливается на газогенераторном трелевочном тракторе КТ-12 и обслуживает газогенератор, питающий древесным газом двигатель ЗИС-21А мощностью 45 *л. с.* Вентилятор центробежный, с ручным приводом. Корпус вентилятора литой, чугунный, отлитый с опорной площадкой и двумя патрубками: большой отводит газ от вентилятора за пределы кабины, а малый отводит газ к обогревателю.

Центробежный вентилятор системы В. Н. Косточкина. Вентилятор системы Косточкина строится восьми номеров с диаметром колеса от 250 до 700 *мм*. Состоит из чугунного литого кожуха с лапами для установки его на специальной подставке или фундаменте. Крыльчатка вентилятора литая, насажена на вал, заканчивающийся шкивком для привода вентилятора от электромотора. Выбор вентилятора производят обычно по таблицам, для чего необходимо знать требуемый полный напор в миллиметрах водяного столба и производительность вентилятора в кубических метрах в секунду.

Центробежный вентилятор „Сирокко". Для стационарных газогенераторных установок наиболее употребительны вентиляторы среднего давления системы „Сирокко" № 2 и № 4 с поворотными кожухами. Величина напора, создаваемого этими вентиляторами, составляет $20 \div 180$ *мм* вод. ст. с затратой мощности до 3,3 *квт*.

В табл. 30 приведены основные данные по наиболее часто применяемым вентиляторам „Сирокко".

Подбор вентиляторов требуемых характеристик производится по специальным таблицам и заводским каталогам [10].

ГЛАВА IX

ГАЗОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

28. Моторные свойства генераторного газа

Генераторный газ, получаемый в результате газификации твердого топлива, представляет собой механическую смесь нескольких газов, каждый из которых обладает индивидуальными свойствами и по своему влияет на работу двигателя.

Наиболее существенным недостатком генераторного газа как моторного топлива является его низкая теплотворность (1150—1300 *ккал/м*³), что обуславливает и низкую теплотворность рабочей газовоздушной смеси.

Если принять теплотворность генераторного газа $H_u = 1250$ *ккал/нм*³, то теплотворность газовоздушной смеси H_g, при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$ и теоретически необходимом количестве воздуха для сжигания 1 *м*³ газа $L_0 = 1{,}2$ *м*³/*м*³, будет равна

$$H_g = \frac{H_u}{1 + \alpha L_0} \tag{141}$$

или

$$H_g = \frac{H_u}{1 + 1 \cdot 1{,}2} = 568 \text{ ккал/нм}^3,$$

в то время как теплотворность бензовоздушной смеси при $\alpha = 1$ будет равна

$$H'_g = \frac{H'_u}{\alpha L_0} \tag{142}$$

или

$$H'_g = \frac{10\,400}{11{,}75} = 885 \text{ ккал/нм}^3.$$

Таким образом, отношение теплотворности газовоздушной смеси к теплотворности бензо-газовоздушной смеси будет равно

$$\frac{568}{885} = 0{,}642.$$

На теплотворность смеси существенное влияние оказывают и водяные пары, насыщающие газ. Объемная доля паров воды в газе будет определяться отношением парциальных давлений:

$$x = \frac{P_s}{P},$$

где x — объемная доля паров воды в газе (табл. 23);
P_s — давление сухих насыщенных паров;
P — давление влажного генераторного газа перед смесителем.

Очевидно, чем больше сопротивление установки, т. е. чем меньше давление газа P, тем больше объемная доля водяных паров и ниже теплотворность рабочей смеси.

Эффективная мощность четырехтактного двигателя выражается формулой

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_h \cdot n}{900} \text{ л. с.}, \qquad (143)$$

где P_e — среднее эффективное давление в *кг/см²*;
V_h — литраж двигателя;
n — число оборотов двигателя в минуту.

Среднее эффективное давление

$$P_e = 0{,}0427 \cdot H_g \cdot \gamma_{см} \cdot \eta_v \cdot \eta_i - P_т \text{ кг/см}^2, \qquad (144)$$

где H_g — теплотворность смеси в *ккал/кг*;
$\gamma_{см}$ — удельный вес смеси в условиях окружающей среды в *кг/м³*;
η_v — коэффициент наполнения двигателя;
η_i — индикаторный к. п. д.;
$P_т$ — среднее давление трения в *кг/см²*.

Анализируя формулу для определения среднего эффективного давления, можно заметить, что в общем случае с понижением теплотворности газовоздушной смеси уменьшается величина среднего эффективного давления. Вместе с тем уменьшается величина коэффициента наполнения двигателя — индикаторный к. п. д.

Уменьшение коэффициента наполнения двигателя происходит по двум причинам: вследствие повышенной температуры газовоздушной смеси против бензо- или керосино-воздушной и за счет дополнительного сопротивления газогенераторной установки. На фиг. 85 приведена графическая зависимость мощности двигателя от температуры генераторного газа перед смесителем, из которой видно, что увеличение температуры газа от 20 до 70° С снижает мощность на 25%.

Анализируя коэффициент наполнения двигателя η_v с точки зрения термодинамики, можно получить для него следующее выражение:

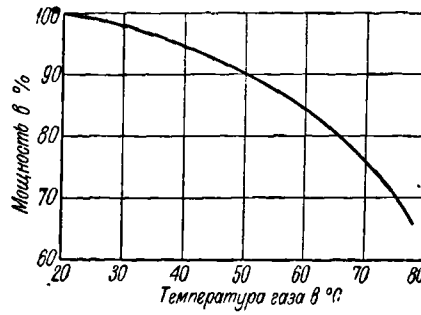
$$\eta_v = \left(\frac{\varepsilon P_a}{T_a} - \frac{P_г}{T_г} \right) P_0 \frac{T_0}{(\varepsilon - 1)}, \qquad (145)$$

где P_a — давление всасывания;
T_a — температура всасывания;
$P_г$ — давление остаточных газов;
$T_г$ — температура остаточных газов;
ε — степень сжатия.

Если двигатель переводится с жидкого топлива на генераторный газ, то ε, T_0 и P_0 останутся без изменения, а P_a, T_a и $T_г$ примут другие значения.

При работе двигателя на генераторном газе давление всасывания P_a зависит от сопротивления газогенератора (скорости воздуха в фурмах, высоты слоя топлива, зернистости топлива и др.), от сопротивления системы очистителей и газопроводов, если в установке нет вентилятора, нагнетающего воздух в газогенератор.

Таким образом, уменьшение трех важнейших параметров — теплотворности рабочей смеси H_g, коэффициента наполнения η_v и индикаторного к. п. д. снижает величину среднего эффективного давления на всем диапазоне чисел оборотов двигателя, что приводит к соответствующему падению мощности и смещению ее максимума в сторону меньшего числа оборотов.



Фиг. 85. Влияние температуры генераторного газа перед смесителем на мощность двигателя.

Помимо перечисленных факторов, при переводе двигателя на генераторный газ изменяется и механический к. п. д. $\eta_м$.

Коэффициент η_0, характеризующий изменение механического к. п. д. с переводом двигателя на генераторный газ, определяется из следующего соотношения:

$$\eta_0 = \frac{\eta_м\,(\text{газ})}{\eta_м\,(\text{жидкое топливо})}, \qquad (146)$$

и при падении мощности в пределах 30—50% составляет примерно 0,9—0,7.

В результате указанных причин литровая мощность газовых двигателей не превышает 8—14 *л. л/с* против двигателей жидкого топлива 14—30 *л. л/с*. Двигатели жидкого топлива, переведенные на газ без каких-либо специальных переделок, обычно теряют до 50% своей мощности.

Теплотворность генераторного газа определяется содержанием в нем горючих компонентов CO, H_2 и CH_4.

В уравнение индикаторной мощности двигателя входит значение теплотворности генераторного газа.

Более тщательный анализ показывает, что нередки случаи, когда эта зависимость нарушается в силу того, что теплотворность рабочей смеси, определяющая при прочих равных условиях количество тепла, введенного в двигатель в единицу времени, зависит от величины L_0, которая различна для всех компонентов смеси.

Из отдельных газов (не смешанных) максимальную теплотворность имеет бутан — 25 900 *ккал/нм³* (при 15° С и 1 *ата*) и мини-

мальную — водород — 2570 *ккал/нм³*, т. е. приблизительно в 11 раз меньше, чем у бутана. Если сравнить теплотворность смесей этих газов с воздухом при $\alpha = 1$, то окажется, что бутано-воздушная смесь обладает теплотворностью 809 *ккал/нм³*, а водородно-воздушная — 718 *ккал/нм³*, т. е. разница составляет всего лишь 11%.

Сравнивая бутан с окисью углерода (теплотворность которой равна 2800 *ккал/нм³*, т. е, примерно в 9 раз меньше, чем у бутана), получим, что теплотворность смеси окиси углерода с воздухом равна 854 *ккал/нм³*, т. е. на 5% больше чем у бутана.

Подобную картину мы можем наблюдать и при сравнении компонентов генераторного газа между собой. Так, теплотворность 1 *нм³* метана примерно в $2^1/_2$ раза больше теплотворности CO и H_2, а теплотворность рабочей смеси его с воздухом при $\alpha = 1$ меньше, чем у окиси углерода, и немного больше, чем у водорода.

При увеличении α теплотворность метана падает быстрее, чем теплотворность окиси углерода и водорода, и для значения $\alpha = 1{,}5$ теплотворность рабочей смеси метана с воздухом становится ниже, чем смеси водорода с воздухом.

Следовательно, если при одинаковом значении теплотворности газа содержание горючих компонентов в газе будет изменяться, то и теплотворность рабочей смеси генераторного газа будет также изменяться. В этом можно убедиться из данных табл. 31, где дана зависимость теплотворности рабочей смеси H_g от состава газа.

Таблица 31

Зависимость теплотворности рабочей смеси от содержания и состава горючих в газе и коэффициента избытка воздуха

Состав газа в % по объему			Теоретически необходимое количество воздуха L_0 *м³/м³*	Теплотворность рабочей смеси H_g *ккал/нм³*		
CO	H_2	CH_4		$\alpha = 1{,}0$	$\alpha = 1{,}1$	$\alpha = 1{,}5$
34,7	—	—	0,83	576	527	470
22,0	10,0	1,5	0,91	551	505	446
18,0	12,0	2,34	0,94	541	495	436
14,0	15,0	2,84	0,97	534	487	430

Данные таблицы показывают, что разница между теплотворностями рабочих смесей доходит до 10%, несмотря на то, что H_g остается одинаковым для всех газов. Отсюда можно сделать вывод о том, что не всегда величину H_u можно принимать за критерий качества газа. С другой стороны, и величина H_g в формуле индикаторной мощности является лишь приближенным параметром для ее определения.

Следовательно, выражение для N_i будет справедливо при условии, если теплотворность газовоздушной смеси, коэффициент молекулярного изменения и теплоемкость продуктов сгорания останутся постоянными.

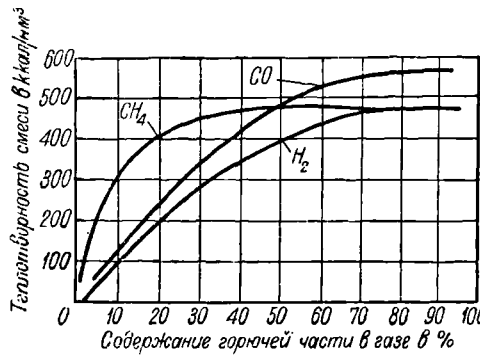
Таким образом, судить о качестве газогенераторного газа как моторного топлива можно только по теплотворности его рабочей смеси с воздухом при данном α.

При $\alpha = 1$ теплотворность газовоздушной смеси отдельных горючих компонентов генераторного газа характеризуется следующими величинами: для CO — 900 *ккал/нм*³; для CH_4 — 815 *ккал/нм*³; для H_2 — 765 *ккал/нм*³.

Однако это не значит, что с точки зрения теплотворности рабочей смеси генераторного газа, а следовательно, и мощности двигателя наиболее выгодным компонентом является окись углерода.

Это положение, правильное отдельно для окиси углерода, оказывается неверным для генераторного газа, состоящего на 60—70% из инертных газов (N_2 и CO_2).

Из данных фиг. 86, показывающих изменение теплотворности газовоздушной смеси в зависимости от содержания отдельных компонентов горючей части в газе при $\alpha = 1{,}15$, можно сделать следующий вывод: наиболее выгодной составляющей газа в пределах 55% объема его горючей части, с точки зрения теплотворности рабочей смеси, является метан. В то же время, поскольку содержание горючей части в генераторном газе никогда не составляет 50%, то становится ясным, что при данном α увеличение количества метана в составе газа следует признать явлением положительным. Некоторым преимуществом метана перед водородом и окисью углерода является повышенный коэффициент молекулярного изменения (отношение количества продуктов сгорания и остаточных газов в молях к количеству поступившей в цилиндр смеси и остаточных газов).



Фиг. 86. Влияние содержания горючей части в газе на теплотворность смеси.

В результате сгорания генераторного газа при постоянной теплотворности рабочей смеси, но с различным содержанием метана, большее среднее индикаторное давление P_i получается для газа, содержащего больше метана.

29. Способы повышения мощности двигателя при работе на генераторном газе

При выборе способов повышения мощности четырехтактного двигателя при переводе на газ и анализе влияния различных факторов на индикаторную мощность двигателя значительные удобства представляет предложенное проф. Стечкиным выражение индикаторной мощности для дизелей и карбюраторных двигателей, вполне применимое и для газовых двигателей.

В этом случае оно примет следующий вид:

$$N_i = \frac{30}{632} V_h n \frac{H_u}{1+\varphi} \eta_i \eta_v \gamma, \qquad (147)$$

где V_h — рабочий объем всех цилиндров в $м^3$,

n — число оборотов двигателя в минуту;

H_u — теплотворность генераторного газа в $ккал/нм^3$;

φ — весовой коэффициент смешения газа и воздуха;

$$\varphi = \frac{G_в \text{ (часовой расход воздуха)}}{G_г \text{ (часовой расход газа)}};$$

η_i — индикаторный к. п. д.;

η_v — коэффициент наполнения;

γ — удельный вес теплового заряда в $кг/нм^3$.

Для выбранного двигателя рабочий объем V_h и число оборотов n заданы конструкцией и изменению не подлежат. Следовательно, повышение мощности двигателя может быть осуществлено путем воздействия на следующие величины: $\frac{H_u}{1+\varphi}$ — теплотворность смеси; η_i — индикаторный к. п. д.; η_v — коэффициент наполнения; γ — удельный вес смеси.

Теплотворность рабочей смеси может быть повышена: улучшением процесса газификации топлива в газогенераторе за счет измельчения и подогрева топлива и воздуха; введением в зону восстановления газогенератора отработавших газов или различных сложных углеводородов (отработанного масла и др.); присадкой к газовоздушной смеси жидкого топлива (керосина, скипидара и др.) — в случае необходимости форсирования двигателя (экономайзерная присадка). В этих условиях расход жидкого топлива обычно составляет не более 20—30% от нормального.

Способ присадки жидкого топлива не получил распространения, поскольку он противоречит основной идее применения генераторного газа в двигателях внутреннего сгорания.

Достаточно эффективным методом борьбы с падением мощности двигателя при переводе на генераторный газ является повышение степени сжатия. Как известно, теоретическая зависимость между термическим коэффициентом полезного действия и степенью сжатия для цикла при постоянном объеме выражается следующим уравнением;

$$\eta_t = 1 - \varepsilon^{1-k}, \qquad (148)$$

где ε — степень сжатия;

k — показатель адиабаты.

Для рабочей смеси определенного состава термический к. п. д. будет зависеть только от степени сжатия; очевидно, повышая степень сжатия, можно добиться повышения термического к. п. д., а следовательно, и мощности двигателя.

Для бензиновых двигателей верхний предел степени сжатия определяется явлениями детонации и наступает уже при степени сжатия, равной шести.

Для газовых двигателей этот предел выше. По условиям самовоспламенения и детонации, степень сжатия в газовых двигателях может быть доведена до 10, однако характер функциональной зависимости $\eta_t = f(\varepsilon)$ таков, что дальнейшее увеличение степени сжатия перестает быть эффективным; это видно из данных НАМИ, приведенных в табл. 32.

Таблица 32

Зависимость термического к. п. д. η_t от степени сжатия ε

Идеальный цикл				Действительный цикл		
ε	η_i	Увеличение η_t в %	Увеличение η_t в % на единицу степени сжатия	P_e кг/см²	Увеличение P_e в %	Увеличение P_e в % на единицу степени сжатия
4,2 / 6,4	0,40 / 0,48	20	9	3,50 / 4,45	27	12
6,4 / 7,4	0,48 / 0,50	4	4	4,45 / 4,70	5	5

Таким образом, средний прирост P_e на единицу степени сжатия составляет в зоне малых ε 12% и в зоне более высоких ε 5%.

Рассмотрение данного вопроса проф. Масленниковым применительно к авиационным двигателям [13] позволяет установить следующую зависимость: изменение степени сжатия влияет на коэффициент наполнения в зависимости от отношения давлений на входе во впускную систему двигателя (P_k) и на выходе (P_h). Для обычных двигателей $\frac{P_h}{P_k} = 1$ и не влияет на относительное изменение коэффициента наполнения.

Для двигателей с наддувом от приводного нагнетателя $\frac{P_h}{P_k} < 1$, и коэффициент наполнения с повышением ε ухудшается. Наконец, при турбонаддуве бывает, что $\frac{P_h}{P_k} > 1$, и в этом случае повышение степени сжатия благоприятно влияет на η_v.

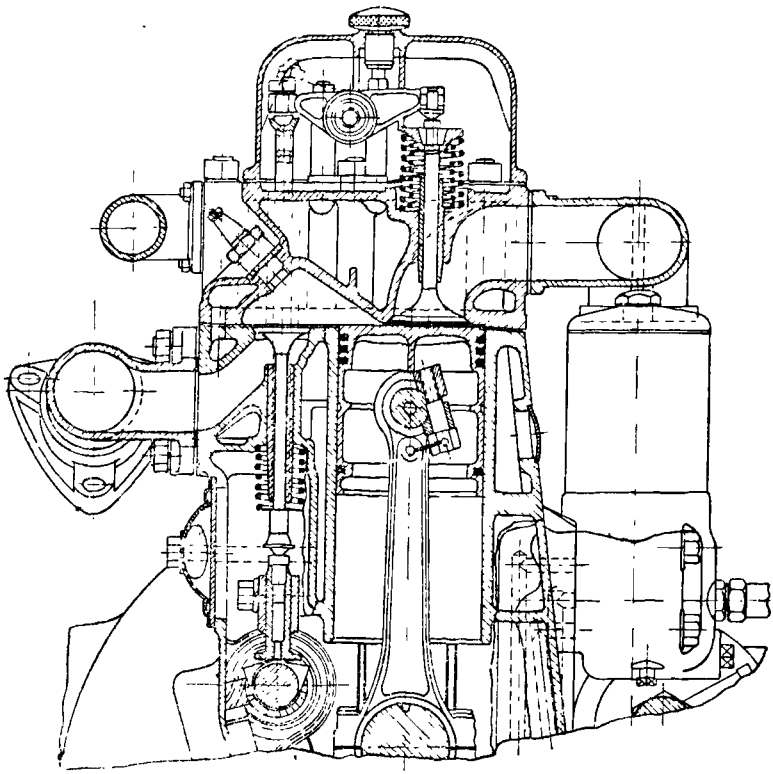
Указанные обстоятельства, а также затрудненный пуск и ухудшение работы свечей явились причиной того, что в существующих конструкциях газовых двигателей небольшой мощности степень сжатия не превышает 7—8.

Увеличение степени сжатия в двигателях при переводе на газ осуществляется двумя путями: а) установкой новой головки цилиндров с уменьшенной камерой сжатия и б) установкой новых поршней с удлиненной верхней частью.

Камера сгорания должна быть компактной, без острых углов и резких переходов; при искровом зажигании свеча должна быть расположена ближе к всасывающему клапану.

Для более быстрого сгорания рабочей смеси иногда в каждом цилиндре устанавливаются по две свечи.

Увеличение коэффициента наполнения двигателя может быть осуществлено следующими методами: а) понижением температуры смеси; б) уменьшением сопротивления газогенераторной установки; в) уве-



Фиг. 87. Поперечный разрез двигателя ЗИС-ВК1, переоборудованного для работы на генераторном газе путем установки головки блока с верхними всасывающими клапанами.

личением времени открытия и высоты подъема клапанов; г) наддувом газовоздушной смеси при помощи нагнетателя.

Понижение температуры газовоздушной смеси достигается путем охлаждения поступающего в смеситель генераторного газа и отделением всасывающего коллектора от выхлопного для устранения подогрева газовоздушной смеси.

Для уменьшения сопротивления, оказываемого газовоздушной смеси, необходимо, чтобы газовые каналы всасывающего коллектора имели достаточные сечения и были выполнены без резких перегибов.

Общее сопротивление газогенераторной установки в основном зависит от сопротивления газогенератора и очистителей. В целях уменьшения сопротивления установки не следует устанавливать в очи-

стителях слишком плотную набивку и чрезмерно уменьшать живое сечение газопроводов.

Чтобы увеличить время поступления газовоздушной смеси в цилиндры, изменяют положение кулачкового валика (при боковом нижнем положении клапанов) и заменяют клапанные коромысла (при верхнем расположении клапанов), или, при более сложной переделке двигателя, осуществляют перестановку всасывающего клапана наверх.

При верхнем клапане становится возможным увеличить не только сечение всасывающего коллектора, но и проходное сечение всасывающего клапана.

По этому принципу в НАТИ В. А. Колосовым и М. С. Бурковым была спроектирована и изготовлена головка блока для двигателя ЗИС-5 (ЗИС-ВК).

На фиг. 87 приведен продольный разрез двигателя ЗИС-ВК. В результате применения головки двигателя и увеличения степени сжатия ($\varepsilon = 8{,}5$), мощность двигателя ЗИС-ВК на генераторном газе оказалась равной 68,5 *л. с.*, т. е. только на 4,8% меньше бензиновой мощности.

Работа по применению наддува в целях повышения мощности двигателей, работающих на генераторном газе, была впервые проведена в СССР в 1932 г. в НИДИ (ныне Центральный научно-исследовательский дизельный институт).

Повышение плотности газовоздушной смеси, достигаемое при этом способе, и увеличение среднего эффективного давления являются весьма важными обстоятельствами, приводящими к значительному увеличению мощности двигателя.

Наддув газового двигателя, работающего на генераторном газе, может быть осуществлен по двум принципиальным схемам:

а) с расположением нагнетателя перед генераторной установкой (фиг. 88) и

б) за генераторной установкой (фиг. 89).

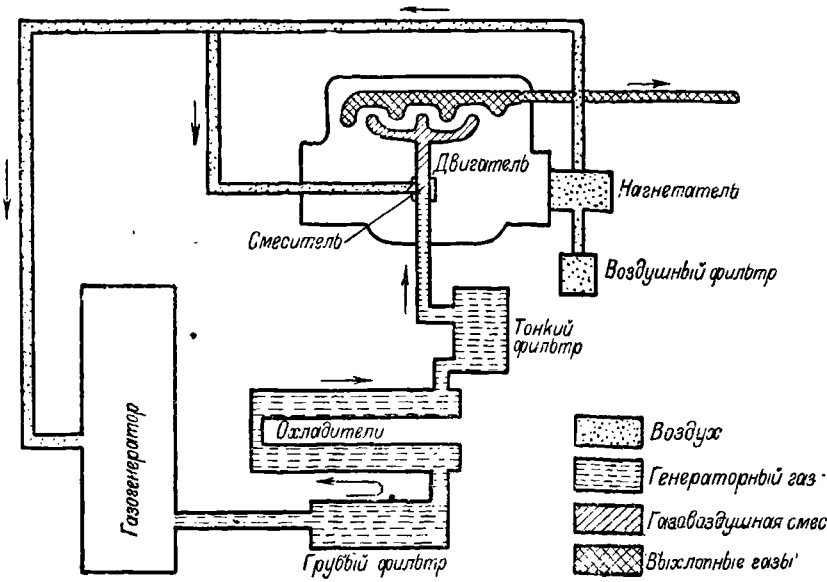
В первом случае нагнетатель подает воздух в генератор и смеситель, и установка находится под избыточным давлением; во втором нагнетатель, находясь за генераторной установкой, засасывает газовоздушную смесь и подает ее под избыточным давлением в двигатель. В этом случае газогенераторная установка работает под разрежением.

Достоинством первой схемы является то, что нагнетатель, пропуская через себя воздух, не засоряется, скорости газа в проходных сечениях газогенератора не увеличиваются, вследствие чего потеря напора в газогенераторной установке возрастает незначительно.

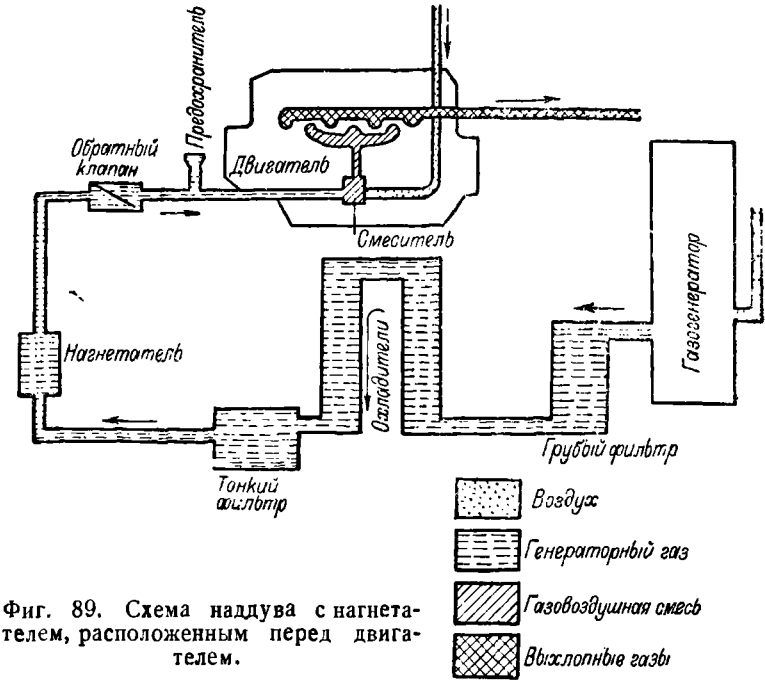
Недостаток этой схемы состоит в том, что газогенераторная установка, находясь под избыточным давлением, должна удовлетворять повышенным требованиям в отношении прочности и плотности.

Вторая схема наддува лишена этого недостатка, но требует увеличения проходных сечений и грозит быстрым загрязнением и выходом нагнетателя из эксплоатации.

Практически применяются обе схемы, причем объемные нагнетатели используются только по первой схеме.



Фиг. 88. Схема наддува с нагнетателем, расположенным перед газогенераторной установкой.



Фиг. 89. Схема наддува с нагнетателем, расположенным перед двигателем.

Обычно для наддува используются центробежные воздуходувки и объемные с механическим приводом или приводом от газовой турбины, работающей на отработавших газах.

Более значительное распространение получили турбонагнетатели, однако надо иметь в виду, что степень наддува турбонагнетателей определяется энергией отработавших газов. Поэтому для двигателей небольшой мощности, из-за низкого к. п. д. нагнетателя, редко удается достичь давления за газогенератором выше 0,35 *ат*, что обуславливает меньший прирост мощности при наддуве от турбонагнетателя, чем при работе с приводным нагнетателем.

В табл. 33 приведены примерные данные мощности двигателя при работе с наддувом и без наддува с различными нагнетателями.

Таблица 33

Данные мощности двигателя при работе без наддува и с наддувом

Наименование параметра	Двигатель без наддува	Двигатель с наддувом		
		нагнетатель объемный	нагнетатель центробежный	нагнетатель центробежный, привод от отработавших газов
		механический привод		
Эффективная мощность в *л. с.*	75	96	114	132
Прирост мощности в *л. с.*	—	21	39	57
То же в %	—	28	52	76

При объемном нагнетателе получается меньший прирост мощности, чем при центробежном. Это объясняется тем, что объемный нагнетатель потребляет больше энергии и дает больший подогрев на выходе из нагнетателя. Наибольший прирост мощности двигателя получается при центробежном нагнетателе с приводом от газовой турбины.

Повышение мощности двигателя путем увеличения литража осуществляется расточкой цилиндров, либо установкой новых гильз большего диаметра. Этот способ повышения мощности целесообразно осуществлять в сочетании с другими, так как сам по себе он дает увеличение мощности всего лишь на 4—5%.

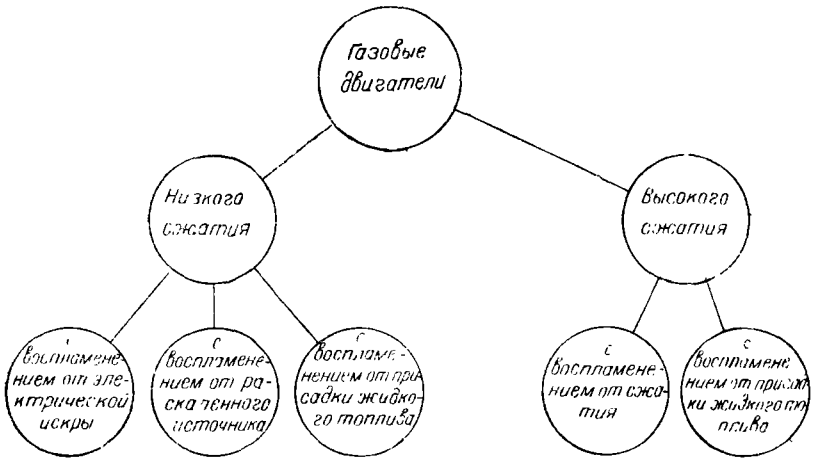
Осуществление приведенных способов повышения мощности двигателя при переводе на газ может обеспечить мощность, равную мощности при работе на жидком топливе, а в случае применения наддува — и повысить ее.

30. Классификация газовых двигателей и их основные параметры

Утвержденный Всесоюзным комитетом стандартов 20. X. 1944 г. ГОСТ 2674—44 в разделе „Классификация двигателей внутреннего сгорания" определяет газовый двигатель, как двигатель газообразного топлива с внешним и внутренним смесеобразованием.

В двигателе с внешним смесеобразованием горючая газовоздушная смесь образуется вне рабочего цилиндра, в особом приборе, называемом смесителем. В двигателе с внутренним смесеобразованием горючая смесь образуется внутри рабочего цилиндра.

По способу осуществления цикла все газовые двигатели можно разбить на два основные класса — четырехтактные двигатели и двухтактные двигатели, однако наиболее характерным признаком современного газового двигателя все же следует считать способ воспла-



Фиг. 90. Классификация газовых двигателей по способу воспламенения газовоздушной смеси.

менения рабочей смеси, по которому и нужно классифицировать эти двигатели (фиг. 90). Приводимые ниже данные газовых двигателей, характеризующие мощность, конструктивные, термодинамические и другие параметры, являются средними, относящимися к некоторым существующим типам двигателей. Эти данные нельзя рассматривать как предельные; напротив, их улучшение является одной из основных задач в области создания более совершенных и экономичных отечественных газовых двигателей.

Расширение области применения газовых двигателей и их внедрение в различные отрасли народного хозяйства, начиная от привода небольших садовых насосов в сельском хозяйстве до установки на электростанциях, требует большого диапазона мощностей. Агрегатная мощность N_e четырехтактных газовых двигателей колеблется в пределах от 4 до 3600 *л. с.* при цилиндровой мощности $\frac{N_e}{i}$ от 2 до 400 *л. с.* Агрегатная мощность двухтактных газовых двигателей несколько выше и находится в пределах от 2 до 4000 *л. с.* при цилиндровой мощности от 2 до 600 *л. с.*

Число цилиндров маломощных быстроходных газовых двигателей колеблется от 1 до 4. Для четырехтактных двигателей средних и больших мощностей характерно четное число цилиндров. Двухтакт-

ные двигатели выполняются также и с нечетным числом цилиндров (3; 5). Число цилиндров 6 и 8 характерно для газовых двигателей быстроходного типа (газовые автотракторные и стационарные) и для двигателей с агрегатной мощностью от 1500 до 4000 *л. с.*

Отношение хода поршня к диаметру цилиндра $\frac{S}{D}$ в газовых двигателях имеет следующие средние значения:

	Тихоходные	Быстроходные
Четырехтактные	1,25—1,45	0,95—1,40
Двухтактные	1,15—1,35	—

Наибольшее распространение получили четырехтактные газовые двигатели. В области двухтактных двигателей газомоторостроение развито слабо и ограничено двигателями небольшой мощности.

В существующих конструкциях двухтактных газовых двигателей применяется продувка смесью и наиболее экономичная продувка воздухом, с устройством специального воздушного клапана или пульсатора для двигателей с кривошипно-камерной продувкой.

Значения литровой мощности для газовых двигателей следующие (в *л. с/л*):

Тихоходные двигатели

Четырехтактные без наддува	до 3
Четырехтактные с наддувом	„ 3,5
Двухтактные	„ 5

Быстроходные двигатели

Четырехтактные	до 18
Двухтактные	„ 22

Малолитражные двигатели

Четырехтактные	до 7,0
Двухтактные	„ 8,0

Литрооборотная мощность составляет (в *л.с./л.об.*):

Тихоходные двигатели

Четырехтактные без наддува . . .	до 0,0042
Четырехтактные с наддувом	„ 0,0063
Двухтактные	„ 0,018

Быстроходные двигатели

Четырехтактные	до 0,0055
Двухтактные	„ 0,021

Среднее эффективное давление составляет (в *кг/см²*):

Для генераторного газа

В двигателях четырехтактных без наддува .	не ниже 4,0
Двигателях четырехтактных с наддувом . .	не ниже 4,5—5,5
В двигателях двухтактных с кривошипно-камерной продувкой	не ниже 2,5

Для природного газа

В двигателях четырехтактных без наддува .	не ниже 5,0
В двигателях четырехтактных с наддувом . .	не ниже 6,0—7,0
В двигателях двухтактных	не ниже 4,0

В случаях работы газовых двигателей с присадкой запального жидкого топлива величина среднего эффективного давления должна быть выше указанной не менее чем на 10%.

Определяющим экономическим параметром газовых двигателей является удельный расход тепла, который составляет следующие величины:

Четырехтактные тихоходные двигатели не выше 2400 *ккал/э.л.с.-час*
Четырехтактные быстроходные двигатели не выше 2700 „

Удельный расход тепла у двигателей с присадкой жидкого запального топлива должен быть не менее чем на 10% ниже, чем у двигателей с электрическим зажиганием.

Количество жидкого запального топлива при работе двигателя на генераторном газе не должно превышать 15—18% и при работе на природном газе — 10% от расхода при работе двигателя на жидком топливе.

Число оборотов в минуту различных двигателей составляет:

Тихоходных	250— 750
Быстроходных	1000—1500
Быстроходных для газоходов и электростанций	1500—2400
Маломощных	1500—2500

Средняя скорость поршня двигателей:

Тихоходных	до 6,5 *м/сек*
Быстроходных	свыше 6,5 „

Удельный вес двигателей различных типов:

	Для генераторного газа	Для природного газа
Тихоходные стационарные	не выше 70 *кг/э. л. с.*	не выше 60 *кг/э. л. с.*
Быстроходные „	не выше 20 „	не выше 17 „
Быстроходные для газоходов (автотракторного типа)	не выше 9 „	
Малолитражные четырехтактные	не выше 30 „	
Малолитражные двухтактные	не выше 20 „	

31. Принципы перевода двигателей с жидкого топлива на газ

Недостаток в газовых двигателях, а также необходимость всемерной экономии жидкого топлива привели к работам по приспособлению бензино-керосиновых, преимущественно карбюраторных двигателей, нефтяных двигателей, калоризаторных двигателей и двигателей, работающих с воспламенением от сжатия, для работы на газе.

Основным методом перевода бензино-керосиновых двигателей для работы на газе является повышение степени сжатия и улучшение наполнения. Для этого производится замена цилиндровых крышек или поршней, устанавливается газосмесительное устройство и несколько приспосабливается система электрозажигания.

Перевод калоризаторных нефтяных двигателей на газ осуществляется тремя способами: с воспламенением сжатой газовоздушной смеси от искры, с воспламенением от калоризатора и с воспламенением от небольшой порции жидкого топлива, направляемой на раскаленную поверхность калоризатора. Такой газожидкостный процесс обеспечивает надежную и устойчивую работу калоризаторного двигателя, поддерживая достаточно высокую температуру поверхности калоризатора даже при значительных колебаниях нагрузки.

Механическое использование методов перевода на газ карбюраторных двигателей для двигателей, работающих с воспламенением от сжатия, со снижением степени сжатия и установкой электрического зажигания, задерживало перевод этих двигателей на газообразное топливо. Однако, практически, приспособление двигателей, работающих с воспламенением от сжатия, для работы на газе оказалось более доступным и обеспечило больший эффект, при сохранении основных особенностей этих двигателей — высокой степени сжатия и самовоспламенения заряда в цилиндре.

В настоящее время перевод двигателей, работающих с воспламенением от сжатия, на газ осуществляется тремя способами:

1) всасыванием воздуха и подачей газа до конца сжатия; при этом происходит самовоспламенение газовоздушной смеси за счет высокой температуры заряда в конце сжатия;

2) всасыванием воздуха и подачей газа незадолго до конца сжатая; при этом воспламенение газовоздушной смеси обеспечивается впрыскиванием через форсунку небольшого количества запального жидкого топлива;

3) всасыванием газовоздушной смеси и сжатием ее в цилиндре до высоких температур и давлений, с впрыскиванием небольшого количества запального топлива.

По протеканию процесса сгорания современные газовые поршневые двигатели можно разделить на три группы: быстрого сгорания, постепенного сгорания и смешанного сгорания.

К первой группе относятся наиболее распространенные газовые двигатели низкого сжатия, в которых воспламенение горючей смеси происходит от электрической искры или раскаленного источника (калоризатора). Процесс сгорания топлива в двигателях этой группы, как четырехтактных, так и двухтактных, протекает при постоянном объеме ($V = \text{const}$).

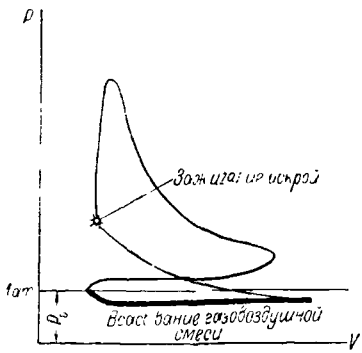
Приспособление этой группы двигателей для работы на газе осуществляется повышением степени сжатия, установкой смесителя (или смесительного клапана — в двухтактных двигателях), с изменением фаз газораспределения.

В существующих газовых двигателях этого типа верхний предел допустимой степени сжатия определяется условиями нормального горения, в силу чего величина степени сжатия газовых двигателей практически не превышает 8, редко 10.

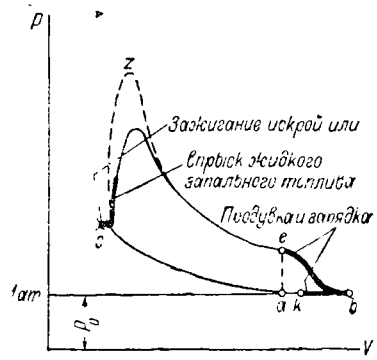
У большинства наиболее распространенных газовых четырехтактных двигателей как автотракторного, так и стационарного типов ра-

бочий процесс протекает по указанному выше циклу, с подводом газовоздушной смеси в течение хода всасывания (фиг. 91). Сущность работы двигателя заключается в том, что в цилиндры двигателя засасывается рабочая газовоздушная смесь, приготовляемая в смесителе, затем сжимается до температуры ниже температуры самовоспламенения этой смеси. В крайнем верхнем положении поршня смесь воспламеняется искрой от электросвечи или калоризатора.

В двухтактных газовых двигателях, работающих при постоянном объеме, процесс может осуществляться двумя способами: продувкой



Фиг. 91. Рабочий цикл четырехтактного газового двигателя с подводом газа в течение хода всасывания ($V = \text{const}$).



Фиг. 92. Рабочий цикл двухтактного газового двигателя с процессом сгорания при постоянном объеме ($V = \text{const}$) с продувкой смесью.

и зарядкой цилиндра газовоздушной смесью через продувочные окна или раздельной подачей газа и воздуха и продувкой цилиндра одним воздухом. Экономичность второго способа значительно выше, так как отсутствуют потери газа при продувке.

У большинства двухтактных двигателей, переведенных на генераторный газ, продувка и зарядка цилиндра осуществляются газовоздушной смесью, приготовляемой в газосмесительном клапане, установленном на картере двигателя. Расход рабочей смеси на продувку этого типа двигателя составляет 25—30%. При этом роль продувочного насоса в двухтактных двигателях выполняет герметически закрытый картер двигателя.

На фиг. 92 приведена диаграмма двухтактного газового двигателя с процессом сгорания при постоянном объеме ($V = \text{const}$).

Здесь линия bk — продувка цилиндра газовоздушной смесью или воздухом, ka — вытеснение смеси или воздуха из цилиндра; в точке a — закрытие окон; ac — сжатие (первый такт); cz — горение при постоянном объеме; ze — расширение продуктов сгорания; eb — выпуск и продувка (второй такт).

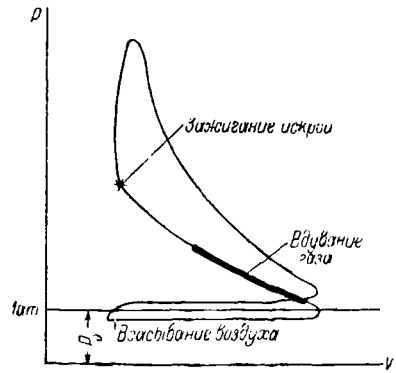
Воспламенение смеси происходит в точке c с помощью электрической свечи, калоризатора или небольшой дозы запального нефтя-

ного топлива. В последнем случае процесс получает название газожидкостного.

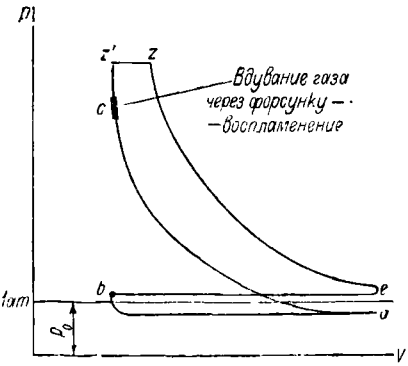
Специально газовым циклом является четырехтактный цикл, отличающийся от только что рассмотренного цикла большим зарядом рабочей смеси, в результате своеобразного наддува.

На фиг. 93 приведена диаграмма этого цикла. Рабочий процесс его заключается во всасывании чистого воздуха, вдувании газа в камеру сгорания при давлении в 3—5 *ат* в первой половине хода сжатия и принудительном зажигании смеси электрической искрой в конце хода сжатия.

Увеличение наполнения по этому циклу происходит вследствие замещения воздухом объема, обычно занимаемого до всасывания га-



Фиг. 93. Рабочий цикл четырехтактного газового двигателя с вдуванием рабочей смеси при давлении 3—5 *ат* в первой половине хода сжатия.



Фиг. 94. Рабочий цикл четырехтактного газового двигателя, работающего с воспламенением от сжатия при $P = \text{const}$.

зом, и уменьшения гидравлических потерь в результате упрощения всасывающей системы.

Эффективный к. п. д. этого цикла несколько ниже обычного четырехтактного цикла, вследствие худших условий смесеобразования.

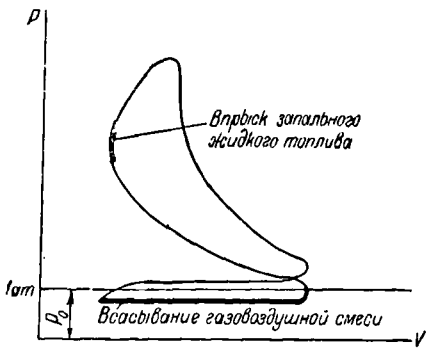
К второй группе относятся газовые двигатели с воспламенением от сжатия, в которых происходит постепенное сгорание топлива, соответствующее в идеальном цикле сообщению тепла рабочему телу только по изобаре ($P = \text{const}$), т. е. процессу с теоретически постоянным давлением. Диаграмма такого цикла приведена на фиг. 94.

Воздух засасывается в цилиндр через всасывающий канал в первом такте по линии *ba*. При следующем ходе поршня воздух сжимается до давления 20—35 *ата* (линия *ac* — второй такт); при этом его температура повышается примерно до 500° С.

При подходе поршня к верхней мертвой точке в цилиндр через форсунку вводится под большим давлением газ и воспламеняется от высокой температуры сжатого в цилиндре воздуха. Подача газа

в цилиндр осуществляется таким образом, что вначале горение протекает при почти постоянном объеме (линия cz') с повышением давления до 40—50 *ата* (первый период горения). Далее (второй период) горение продолжается при почти постоянном давлении в цилиндре (линия $z'z$). В конце хода поршня открывается выпускной клапан и происходит выпуск продуктов сгорания (линия ez — рабочий ход — третий такт). Двигаясь вверх, поршень выталкивает продукты сгорания через выпускной клапан и выпускную трубу (линия eb — четвертый такт).

Работа газового двигателя с воспламенением от сжатия и с подводом газа через форсунку в конце хода сжатия была осуществлена проф. Е. К. Мазингом (МВТУ) в 1934. на компрессорном четырехтактном дизеле. Однако схема оказалась слишком громоздкой, требовавшей дополнительно компрессора и устройств, усложняющих эксплоатацию. Единственным ее достоинством оказалось отсутствие потребления жидкого топлива.



Фиг. 95. Рабочий цикл четырехтактного газового двигателя смешанного сгорания (цикл Триклера).

К третьей группе относятся газовые двигатели преимущественно высокого сжатия, работающие по способу смешанного сгорания [1] с подводом одной части тепла при $V = \text{const}$ и другой при $P = \text{const}$ и с присадкой запального жидкого топлива.

Этот способ воспламенения газовоздушной смеси оказался наиболее эффективным при переводе на газообразное топливо двигателей, работающих с воспламенением от сжатия, обеспечивая в случае необходимости возможность быстрого перехода на жидкое топливо; благодаря этому, эти двигатели иногда называются двигателями двойного топлива или газожидкостными.

Диаграмма рабочего цикла двигателей смешанного сгорания приведена на фиг. 95. Рабочий процесс в таком двигателе характеризуется тем, что в период сжатия в цилиндре двигателя находится газовоздушная смесь, а жидкое топливо вводится в него в конце сжатия и, самовоспламеняясь, поджигает смесь.

Сгорание этих двух топлив происходит с бо́льшим или меньшим повышением давления, которое в основном зависит от момента подачи жидкого запального топлива. Сам процесс сгорания приближается к неуправляемому и характеризуется увеличенным запаздыванием воспламенения и расширением диапазона сгорания по избытку воздуха. Скорость нарастания давления $\frac{dP}{d\varphi}$ и максимальные давления

[1] Цикл впервые предложен профессором Горьковского института водного транспорта Г. В. Тринклером.

цикла P_z обычно удается привести к допустимым величинам путем увеличения коэффициента избытка воздуха и подбора момента зажигания.

Увеличение запаздывания воспламенения смешанного цикла по сравнению с циклом при $P = \text{const}$ составляет 4—8° поворота коленчатого вала. Причиной этого является уменьшение количества кислорода к моменту впрыска запального топлива вследствие начавшейся еще в процессе сжатия реакции окисления в газовоздушной смеси. Это окисление является началом цепной реакции, ведущей к самовоспламенению, которое, однако, не успевает завершиться ввиду малого времени, и лишь добавочная энергия впрыскиваемого легко воспламеняющегося жидкого топлива вызывает горение.

Минимальный расход жидкого запального топлива определяется величиной потребной энергии для воспламенения и бесперебойного сгорания. Для однокамерных двигателей при полной нагрузке минимальный расход запального топлива составляет 10—13% от расхода при работе только на жидком топливе. Для двигателей, у которых доступ струй жидкого топлива к центру заряда газовоздушной смеси затруднен (предкамерные и т. п.), расход жидкого топлива увеличивается до 20%.

Существенное влияние на экономичность и мощность газового двигателя, работающего по смешанному циклу, с присадкой запального жидкого топлива, оказывает коэффициент избытка воздуха α, от которого непосредственно зависит теплотворность смеси H_g и термический к. п. д. η_t.

В соответствии с этим H_g для газожидкостного процесса определится из следующей формулы:

$$H_g = (1 + r) H_u, \tag{149}$$

где r — доля тепла, вводимого жидким запальным топливом;

H_u — низшая теплотворность газа.

Величина избытка воздуха $\alpha_{\text{г. ж}}$ будет равна

$$\alpha_{\text{г. ж}} = \alpha_{\text{г}} \frac{1}{1 + r \dfrac{H_u \cdot L_{\text{ж}}}{H_{\text{ж}} \cdot L_{\text{г}}}}, \tag{150}$$

где H_u, $H_{\text{ж}}$, $L_{\text{г}}$ и $L_{\text{ж}}$ — соответственно низшая теплотворность и количество воздуха, необходимые для сгорания газа и жидкого топлива.

Установка всасывающего коллектора приводит к уменьшению коэффициента наполнения η_v обычно не более, чем на 4%.

В результате сочетаний циклов при $V = \text{const}$ (лучшее смесеобразование) и $P = \text{const}$ (высокая степень сжатия), η_e — эффективный к. п. д. смешанного цикла, осуществляемого в газовом двигателе высокого сжатия, с присадкой запального жидкого топлива, при равных ε и α на 10—20% выше, чем η_e цикла с постоянным давлением сгорания,

В СССР наибольшее распространение получил метод работы двигателя на газе по циклу с постоянным объемом, с подводом газа на протяжении хода всасывания и воспламенением смеси от искры.

В случае перевода существующего двигателя на газ этот метод сопряжен с известными трудностями, так как требует уменьшения объема камеры сжатия и иногда установки пускового карбюратора и электрического зажигания.

Однако при создании новых конструкций газовых двигателей и организации их массового производства указанный выше метод может быть признан одним из лучших для самых разнообразных областей народного хозяйства.

Работа газовых двигателей по газожидкостному процессу не может быть рекомендована для целей широкого внедрения, как противоречащая экономической сущности идеи внедрения газомоторных установок и связанная с расходом жидкого топлива.

Такого типа двигатели могут найти лишь ограниченное применение, например, в речном флоте на газоходах и в некоторых других специальных областях.

32. Смесеобразование

Газовый двигатель работает на смеси газа с воздухом. В зависимости от типа двигателя и его параметров приготовление газовоздушной смеси осуществляется в специальных приборах-смесителях (двигатели с внешним смесеобразованием) или происходит в цилиндре (двигатели с внутренним смесеобразованием).

При помощи смесителя представляется возможным регулировать качество и количество смеси, поступающей в цилиндры двигателя. Смесительное устройство может быть общим для всего двигателя (выносное) или индивидуальным для каждого цилиндра.

Выносные смесители газа. Выносные смесители газа, общие для всего двигателя, чаще всего применяются в автотракторных и стационарных двигателях небольшой мощности. Применение такого смесительного органа обеспечивает равномерность состава рабочей смеси по цилиндрам и простоту ручной регулировки смесительных органов.

Вопрос о значении и наиболее целесообразной конструкции газового смесителя долго оставался спорным. Однако опыты, проведенные НАТИ по исследованию конструкций смесителей, показали, что различные типы смесителей при равных гидравлических сопротивлениях оказывают одинаковое влияние на мощность, развиваемую двигателем.

На мощность двигателя влияет главным образом сопротивление смесителя. Перемешивание газа с воздухом происходит достаточно совершенно даже в простом тройнике, и поэтому отпадает необходимость усложнять конструкцию смесителя.

Кроме изложенного, необходимо иметь в виду, что использование в смесителе избыточного давления воздуха над газом обеспечивает инжектирование газа, одновременно снижая сопротивление смесителя в целом и повышая мощность двигателя.

Качественная регулировка смеси осуществляется путем регулировки количества воздуха, для чего воздухопровод имеет дроссельное устройство. В зависимости от взаимного направления потоков воздуха

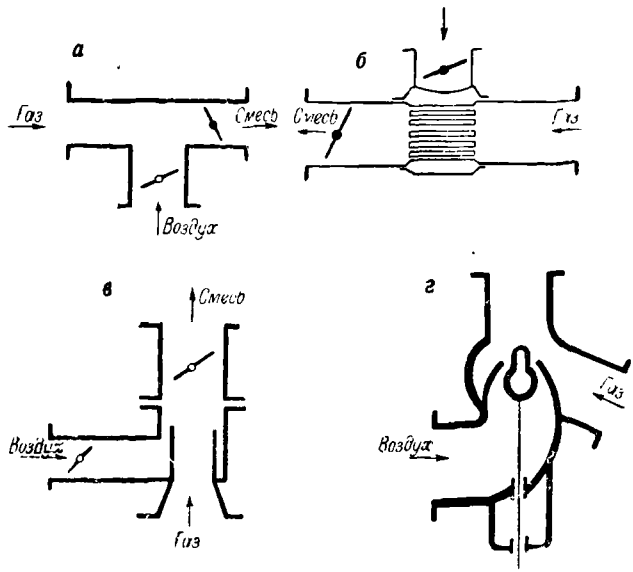
и газа, необходимых для образования газовоздушной смеси, смесители бывают следующих типов (фиг. 96):

1) с пересекающимися потоками воздуха и газа: простые (*а*); струйные (*б*).

2) с параллельными потоками воздуха и газа: простые (*в*); эжекционные (*г*).

Принципы работы смесителей ясны из приведенных схем.

Отличительной особенностью эжекционного смесителя является расположение органа, регулирующего количество воздуха, в непос-



Фиг. 96. Схемы газовоздушных смесителей с пересекающимся потоком:

а — простой; *б* — струйный с параллельным потоком; *в* — простой; *г* — эжекционный.

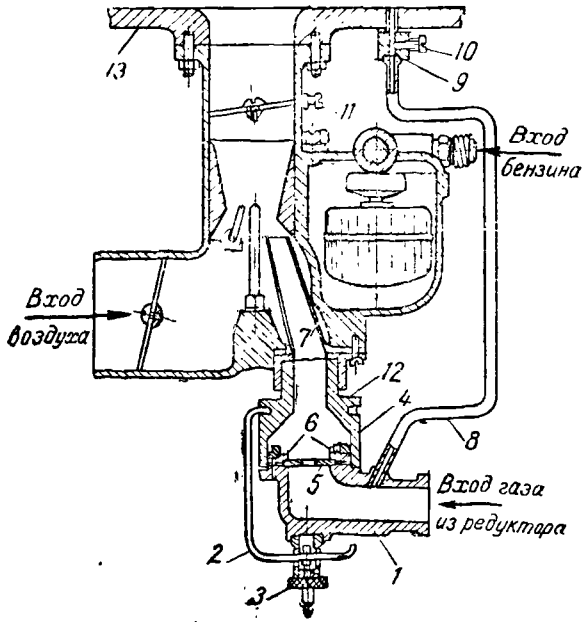
редственной близости к месту соприкосновения воздуха с газом; при этом избыточное давление воздуха, преобразующееся при выходе из сопла в скоростной напор, производит инжектирующее действие.

Мощность, развиваемая двигателем при работе на высококалорийном сжатом или сжиженном газе, равна мощности двигателя на жидком топливе. При этом представляет интерес сохранение двигателя как универсального, пригодного без переделки для работы на газообразном и на жидком топливе. Этим целям удовлетворяет комбинированный карбюратор-смеситель (фиг. 97), за основу которого принят нормальный бензиновый карбюратор, с добавлением к нему смесительного устройства для газа.

Для запуска газовых двигателей тракторного типа применяются специальные бензиновые карбюраторы типа „Солекс", устанавливаемые на газовом коллекторе вместе со смесителем.

В быстроходных газовых двигателях с четырьмя и шестью цилиндрами, а также в стационарных газовых двигателях небольшой мощности обычно на всасывающий коллектор устанавливается один общий смеситель, из которого питаются газовоздушной смесью все цилиндры (фиг. 98).

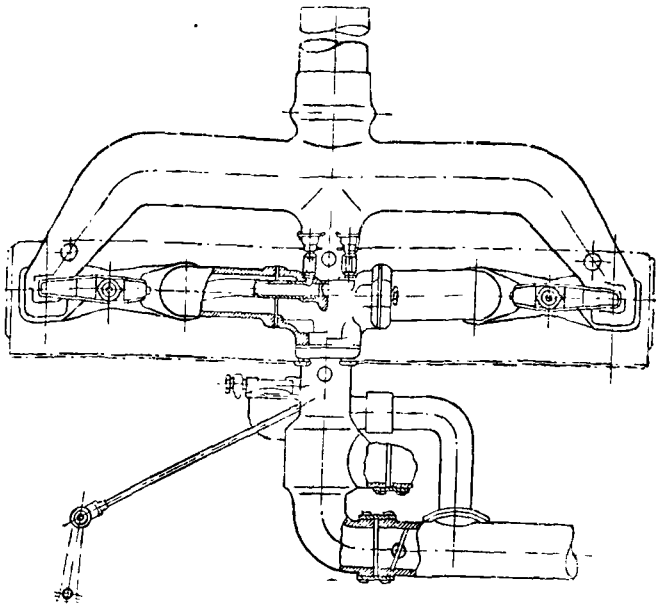
В переводимых на газ двухтактных нефтяных двигателях с кривошипно-камерной продувкой и зарядкой газовоздушной смесью смеситель непосредственно присоединяется к картеру двигателя (фиг. 99).



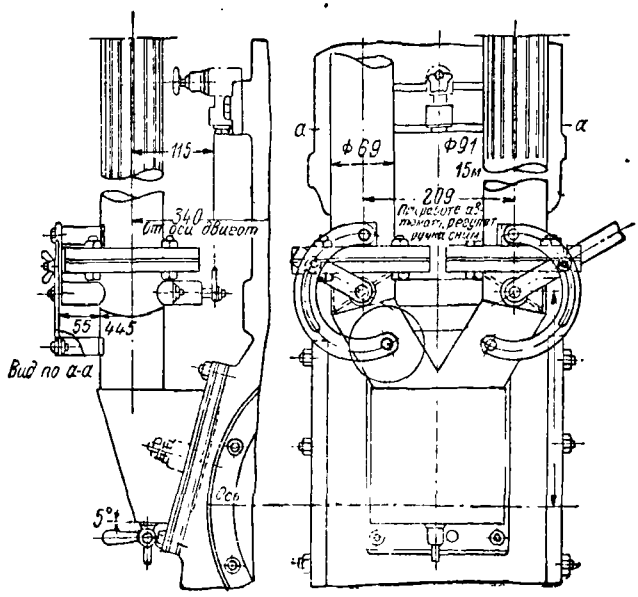
Фиг. 97. Схема комбинированного карбюратора-смесителя:
1 — входной газовый патрубок; *2* — хомутик крепления; *3* — винт крепления; *4* — клапанодержатель; *5* — дозирующая шайба; *6* — обратный клапан; *7* — газовая форсунка; *8* — трубка холостого хода; *9* — тройничок; *10* — винт холостого хода газовый; *11* — винт холостого хода воздушный; *12* — дополнительное смесительное устройство для газа; *13* — всасывающий трубопровод.

Газосмесительные клапаны. В многоцилиндровых двигателях большой мощности установка централизованного смесителя не может быть рекомендована по причинам: а) большого объема, вызывающего опасность взрыва смеси; б) трудности достижения равномерного распределения смеси по отдельным цилиндрам.

Иногда в этих случаях прибегают к установке групповых смесителей на каждые два-три цилиндра, а чаще всего устанавливают индивидуальные смесители. Смесители могут быть выполнены в виде особых органов, предусмотренных в конструкции всасывающих клапанов и называемых тогда газосмесительными клапанами, либо в виде особых приспособлений, расположенных в непосредственной близости от крышек цилиндров двигателя и соединенных короткими трубопроводами со всасывающим каналом крышки.



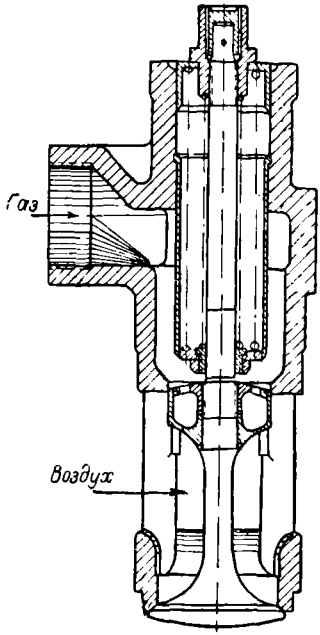
Фиг. 98. Схема установки общего смесителя на четырехцилиндровом двигателе.



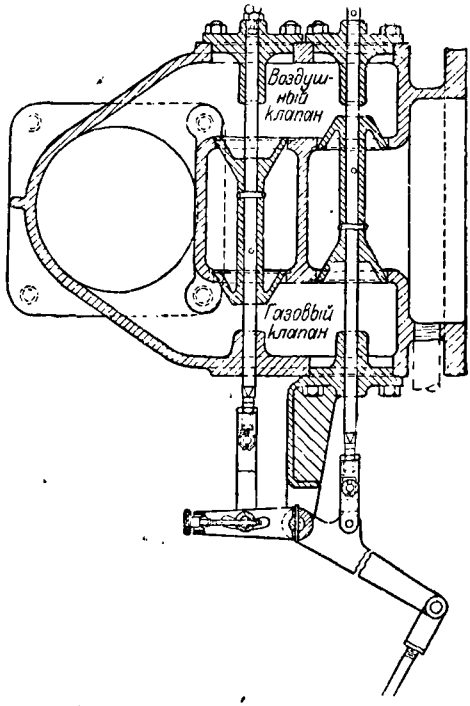
Фиг. 99. Схема установки смесителя на картере двухтактного двигателя.

Наиболее рациональным решением является устройство газосмесительного клапана и его следует рекомендовать при создании новых двигателей; однако при переводе на газ существующих двигателей раздельная подача газа и воздуха сопряжена со значительными затратами на изготовление новой крышки или газосмесительного клапана.

Смесительный всасывающий клапан газового двигателя должен не только обеспечивать условия для смешения воздуха с газом, но



Фиг. 100. Схема смесительного клапана для двигателя БК-38.



Фиг. 101. Одна из конструкций смесительного клапана газового двигателя.

и максимальное наполнение цилиндра. Для этого проходные сечения клапана должны удовлетворять равенству

$$f_1 = 2f_2,$$

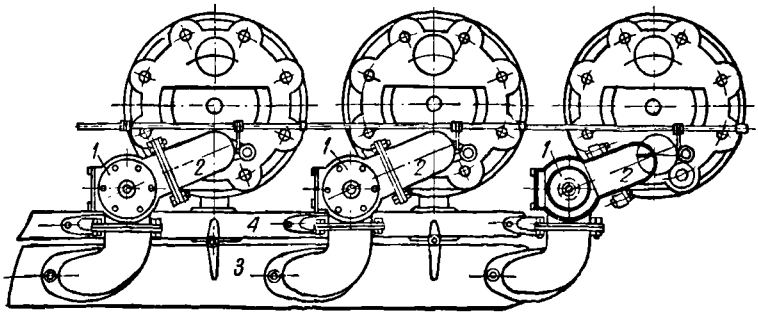
где f_1 — проходное сечение воздушного клапана;

f_2 — проходное сечение газового клапана.

На фиг. 100 приведена схема смесительного клапана для двигателя БК-38. Поступление газа в цилиндры и его смешение с воздухом осуществляются следующим образом. Газ поступает в клапаны через корпус сверху; золотник открывает проход для газа несколько позже начала открытия тарелки клапана. Это устройство, с одной стороны, предотвращает воспламенение газа в трубопроводе и, с другой, — позволяет путем изменения перекрытия золотника выравнивать

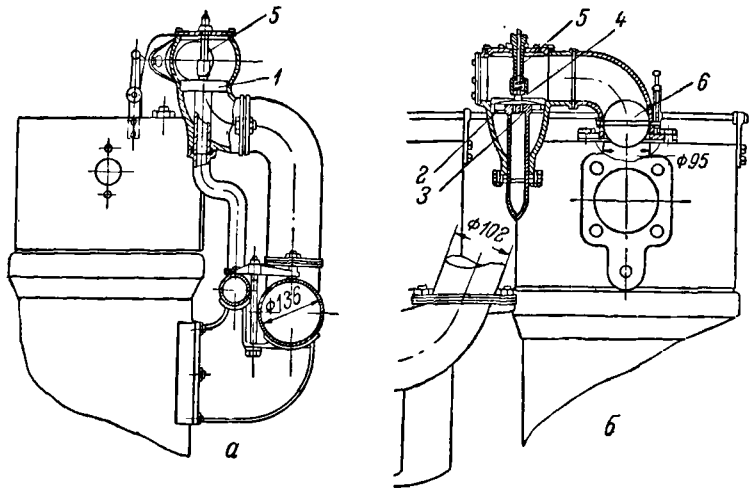
подачу газа по отдельным цилиндрам. Кроме распределительных функций при впуске газа, золотник служит нижним ползуном, скользящим в направляющих ребрах и направляющим шпиндель клапана.

На фиг. 101 приведена одна из схем конструкции газового смесительного клапана.



Фиг. 102. Вид сверху на газосмесительную систему трехцилиндрового двигателя.

На фиг. 102 приведен вид сверху газосмесительной системы газового трехцилиндрового с горизонтальными клапанами двигателя



Фиг. 103. Вид сбоку (*а*) и продольный разрез (*б*) газосмесительной системы, изображенной на фиг. 102.

мощностью 112 *л. с.* Смесительные камеры *1* соединены патрубком *2* с входными отверстиями всасывающих каналов. Воздух и газ к смесительной камере подаются по трубопроводам *3* и *4*. В смесительной камере (фиг. 103) расположен корпус смесительного клапана *1* с каналами *2* для воздуха и *3* для газа. Эти каналы перекрываются общим самодействующим клапаном *4*. Затяжка пружины

клапана и его подъем регулируются ограничителем подъема 5. Количественное регулирование осуществляется дросселем 6, а качественное — кранами на газовой и воздушных линиях.

33. Регулирование

Общие принципы. На мощность двигателя и устойчивость его работы оказывают влияние качество генераторного газа и количество газовоздушной смеси.

Качество генераторного газа, получаемого в газогенераторе, не одинаково во времени и меняется по ряду причин, рассмотренных выше.

В то же время и количество смеси, поступающей в двигатель при полном открытии дросселя, при одних и тех же числах оборотов коленчатого вала, меняется в зависимости от гидравлического сопротивления газогенераторной установки.

Основными причинами переменности сопротивления установки являются: увеличение высоты зольной подушки на колосниках и уплотнение слоя топлива, шлакование и занос газового тракта угольной пылью, золой и проч.

Если в чисто газовых двигателях, имеющих регуляторы оборотов, дроссель количественной регулировки сблокирован непосредственно с регулятором, то качественная регулировка чаще всего производится от руки, что не может быть признано достаточно надежным, особенно в газовых двигателях, работающих на постоянной нагрузке (электростанции).

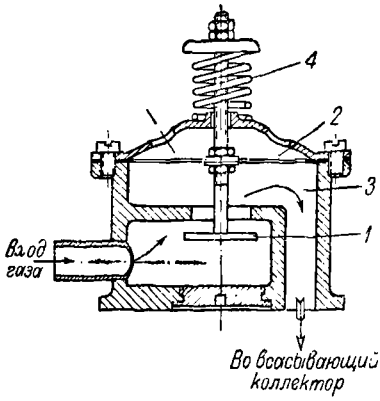
Количественное регулирование смеси происходит без воздействия на ее состав, и в случае уменьшения нагрузки двигателя приводит к возрастанию гидравлических потерь.

При качественном регулировании регулятор воздействует на состав смеси, однако при малых нагрузках этот способ регулирования приводит к переобеднению рабочей смеси, сопровождающемуся обратными вспышками и пропусками воспламенения вследствие уменьшения скорости горения смеси и увеличения ее сгорания на линии расширения.

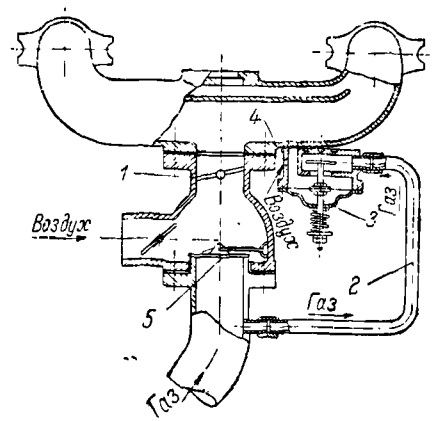
Наилучшие результаты дает способ внешнего регулирования, при котором в области высоких нагрузок происходит качественное изменение смеси, с переходом к количественному в области малых нагрузок.

В случае работы двигателя по газожидкостному процессу следует применять качественное регулирование, одновременно предусматривая возможность ручного дросселирования всасываемого воздуха. В этом случае дросселирование необходимо для создания в воздушном тракте определенного гидравлического сопротивления, обеспечивающего оптимальное соотношение всасываемых газа и воздуха, а также регулирование количества свежей смеси по отдельным цилиндрам — в случае многоцилиндрового двигателя. Кроме того, дросселирование дает возможность некоторого обогащения смеси при малых нагрузках, осуществляемого либо дросселем, либо индивидуальными тягами к воздушным патрубкам.

Регулирование смеси в газовых двигателях с электрическим зажиганием. Для стабилизации числа оборотов холостого хода и улучшения приемистости газового двигателя смесители снабжаются клапанными вакуумными регуляторами — байпасами. Наиболее удачная конструкция этого прибора была предложена в НАТИ инж. Г. Г. Терзибашьяном (фиг. 104). Байпас — диафраг-



Фиг. 104. Диафрагменный байпас НАТИ.



Фиг. 105. Схема включения байпаса НАТИ.

менного типа; состоит из металлической коробки с клапаном *1* и резиновой диафрагмы *2*.

Разрежение, возникающее в полости *3*, соединенной каналом со всасывающим коллектором, преодолевает во время холостого хода натяжение пружины *4*, вследствие чего диафрагма открывает клапан *1*, через который газ поступает в полость *3*, а затем направляется во всасывающий коллектор двигателя. Схема включения этого байпаса в систему питания двигателя приведена на фиг. 105.

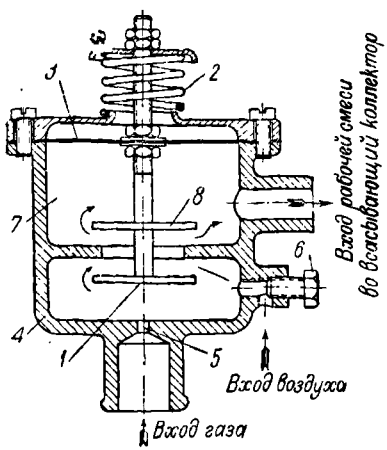
Во время холостого хода рабочая смесь газа с воздухом поступает во всасывающий коллектор, минуя дроссель смеси *1*, который должен быть плотно закрыт. Генераторный газ подсасывается в коллектор через обводную трубу *2* и автоматический клапан *3*, а воздух — через специальное небольшое калиброванное отверстие *4*. Обратный клапан *5* при холостом ходе закрывается силой собственного веса и поэтому приостанавливает вход воздуха в смеситель через воздушную заслонку.

Поступление газа и воздуха в двигатель происходит во время холостого хода, под влиянием высокого разрежения во всасывающем коллекторе, и поэтому пропорция между ними не зависит от небольших давлений газа перед смесителем.

Путем соответствующего подбора калиброванного отверстия для воздуха байпас может быть отрегулирован на весьма богатую смесь. Оба эти мероприятия поддерживают постоянным число оборотов холостого хода.

Другие типы байпасов, подобные описанному, поддерживая постоянство пропорции между газом и воздухом, не могут, однако, влиять на работу двигателя при изменении химического состава газа.

Байпас, реагирующий на изменение химического состава газа, предложен И. С. Мезиным на основании того, что разрежение во всасывающем коллекторе, при заданном числе оборотов в минуту холостого хода, устанавливается тем большее, чем выше теплотворность рабочей смеси.



Фиг. 106. Байпас НАТИ, реагирующий на химический состав газа.

Байпас этого типа (фиг. 106) имеет двухтарельчатый клапан. Нижняя тарелка *1* притягивается к своему седлу пружиной *2*. При холостом ходе, благодаря вакууму, образующемуся во всасывающем коллекторе, диафрагма *3*, преодолевая усилие пружины, открывает клапан *1*, после чего газ и воздух начинают поступать в смесительную полость *4* байпаса.

Газ дросселируется калиброванным отверстием, а воздух—регулируемым винтом *6*. Дросселирование газа устраняет перед смесителем подпор, наблюдаемый при внезапном изменении расхода газа, в силу чего пропорция между газом и воздухом поддерживается постоянной. Отверстие *5* выбрано с таким расчетом, чтобы падение давления при дросселировании газа составляло 80—100 *мм* вод. ст.

Если теплотворность рабочей смеси начинает возрастать, побуждая двигатель к увеличению оборотов, то будет увеличиваться разрежение во всасывающем коллекторе и в полости *7* байпаса. В этом случае диафрагма *3* прикроет верхний клапан *8* и этим уравновесит поступление рабочей смеси в двигатель.

Экономайзерное регулирование рабочей смеси. Мощность газового двигателя может регулироваться путем изменения количества и качества смеси, поступающей в цилиндры.

При количественной регулировке качество остается неизменным, а количество устанавливается сообразно требуемой мощности. При качественной регулировке уменьшение мощности достигается путем обеднения смеси за счет открытия дросселя воздуха.

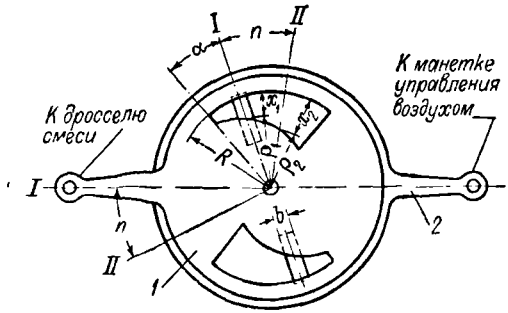
При количественной регулировке мощность уменьшается равномерно по закону прямой, а при качественной — кривая мощности вначале, при уменьшении расхода газа, снижается медленно, а затем весьма круто, возможно вследствие несовершенного сгорания смеси по мере приближения ее к пределу воспламеняемости.

Совмещение положительных сторон качественной и количествен-

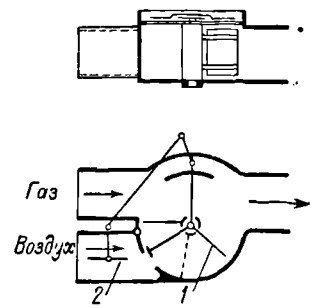
ной регулировки смеси осуществлено в смесителе с экономайзерным регулированием (фиг. 107). В смесителе имеются два одинаковых прохода для воздуха, выполненные в двух концентрично расположенных дисках. В диске *1* сделаны две прямоугольные щели. Этот диск поворачивается около своего центра под воздействием тяги.

Второй диск *2* кинематически связан с дросселем смеси и поворачивается независимо от первого диска на угол *n*, соответствующий предельному обеднению смеси.

Работа смесителя заключается в следующем. В зависимости от химического состава генераторного газа и сопротивления всей уста-



Фиг. 107. Схема смесителя с экономайзерным регулированием смеси.



Фиг. 108. Схема полуавтоматического газового смесителя.

новки, диском *1* подбирается такой размер отверстия, при котором мощность получается наибольшей.

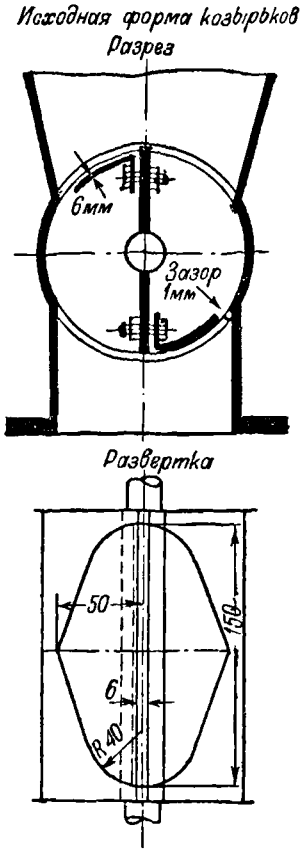
Обеднение смеси при переходе на пониженную нагрузку достигается за счет увеличения проходного отверстия путем поворота другого диска на угол *n* против движения часовой стрелки.

Степень обеднения смеси получается при этом всегда одна и та же, так как степень увеличения отверстия одинакова для любых положений диска.

На фиг. 108 приведена схема полуавтоматического газового смесителя, работающего на принципе выравнивания давления воздушного и газового потоков. Если в смеситель начинает поступать повышенное количество газа, то крыльчатка *1*, а вместе с тем и воздушная заслонка *2* начинают поворачиваться в направлении часовой стрелки до тех пор, пока не будет достигнуто равновесие, вследствие увеличивающейся подачи воздуха. Регулировка смесителя достигается выбором крыльев соответствующего размера и передаточными отношениями тяг смесителя.

Регулирование газожидкостного процесса. При работе дизеля на газе по газожидкостному процессу его режим регулируется не количественно, а качественно, и как показали многочисленные исследования, проведенные различными организациями, только в этом случае достигается устойчивая работа двигателя.

В реальных условиях, на больших нагрузках, расход тепла газовой части топлива с увеличением нагрузки по абсолютной величине растет не только пропорционально нагрузке, в силу чего при больших нагрузках требуются бо́льшие перемещения муфты регулятора, чем при одних и тех же колебаниях в области малых нагрузок. Чтобы зависимость перемещения муфты регулятора от нагрузки при работе на газе приблизить к прямой, В. В. Рязанцев рекомендует устанавливать на газовом дросселе козырьки, кромка которых образована по некоторой кривой.



Фиг. 109. Схема устройства газового дросселя с корректирующим козырьком.

Схема устройства газового дросселя с корректирующим козырьком приведена на фиг. 109.

Одним из наиболее важных элементов регулирования двигателя, работающего по газожидкостному процессу, является получение наименьшего расхода запального жидкого топлива. В среднем, в настоящее время этот расход составляет около 15%, а в отдельных случаях снижается до 5—7% от количества топлива, подаваемого насосом при работе двигателя только на жидком топливе. Расход запального жидкого топлива зависит от типа топливного насоса, метода регулирования подачи топлива, от тщательности ухода за насосом и от калорийности газа. Золотниковые топливные насосы типа ККАЗ, 38-К-8 и др. допускают подачу меньшего количества запального топлива, чем насосы, регулируемые отсечными клапанами, так как в них начало подачи наступает при значительной скорости плунжера.

Момент начала всасывания может совпасть со временем, в которое отсечный клапан открыт, так как на малых подачах отсечный клапан бо́льшую часть времени остается открытым. В этом случае всасывание происходит через всасывающий и через отсечный клапаны и допускает попадание пузырьков воздуха в рабочую полость насоса, вызывая перебои в нагнетании. Для предотвращения этих явлений необходимо при работе по газожидкостному процессу разделить всасывающий и нагнетательный трубопроводы топливного насоса.

Коренное улучшение и значительное повышение экономичности работы по газожидкостному процессу достигается установкой второго дополнительного насоса небольшой производительности и форсунки малых размеров.

Опыт осуществления такого решения при переводе судового

дизеля в 400 *л. с.* на работу по газожидкостному процессу дал в результате расход антрацита 280 *г/л.с-час*, а расход запального жидкого топлива 7—10 *г/л.с.-час* на полной нагрузке.

Газораспределение при газожидкостном процессе и осуществление передачи от регулятора к регулирующим органам несколько усложняется по ряду причин, а именно:

а) должен быть обеспечен пуск двигателя на жидком топливе;

б) работа двигателя должна протекать с воздействием регулятора на количество поступающего газа, причем подача запального топлива должна оставаться постоянной, с возможностью ручного ее подрегулирования;

в) в случае чрезмерного повышения числа оборотов двигателя должно быть осуществлено автоматическое выключение и газа, и жидкого топлива.

Для двигателей, работающих по газожидкостному процессу, эти требования могут быть осуществлены по определенной кинематической схеме, предусматривающей ручную связь газового дросселя с регулятором и связь регулятора с отсечным валиком топливных насосов.

Конструктивное оформление ручного ограничителя должно допускать произвольную регулировку дозы запального топлива и быстрый переход к нормальному воздействию регулятора на отсечку для работы на жидком топливе, а упругие звенья должны исключать необходимость в дополнительных усилиях на муфту регулятора в процессе регулирования.

Ниже приводится краткое описание некоторых схем регулирования смесеобразования и управления работой двигателей с газожидкостным процессом, осуществленных в СССР.

Схема регулирования и управления двигателя М-17. Работа по переводу на газожидкостный процесс тракторного дизеля М-17 с оставлением предкамерного смесеобразования и для работы на газообразном топливе была успешно проведена в МВТУ имени Баумана.

Приготовление газовоздушной смеси осуществлено в одном общем смесителе, изготовленном в виде тройника с дроссельными заслонками для газа и воздуха.

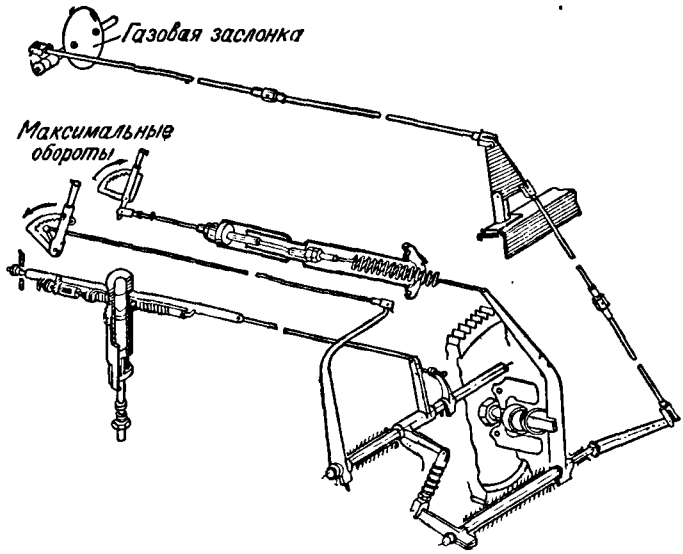
Воздушная заслонка предназначена для ручного управления, а газовая системой тяг и рычагов связана с регулятором (фиг. 110), что обеспечивает качественное регулирование, наиболее распространенное в двигателях, работающих с присадкой жидкого топлива.

Для ограничения подачи жидкого топлива и возможности воздействия регулятора на газовую дроссельную заслонку, при ограниченной подаче жидкого топлива, в системе регулятора пришлось сделать небольшие изменения.

Как видно из схемы, к валику рычага пружины регулятора приварен дополнительный рычаг, конец которого выпущен наружу через щель в кожухе регулятора. К этому концу рычага присоединяется одна из тяг передачи к газовой заслонке.

Для предупреждения задержки регулятора при ограничении подачи топлива в систему передачи к рейке топливного насоса

включено упругое звено; для этого регулируемая тяга заменена новой, состоящей из двух деталей, стянутых между собой пружиной. Длину этой тяги можно регулировать, ввертывая одну часть в другую. Воздействие на топливный насос осуществляется, как и прежде, имеющейся на двигателе рукояткой.



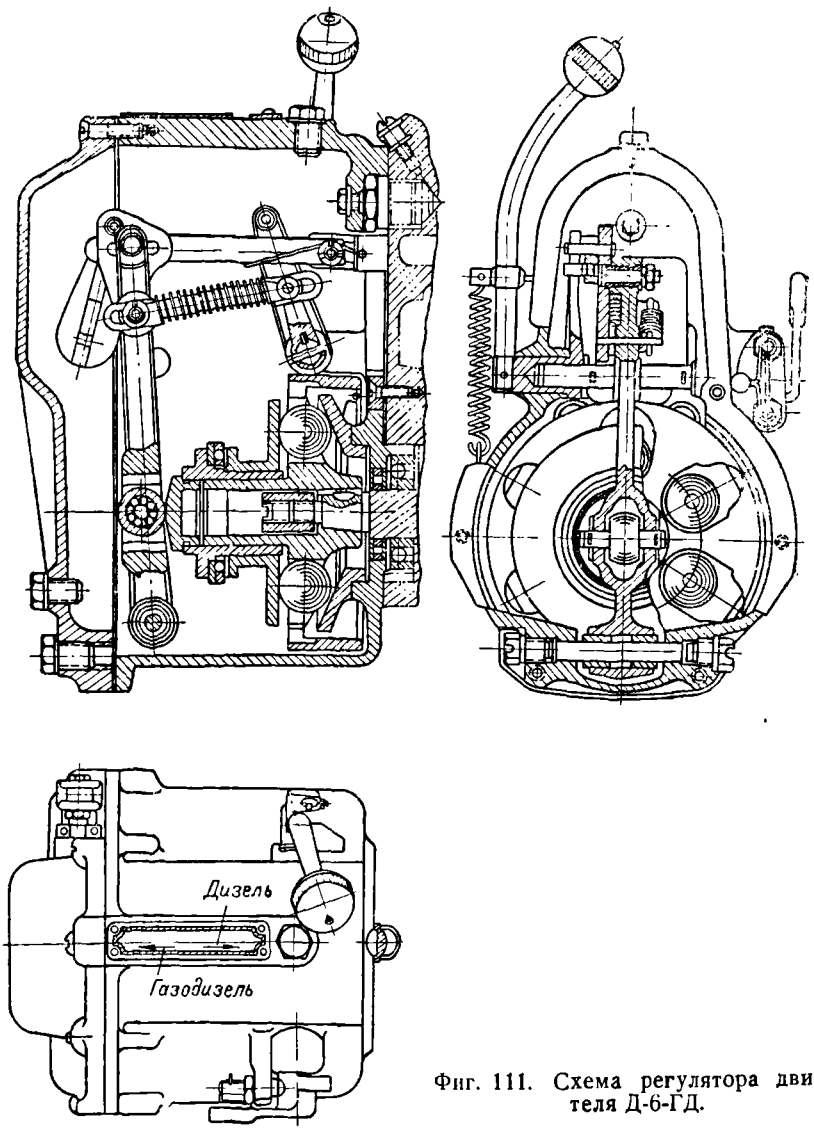
Фиг. 110. Схема регулирования и управления двигателя М-17 при работе по газожидкостному процессу.

Регулятор воздействует на топливный насос и на газовую дроссельную заслонку в том случае, когда рукоятка ограничения подачи жидкого топлива находится в одном из крайних положений и не прикасается рычажком к деталям передачи от регулятора к рейке топливного насоса.

Если газ закрыт, то двигатель работает только на жидком топливе; при открытии газа двигатель получает и газ, и жидкое топливо.

Благодаря специальному расположению пружины, выключение подачи жидкого топлива производится без участия пружины, а включение — через пружину. При ограничении подачи жидкого топлива регулятор, растягивая пружину упругого звена, будет воздействовать только на газовую заслонку. Если же подача газа и жидкого топлива повышается до величины, необходимой для данной нагрузки (при большой присадке жидкого топлива), то регулятор ввиду одностороннего ограничения подачи жидкого топлива, начинает уменьшать количество и того и другого топлива. Поэтому при наладке системы регулирования длина тяг между регулятором и дроссельной заслонкой подбирается такой, чтобы газовый дроссель закрывался при подаче жидкого топлива на величину меньшую, чем это необходимо для холостого хода.

Схема регулирования двигателя Д-6-ГД. В двигателе Д-6-ГД используется обычный регулятор топливного насоса дизеля Д-6 с несколькими новыми деталями. Для уменьшения или увеличения подачи газовой смеси в цилиндры газодизеля служит тот же рычаг

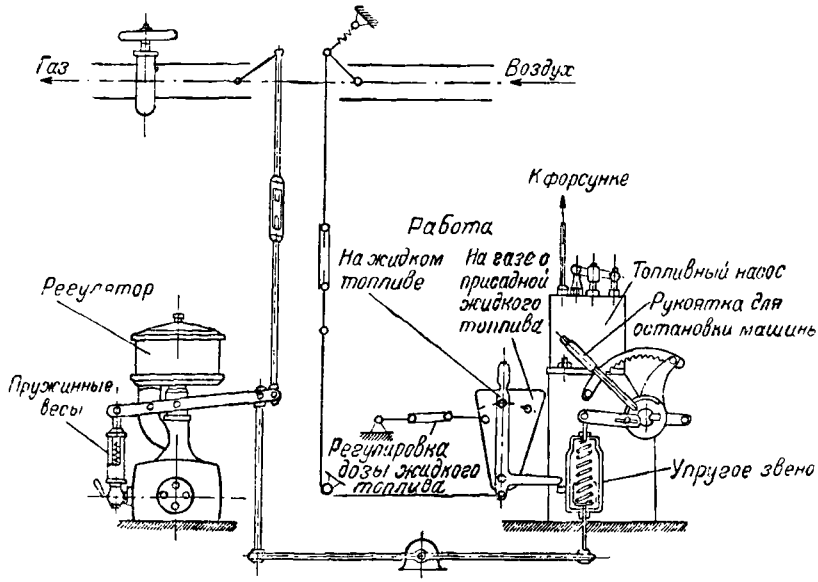


Фиг. 111. Схема регулятора двигателя Д-6-ГД.

регулятора, который регулирует в дизеле подачу жидкого топлива; только в данном случае рычаг воздействует не на рейку топливного насоса, а на тягу, идущую к газовоздушной заслонке смесителя. На фиг. 111 приведена схема регулятора двигателя Д-6-ГД.

Схема регулирования и управления опытного двигателя МВТУ. На фиг. 112 приведена схема регулирования и управления газожидкостным процессом, разработанная для опытного двигателя МВТУ имени Баумана.

Здесь коромысло регулятора связано с газовой заслонкой жесткой связью и с валиком отсечных клапанов топливных насосов — упругой связью. В целях надежности, упругое звено топливного насоса выполнено таким образом, что при работе двигателя только



Фиг. 112. Схема регулирования и управления опытного двигателя МВТУ.

на жидком топливе увеличение подачи топлива производится через пружину, а уменьшение помимо пружины.

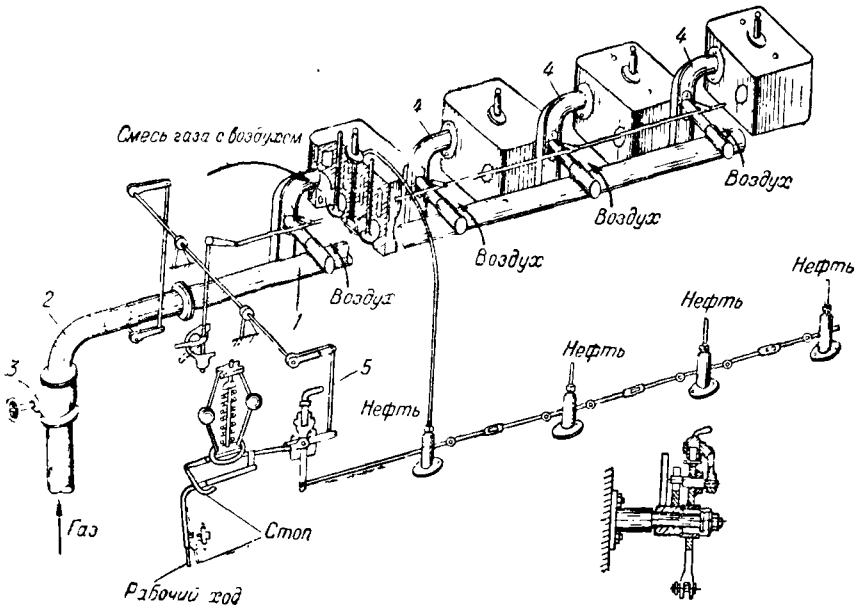
Корпус упругого звена соединен с рычагом отсечного валика. Подачу жидкого топлива до нуля можно осуществлять, воздействуя на корпус рычагом переключения, не мешая регулятору перемещать газовую заслонку. Таким образом, при отклонении верхнего конца рычага переключения вправо ограничивается подача насоса и устанавливается нужная доза жидкого топлива. Регулятор, получая дополнительную нагрузку от пружины упругого звена, действует только на газ. Однако, если установленная доза жидкого топлива велика, то при малых нагрузках регулятор не только прикроет дроссель, но и уменьшит подачу жидкого топлива. Тарелка упругого звена упрется в днище корпуса и переместит его вниз, и так как рычаг переключения не препятствует этому перемещению, то даже и при больших присадках жидкого топлива двигатель будет надежно предохранен от разноса.

Рычаг переключения фиксируется только в двух положениях, соответствующих или работе на жидком топливе, или работе на газе

с присадкой жидкого топлива. Для того чтобы второе положение соответствовало желаемой величине присадки, деталь, относительно которой производится фиксация рычага, может перемещаться.

Для прикрытия воздушного дросселя при переходе на газ последний может быть связан с рычагом переключения.

Схема регулирования ВНИИЖТ. Перевод четырехтактного бескомпрессорного дизеля мощностью 200 *л. с.* при 428 об/мин. на газожидкостный процесс был осуществлен Всесоюзным научно-

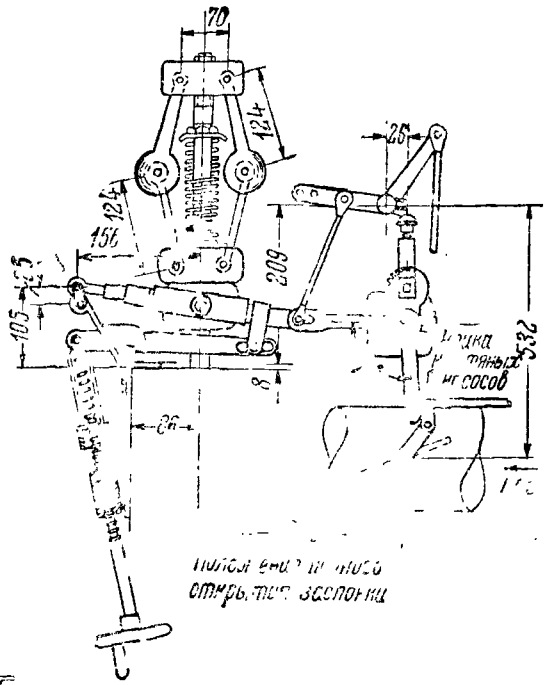


Фиг. 113. Схема питания и регулирования двигателя, разработанная ВНИИЖТ.

исследовательским институтом железнодорожного транспорта. Схема питания и регулирования двигателя приведена на фиг. 113.

Газ в двигатель подается через существующий всасывающий коллектор *1* путем присоединения газовой магистрали *2* с газовым краном *3*. Всасывающие патрубки *4* превращены в смесители.

Схема регулирования двигателя заключается в следующем. Рычаг *5* действует на пружину регулятора через муфту. В свою очередь, муфта, через систему тяг и рычагов, действует с одной стороны на заслонку смесителей и с другой — на работу топливных насосов. Связь регулятора с топливными насосами производится через ограничитель подачи жидкого топлива. Установкой рукоятки ограничителя на одно из четырех положений можно осуществлять максимальную подачу жидкого топлива от 100 до 0%. Это позволяет переходить на работу с газом с присадкой жидкого запального топлива и, наоборот, снова полностью на жидкое топливо. Если рукоятку



Фиг. 114. Регулятор с нефтяным и газовым приводом.

Фиг. 115. Схема регулирования компрессорного одноцилиндрового двигателя, переведенного на газожидкостный процесс.

поставить в другое положение, то топливные насосы будут подавать максимум около 30% номинальной подачи жидкого топлива.

При разносе двигателя подача жидкого топлива с помощью регулятора будет уменьшаться; при увеличении нагрузки подача жидкого топлива будет увеличиваться, но только до 30% номинала.

Указанная схема регулирования обеспечивает при всех условиях работы, от холостого хода до полной нагрузки (как при работе на газе, так и при газожидкостном процессе), воздействие регулятора на газ и жидкое топливо.

На фиг. 114 приведена схема регулятора двигателя с нефтяным и газовым приводом.

Схема регулирования в одноцилиндровом двигателе мощностью 75 *л. с.* На фиг. 115 приведена схема регулирования компрессорного одноцилиндрового дизеля, переведенного на газожидкостный процесс.

Плунжер топливного насоса *1* приводится рычагом от эксцентрика *2*. Величина хода плунжера ограничена планкой *3*, закрепленной двумя гайками за стойку *4*; при этом верхний конец плунжера отделен от коромысла *5* регулятора. Величина подаваемого топлива устанавливается ограничителем так, чтобы двигатель развивал рабочее число оборотов при холостом ходе и при отключенном регуляторе.

Коромысло *5* центробежного регулятора соединяется с рычагом *6* и через систему тяг *7* и *8* — с дроссельной заслонкой *9*. Заслонкой *10* регулируется количество воздуха.

Регулирование поступления газа в зависимости от нагрузки осуществляется следующим образом. Когда муфта регулятора *11* опускается вниз, то системой рычагов *6* и тяг *7* и *8* дроссельная заслонка открывает проход газу в смеситель. Количество воздуха, поступающего в смеситель, определяется положением дроссельной заслонки и устанавливается вручную.

Подача жидкого запального топлива может здесь изменяться от 9 до 10 %. Связь может регулироваться вручную или автоматически, в зависимости от изменения положения газового дросселя или давления газа.

34. Зажигание

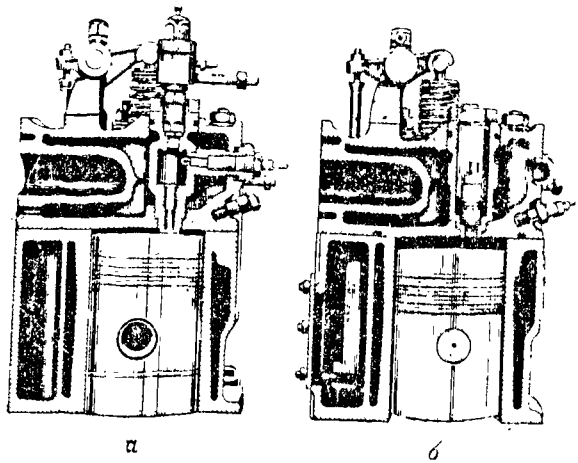
Зажигание газовоздушной смеси в газовых двигателях может осуществляться тремя способами.

В двигателях высокого сжатия для зажигания применяется впрыск запального жидкого топлива, а в двигателях низкого сжатия — электрическое зажигание и зажигание от раскаленного источника.

В газовых двигателях получила распространение батарейная система зажигания и зажигание от магнето высокого напряжения. Источниками тока при батарейном зажигании являются аккумуляторная батарея и генератор. В систему зажигания, кроме источников тока, входят: запальные свечи, провода, бобина и прерыватель-распределитель с приспособлением для регулирования момента зажигания.

При зажигании от магнето высокого напряжения применяется магнето завода АТЭ с неподвижными обмотками и вращающимся магнитом.

В качестве запальных свечей применяются свечи завода имени М. И. Калинина. Это свечи разборного типа, с керамическим (стеатитовым) изолятором. При маркировке свечей буквой обозначается тип нарезки (М — метрическая, Д — дюймовая), первой цифрой — длина ввертывающейся части свечи в миллиметрах, второй цифрой — длина юбочки изолятора в миллиметрах. Если свеча неразборная, то в конце ставится еще одна буква Н.



а *б*

Фиг. 116. Приспособление дизеля для работы на газе

а — разрез дизельной головки; *б* — ее приспособление для работы на газе.

Для газовых двигателей наиболее употребительны свечи М 20/20 М 12/15; М 15/15.

В целях надежности воспламенения, в газовых двигателях мощностью от 100 *л. с.* и выше устанавливается по две свечи на цилиндр, причем каждая из них питается от отдельной системы зажигания. В цилиндровых крышках специально газовых двигателей для этой цели имеется два гнезда. В двигателях, переводимых на газ, для установки одной свечи используется гнездо форсунки, удаляемой при переводе на газ, а вторую свечу чаще всего располагают в гнезде декомпрессионного клапана, который может быть также удален при переводе на газ (фиг. 116).

Наряду с электрическим зажиганием смеси в газовых двигателях, в Советском Союзе были проведены значительные работы по переводу на газ двухтактных нефтяных двигателей с зажиганием от калоризатора.

Исследования в области воспламенения газовоздушной смеси при помощи раскаленного источника в двухтактных газовых двигателях, проведенные в МВТУ имени Баумана доц. С. Е. Лебедевым и в

Сибирском автодорожном институте доц. Г. И. Эйдельсоном, практически доказали возможность работы газовых двигателей с этим видом зажигания. Недостатками такого зажигания являются: остывание калоризатора при малых нагрузках, невозможность длительной работы на холостом ходу и возникновение пропуска вспышек.

Однако результаты работы с этим видом зажигания для больших нагрузок оказались настолько благоприятными, что оно нашло применение в ряде газомоторных установок.

Учитывая, что внешний подогрев калоризатора с целью поддержания температуры, необходимой для воспламенения смеси, не может быть признан рациональным, существующие калоризаторы для двигателей мощностью в 22 и 45 *л. с.* заменялись калоризатором меньшего объема от двигателя в 18 *л. с.* Такая замена была вызвана предположением, что конструкция калоризатора двигателя в 18 *л. с.* создаст лучшие условия для омывания его рабочей смесью, продувки от остаточных газов и для поддержания его в раскаленном состоянии в интервале температур 550—650° С. Это предположение практически себя оправдало на ряде действующих установок, однако такое решение не может быть признано зрелым решением этого вопроса в целом.

Действительно, калоризатор, выполняя функции зажигания газовоздушной смеси, является в то же время и камерой, в которой происходит образование смеси и ее сгорание. Нагрев стенок калоризатора во время работы двигателя происходит за счет тепла сгорающего газа, количество которого меняется в зависимости от нагрузки и числа оборотов двигателя. Отсюда требование к калоризатору должно сводиться к тому, чтобы при переменном количестве сгорающего газа температура стенок калоризатора была достаточной для воспламенения газовоздушной смеси.

Задача создания такого калоризатора в виде предкамеры для нефтяного двигателя разрешена кафедрой двигателей МВТУ в результате исследований, проведенных доц. С. Е. Лебедевым и инж. И. И. Поленовым. Созданный калоризатор в форме предкамеры не требует регулировки температуры и обладает другими достоинствами.

Имеются все основания предполагать, что калоризаторы в форме предкамеры для воспламенения газовоздушной смеси в газовых двигателях будут лишены всех недостатков, присущих шаровым калоризаторам.

Однако в настоящее время нельзя считать вопрос о зажигании газовоздушной смеси от раскаленной поверхности окончательно решенным и исследованным как практически, так и теоретически.

35. Конструкции четырехтактных газовых двигателей

Пионером советского стационарного газомоторостроения можно с полным правом назвать Центральный научно-исследовательский дизельный институт. Здесь на базе дизелей 2Ч 26 38 и 4Ч 26 38

были разработаны проекты первых стационарных отечественных газовых двигателей 2ГЧ 26 38 и 4ГЧ 26/38, находившихся ряд лет на производстве на заводах „Двигатель Революции" и имени 25-го Октября.

Особое место в развитии отечественного газомоторостроения заняли легкие двигатели для автотранспорта, используемые в ряде случаев в качестве стационарных или перевозных газовых двигателей.

Из двигателей этого типа следует отметить широко распространенные газовые двигатели ГАЗ, ЧТЗ-МГ17 и ХТЗ-Т2Г.

Двигатели 2ГЧ 26/38 и 4ГЧ 26/38. Газовые двигатели этого типа являются первыми отечественными стационарными газовыми двигателями, внедренными в народное хозяйство. На фиг. 117 приведен поперечный разрез двигателя ГЧ 26/38, а на фиг. 118 дан продольный разрез двигателя 4ГЧ 26/38.

Двигатель 2ГЧ 26/38 имеет следующую характеристику:

Номинальная мощность на генераторном газе	55 *л. с.*
Допустимая минимальная нагрузка	10% в течение часа
Число цилиндров	2
Диаметр цилиндра	260 *мм*
Ход поршня	380 *мм*
Средняя скорость поршня	3,8 *м/сек*
Среднее эффективное давление	4,1 *кг/см²*
Степень сжатия	9
Давление сжатия	18—19 *кг/см²*
Удельный расход тепла	2350—2600 *ккал/л. с. час*
Опережение зажигания	15° до в. м. т.

Двигатель 4ГЧ 26/38—четырехцилиндровый, мощностью 100 *л. с.* Остальные показатели двигателя те же, что и у двигателя 2ГЧ 26/38.

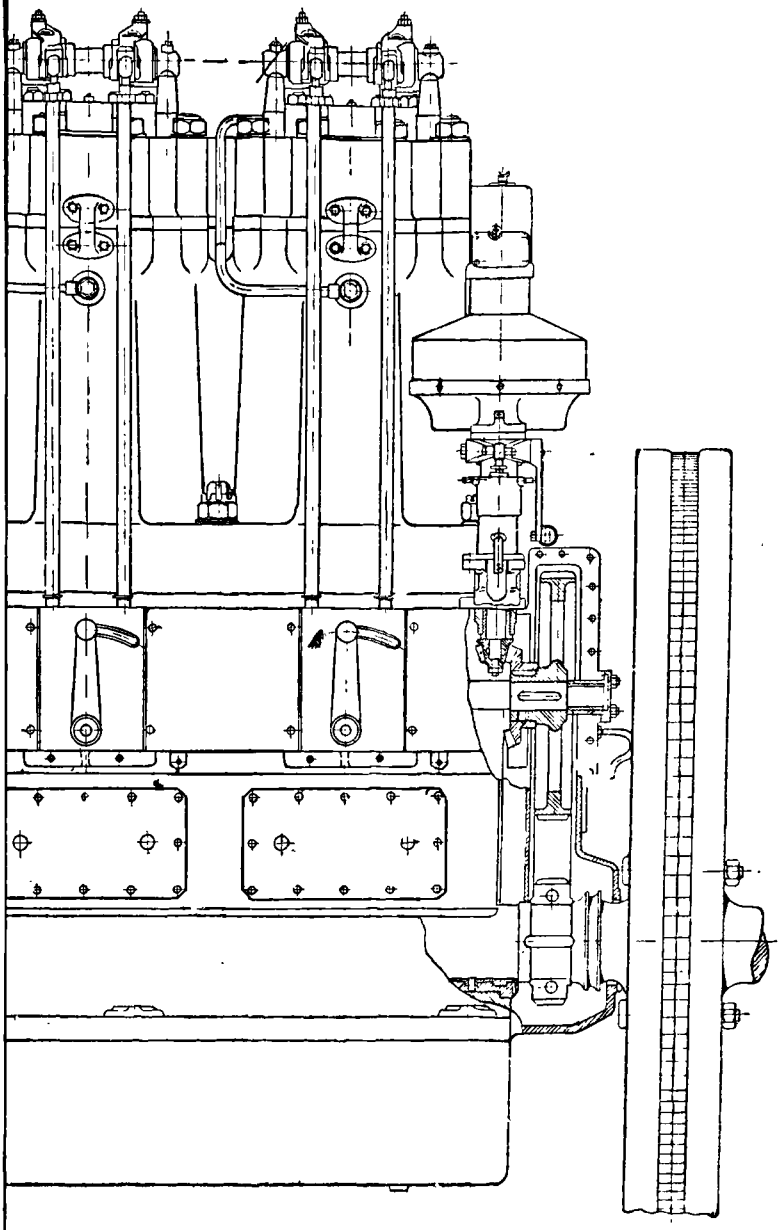
Остов двигателя чугунный; фундаментная рама, картер и цилиндры соединены анкерными болтами. Рабочие цилиндры двигателя 2ГЧ 26/38 отлиты в одном блоке, а у двигателя 4ГЧ 26/38 изготовлены в виде отдельных стоек.

Втулки цилиндров чугунные, вставные, с отдельными крышками. В крышке размещены: свеча, впускной, выпускной и предохранительный клапаны.

Кривошипно-шатунный механизм двигателя состоит из кованого коленчатого вала с противовесами, стального шатуна круглого сечения с отъемной нижней головкой и чугунного цельного неохлаждаемого поршня с четырьмя компрессорными и двумя маслосъемными кольцами. Распределительный вал с кулачными шайбами приводится от коленчатого вала цилиндрическими шестернями.

Смесеобразование осуществляется в одном общем смесителе с дросселями для качественной и количественной регулировки.

Качественная регулировка газовоздушной смеси производится дросселем, связанным с регулятором. Регулятор центробежного типа, имеет привод от распределительного вала и приспособление для изменения числа оборотов в пределах 5%. Вместе с регулятором смонтирован предельный выключатель зажигания, размыкающий ток в системе зажигания при числе оборотов выше допустимого.



ель 4ГЧ 26/38. Продольный разрез.

Двигатель имеет общий газовый смеситель с дросселями количественной и качественной регулировки.

Смазка цилиндров производится разбрызгиванием. Остальные трущиеся детали смазываются маслом, подаваемым шестеренчатым насосом, с предварительным его пропуском через фильтр и холодильник.

Охлаждение двигателя осуществляется водой, подаваемой центробежным насосом. Пуск двигателя производится сжатым воздухом, поступающим из баллонов и распределителя с плоским вращающимся золотником к автоматическим клапанам в крышках цилиндров. Для обеспечения пуска двигатель снабжен декомпрессионным устройством.

В настоящее время ЦНИДИ разработана новая модификация этого двигателя с шестью цилиндрами мощностью 135 *л. с.* (6ГЧ 18/26) с газогенераторной установкой для древесины и торфа.

Двигатели 4 ГСЧ-16,5/21 и 6 ГСЧ-16,5/21. Эти двигатели созданы ЦНИДИ на базе дизелей ряда Ч-16,5/21 в результате опытных работ с одноцилиндровым газовым двигателем этой мощности.

На опытном двигателе вместо топливного насоса было установлено магнето, вместо форсунок — запальная свеча, степень сжатия снижена до 8,5, срезаны козырьки у всасывающих клапанов, изменена конструкция поршня и установлен смеситель.

В результате проведенных испытаний этого двигателя на генераторном газе была получена устойчивая цилиндровая мощность в 21,5 *л. с.* при 1000 об/мин. со средним эффективным давлением 4,32 *кг/см²*, в дальнейшем увеличенном до 4,6 *кг/см²*. При теплотворности генераторного газа 1160 *ккал/нм³* его удельный расход составлял 1,99 *нм³/л. с.-час* при коэффициенте избытка воздуха 1,33.

На базе этих испытаний разработаны и построены на заводе „Двигатель Революции" четырехцилиндровый и шестицилиндровый двигатели (фиг. 121 и 122).

Характеристика двигателя 4 ГСЧ-16,5/21 следующая:

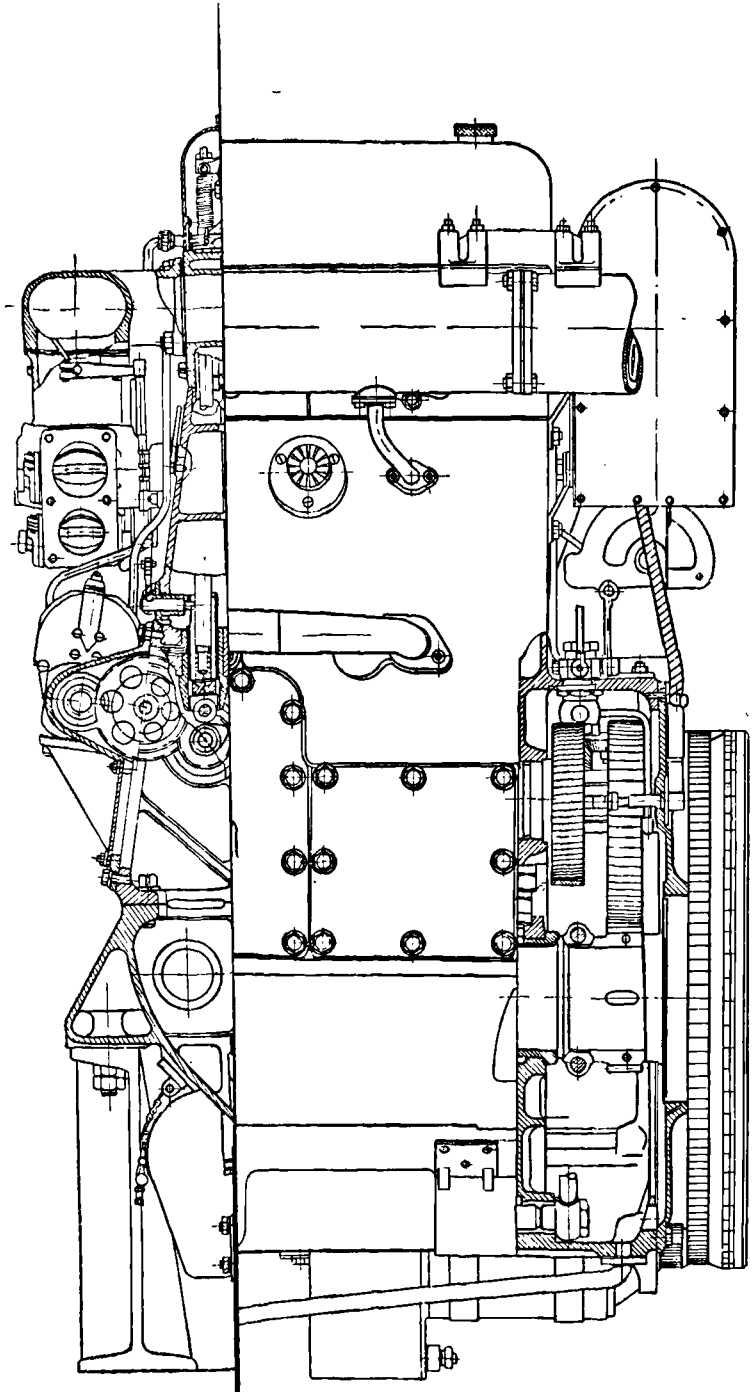
Номинальная мощность	90 *л. с.*
Номинальное число оборотов	1000 об/мин.
Число цилиндров	4
Диаметр цилиндра	165 *мм*
Ход поршня	210 „
Средняя скорость поршня	7,0 *м/сек*
Степень сжатия	8,5
Среднее эффективное давление	4,5 *кг/см²*
Степень неравномерности	1/100

Габаритные размеры:

длина	1410 *мм*
высота	1340 „
ширина	655 „

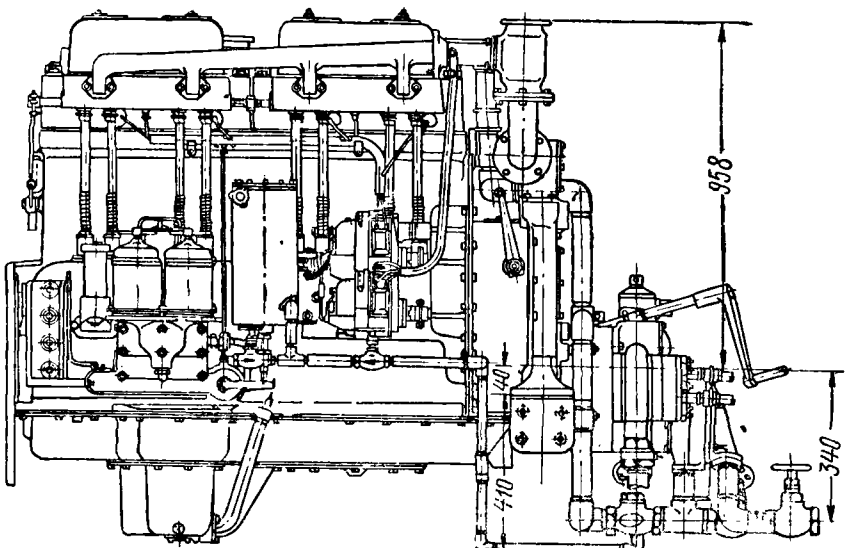
Двигатель 6 ГСЧ-16,5/21 имеет шесть цилиндров и развивает мощность 135 *л. с.* Длина его 1860 *мм* и высота 1350 *мм*. Степень неравномерности — 1/125. Остальные показатели те же, что у двигателя 4 ГСЧ-16,5/21.

Остов двигателя чугунный; цельнолитая фундаментная рама, блок-картер и крышки цилиндров связаны анкерными болтами

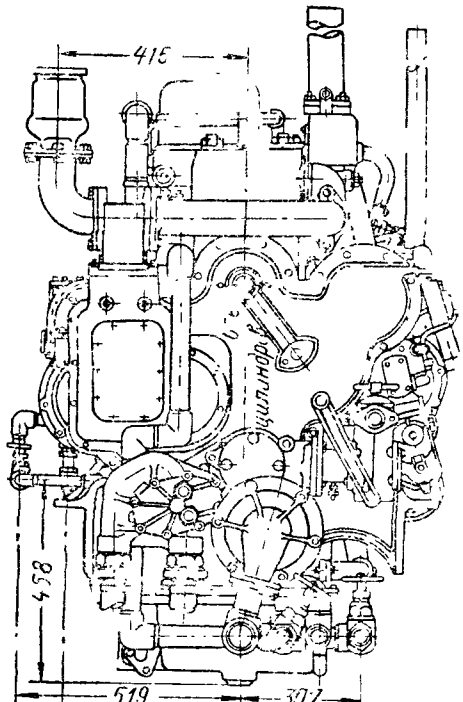


Фиг. 121. Судовой ГСЧ 16,5/21. Продольный разрез.
По

Л. К. Коллер



Фиг. 123. Дизель МГС-17, приспособленный для работы на газе. Боковой вид.



Фиг. 124. Дизель МГС-17, приспособленный для работы на газе. Вид с торца.

Для получения максимальной мощности установлено новое газораспределение двигателя.

Начало открытия всасывающего клапана	5° после в. м. т.
Конец закрытия всасывающего клапана	35° после н. м. т.
Начало открытия выпускного клапана	50° до н. м. т.
Конец закрытия выпускного клапана	15° после в. м. т.

Опережение зажигания установлено в 35° до верхней мертвой точки.

Пуск двигателя производится при помощи навешенного на двигатель МГС-17 бензинового двухцилиндрового двигателя В-20, снабженного муфтой сцепления, редуктором и механизмом сцепления с маховиком двигателя. Мощность пускового двигателя около 18 *л. с.* при 2200 об/мин.

Двигатель НАТИ 6В 15,5/20,5. Судовой газовый двигатель; разработан НАТИ и выпущен заводом „Двигатель Революции" небольшой серией.

При создании двигателя предусматривалось максимальное использование частей двигателя МГС-17 в целях удобства ремонта, снижения стоимости и сокращения сроков выполнения.

НАТИ был принят вариант шестицилиндрового газового двигателя мощностью в 120 *л. с.*, для которого были использованы следующие детали двигателя МГС-17: поршень с кольцами и шатун в сборе, механизм газораспределения (за исключением распределительного валика), регулятор, цилиндровые гильзы, часть мелких деталей и крепежного материала. Цилиндры отлиты в одной общей отливке и расположены в один ряд. Каждые три цилиндра имеют по одной литой головке (фиг. 125).

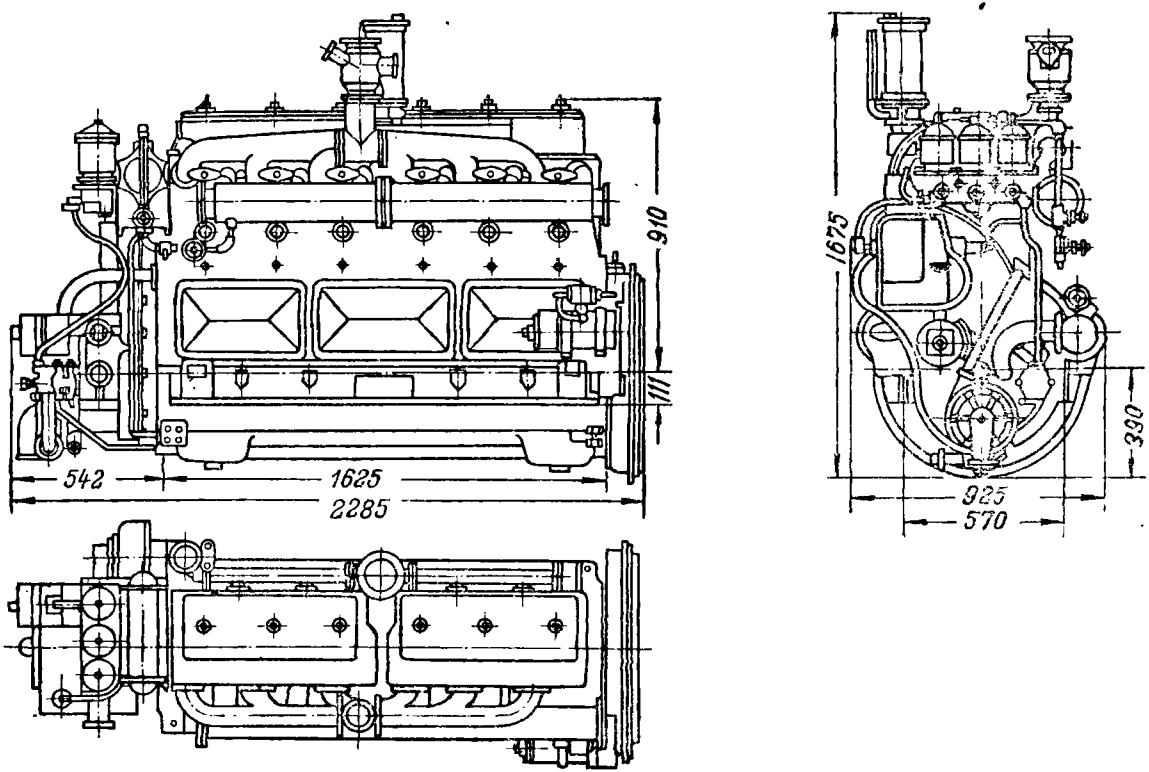
Двигатель имеет следующую характеристику:

Число тактов	4
Число цилиндров	6
Диаметр цилиндра	155 *мм*
Ход поршня	205 „
Литраж	23,2 *л*
Мощность	120 *л. с.*
Число оборотов	1000 об/мин.

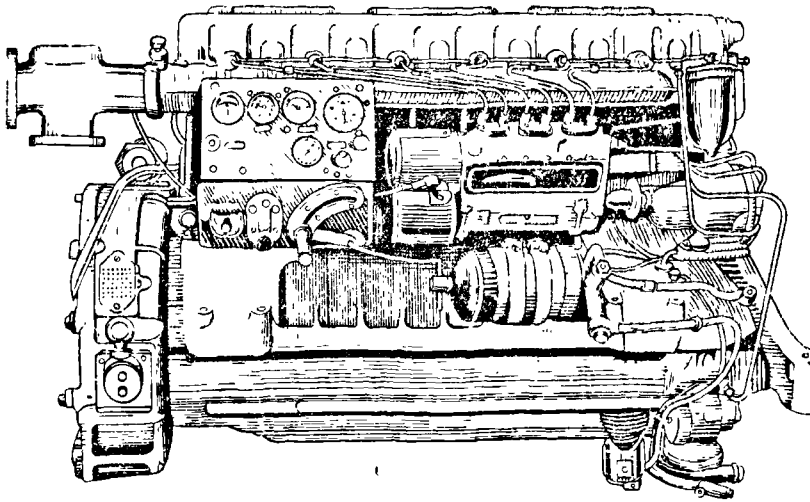
Двигатель Д6-ГД. Конструкция этого двигателя создана на базе конструкции дизеля Д-6. Двигатель Д6-ГД является газовым двигателем, работающим по газожидкостному процессу. Мощность его составляет 150 *л. с.* при 1500 об/мин., т. е. не изменилась по сравнению с работой на жидком топливе.

Общий вид двигателя приведен на фиг. 126.

По данным доводочных испытаний, двигатель Д6-ГД расходует 12—13% жидкого запального топлива. Опыты показали, что при увеличении угла опережения, установленного на серийном топливном насосе (24—26° в углах поворота коленчатого вала), присадку жидкого топлива удается уменьшить. Оптимальным оказался угол опережения в 38°, который и принят на двигателе при работе на газе.



Фиг. 125. Судовой двигатель НАТИ 6В-1[illegible],2/20,5 мощностью 120 *л. с.*



Фиг. 126. Двигатель Д6-ГД мощностью 150 *л. с.*

36. Конструкции двухтактных газовых двигателей

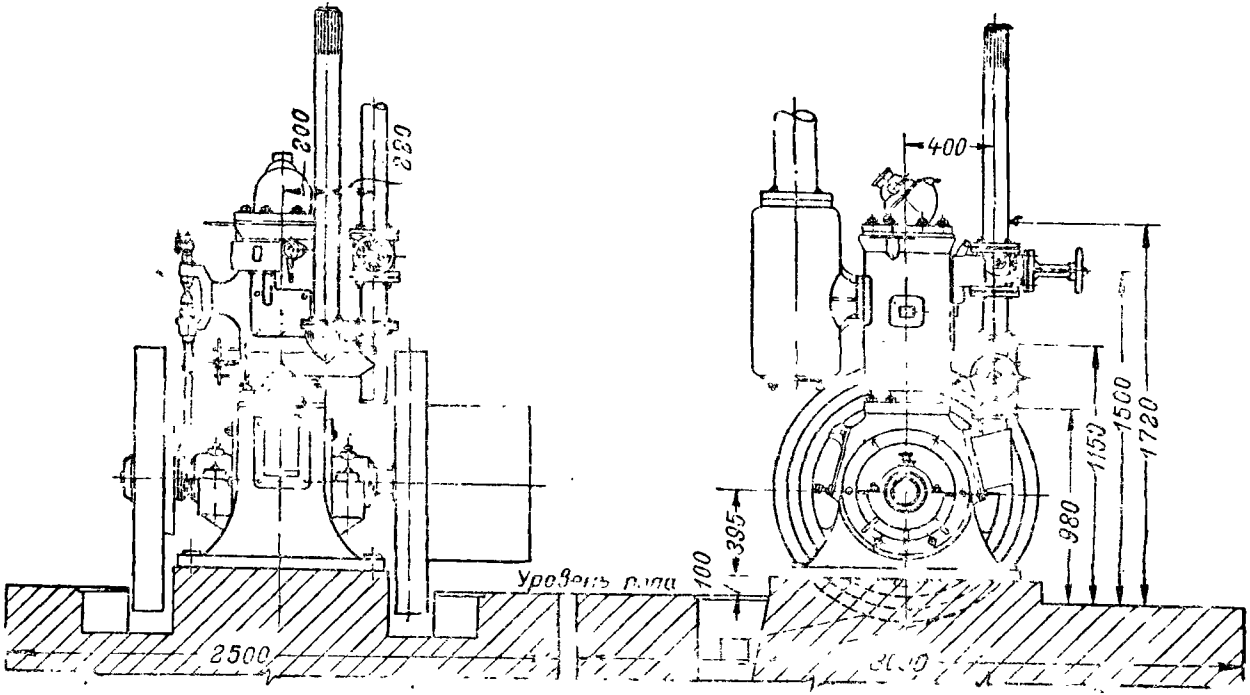
Двигатель ДВ-35. Газовый двигатель ДВ-35 создан на базе двухтактного калоризаторного нефтяного двигателя ДВ-35 мощностью 35 *л. с.* с кривошипно-камерной продувкой (завода имени Дзержинского). Общий вид этого двигателя, переведенного на газ, приведен на фиг. 127.

Для перевода этого двигателя на газовое питание потребовались следующие дополнительные детали: смеситель с дросселями качественной и количественной регулировки газовоздушной смеси; предохранительный клапан — на случай вспышки смеси в кривошипной камере; калоризатор меньшего объема — для обеспечения необходимой температуры при работе на газе и в целях надежного воспламенения газовоздушной смеси в камере сжатия двигателя.

Приготовление газовоздушной смеси осуществляется вне рабочего цилиндра, в смесителе и в кривошипной камере; продувка цилиндра производится газовоздушной смесью; воспламенение горючей смеси в цилиндре производится от калоризатора типа 18-сильного двигателя, установленного взамен существующего. Схема установки калоризатора приведена на фиг. 128.

Наряду с воспламенением газовоздушной смеси от раскаленного источника, в двигателях этого типа применяется также способ электрического зажигания и воспламенения от присадки жидкого запального топлива.

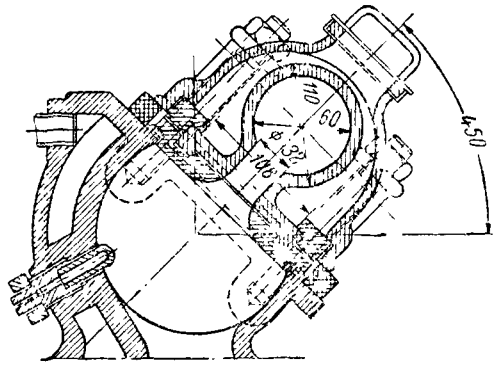
Двигатель с пульсатором. Малая экономичность газовых двухтактных двигателей с кривошипно-камерной продувкой смесью может быть значительно повышена, если продувку цилиндров двигателя осуществлять воздухом.



Фиг. 127. Общий вид переведенного на газ двухтактного калоризаторного двигателя ДВ-35

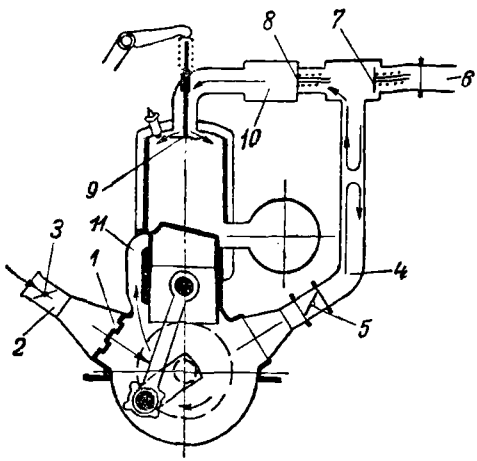
На фиг. 129 приведена схема двухтактного газового двигателя с продувкой воздухом при помощи приспособления, называемого пульсатором.

В левой части корпуса кривошипной камеры двигателя установлен обратный клапан *1* с патрубком для подвода воздуха *2* и воздушным дросселем *3*. В правой части камеры установлена пульсаторная труба *4* с дросселем *5*. Верхняя часть пульсаторной трубы крепится к газовсасывающей трубе *6*, соединяющей двигатель с газогенераторной установкой.



Фиг. 128. Установка калоризатора на двигателе.

В газовсасывающей трубе установлены клапаны *7*, *8*, *9*, открывающиеся все в одну сторону — по ходу газа. Между клапанами *8* и *9* находится ресивер *10*, из которого газ поступает в цилиндр двигателя через клапан *9*. При ходе поршня вверх воздух поступает в кривошипную камеру через обратный клапан *1* под разрежением, создаваемым в камере и пульсаторной трубе. В это время газ заполняет пульсаторную трубу через клапан *7*. При ходе поршня вниз в кривошипной камере создается избыточное давление, при котором клапан *7* закрывается, а газ, находящийся в пульсаторной трубе, поступает через клапан *8* в ресивер *10*.



Фиг. 129. Схема двухтактного газового двигателя с продувкой воздухом при помощи пульсатора:

1 — обратный клапан; *2* — патрубок для подвода воздуха; *3* — воздушный дроссель; *4* — пульсаторная трубка; *5* — дроссель; *6* — газовсасывающая труба; *7*, *8*, *9* — клапаны; *10* — ресивер; *11*—канал.

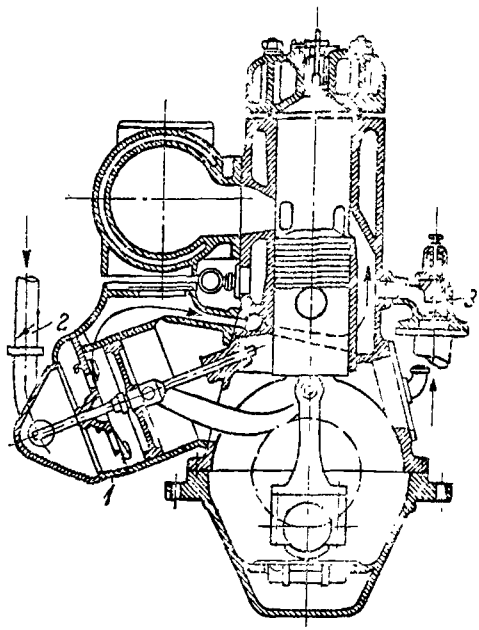
Продувка цилиндра при этом осуществляется воздухом, выходящим из кривошипной камеры в полость цилиндра по каналу *11*.

Саратовский механический завод, при переводе на генераторный газ двухтактного двигателя ГД 18/20, применил несколько видоизмененный пульсаторный принцип. Как и в случае работы на жидком топливе, продувка цилиндра двигателя остается кривошипно-камерной. Однако всасывающее действие кривошипной

камеры в созданной заводом конструкции используется не только для подсоса воздуха, но также и генераторного газа, который затем направляется на продувку и зарядку цилиндра.

Двигатель с поршневым продувочным насосом. На фиг. 130 приведена схема двухтактного газового двигателя с поршневым воздушным продувочным насосом.

Газ подсасывается продувочным насосом *1* через газопроводную трубу *2*, а воздух поступает в продувочные окна через клапан *3*, расположенный рядом с окнами. Поступление газа и продувочного воздуха в двигатель осуществляется посредством дроссельных заслонок; при этом дроссельная заслонка воздуха устанавливается вручную, а дроссель газа связывается жесткой тягой с регулятором. В цилиндровой крышке вместо предкамеры установлена вставка для запальной свечи. При величине среднего эффективного давления $P_e = 3{,}75$ *кг/см²* удельный расход тепла двигателя составлял 2800—3000 *ккал/л. с.-час.*



Фиг. 130. Схема двухтактного газового двигателя с поршневым воздушным насосом:

1 — продувочный насос; *2* — газоподводящая труба; *3* — клапан.

На фиг. 131 приведен другой способ компоновки продувочного насоса для V-образного газового двухтактного двигателя, работающего с электрическим зажиганием.

Продувочный насос расположен в картерной части двигателя и приводится в действие от основного коленчатого вала.

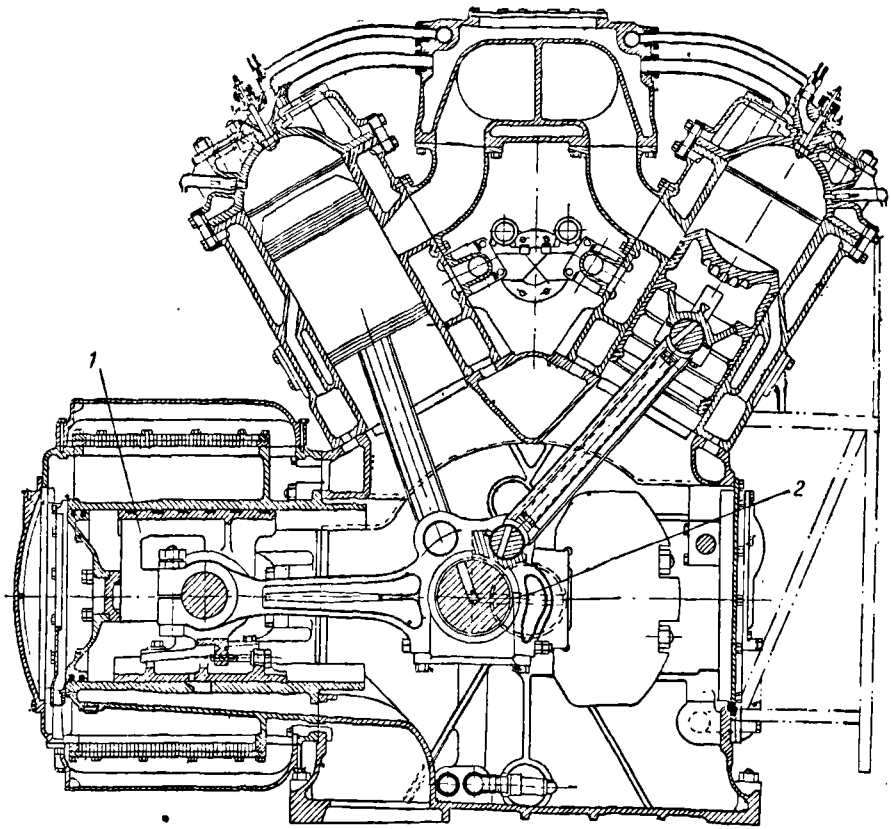
Двигатель с прямоточной продувкой и автоматическим клапаном. На фиг. 132 приведена схема двухтактного газового двигателя с прямоточной продувкой и автоматическим клапаном. Газомоторная установка, работающая по этой схеме, находится под давлением; это приводит к увеличению коэффициента наполнения двигателя. В случае перевода двухтактного двигателя с жидкого топлива на газ по этому способу необходимы следующие работы:

1) существующие продувочные клапаны и окна заделываются;

2) цилиндровая крышка заменяется новой, и на ней монтируются автоматический впускной клапан, электрическая запальная свеча и форсунка

3) устанавливается прибор электрического зажигания;

4) на корпусе картера устанавливается обратный клапан, через который воздух, сжатый в картере, подается в особую распредели-



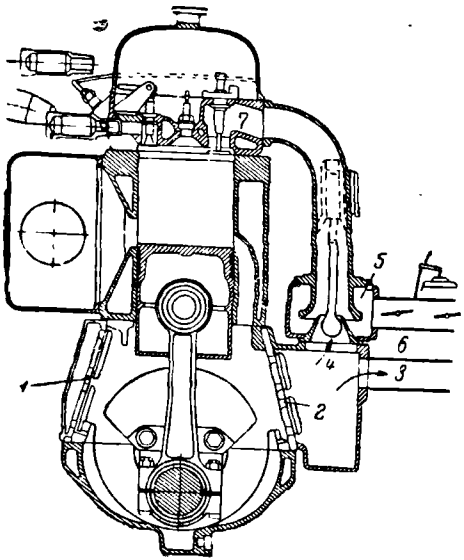
Фиг. 131. Схема двухтактного V-образного газового двигателя с продувочным насосом.

тельную камеру сжатого воздуха, откуда часть его поступает в газогенератор, а часть — в смеситель.

Работа установки протекает следующим образом. При ходе поршня вверх воздух в кривошипную камеру, играющую роль воздушного насоса, всасывается через автоматический клапан *1*; при ходе поршня вниз воздух в камере сжимается и выпускается через обратный клапан *2* в распределительную камеру сжатого воздуха.

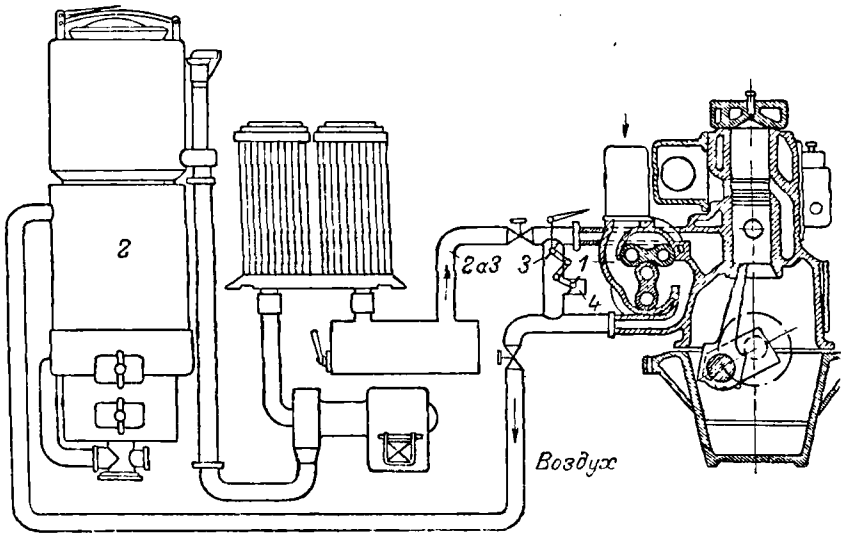
Часть сжатого воздуха по трубопроводу *3* подается в газогенератор для газификации. Вся газогенераторная установка герметична и находится под избыточным давлением, превышающим 0,1 *кг/см*^{2}.

Генераторный газ проходит в смесительную камеру *5* через газовую заслонку *6*, которая регулирует количество подаваемого газа. Воздух поступает в смесительную камеру через шаровой регулируемый клапан *4*.



Фиг. 132. Схема двухтактного газового двигателя с прямоточной продувкой и автоматическим клапаном:

1 — автоматический клапан; *2* — обратный клапан; *3* — трубопровод для подачи сжатого воздуха *4* — шаровой клапан; *5* — смесительная камера; *6* — газовая заслонка; *7* — автоматический клапан.



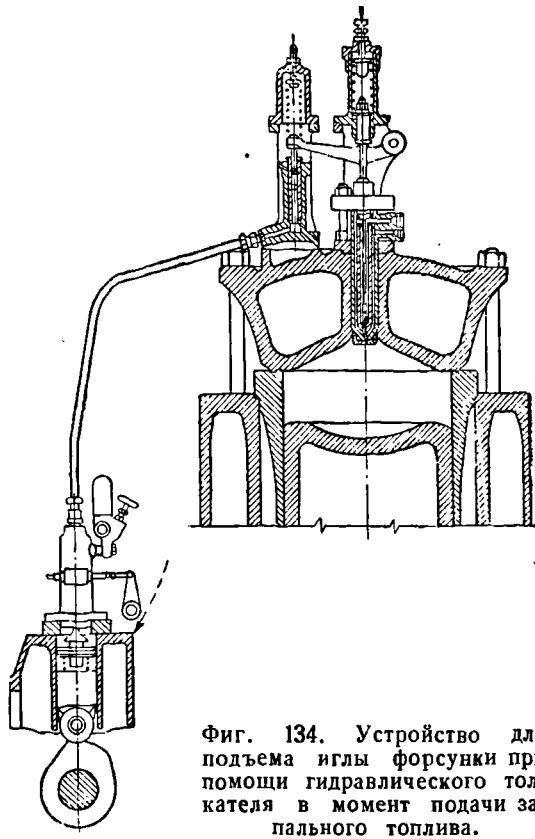
Фиг. 133. Схема газомоторной установки с двухтактным двигателем и реверсивной продувкой.

1 — компрессор; *2* — газогенератор; *3* — дроссель; *4* — перепускной дроссель.

При ходе поршня вниз в рабочем цилиндре открываются выпускные окна, и давление в нем падает. Автоматический клапан *7*, находящийся под избыточным давлением, открывается, и газовоздушная смесь начинает поступать в цилиндры, вынуждая отработанные газы уходить через окна. Этим создается прямоточная продувка. Одновременно с продувкой производится наполнение рабочего цилиндра свежей газовой смесью. Мощность двигателя при переводе на генераторный газ по этому способу остается примерно такой же, как на жидком топливе. Наибольшее давление, создаваемое в кривошипной камере, достигает 1,16 *кг/см*^{2}.

Двигатель с реверсивной продувкой. В двухтактных газовых двигателях с реверсивной продувкой процесс продувки осуществляется воздуходувкой, составляющей одно целое с двигателем.

На фиг. 133 приведена схема двухтактного газового двигателя с воспламенением смеси от запального жидкого топлива с продувкой смесью от воздуходувки.



Фиг. 134. Устройство для подъема иглы форсунки при помощи гидравлического толкателя в момент подачи запального топлива.

Часть воздуха, сжатого в воздуходувке, нагнетается в газогенератор *2* для газификации топлива, а другая часть смешивается перед дросселем *3* с выходящим из газогенераторной установки газом и поступает в двигатель для его продувки и зарядки. Соотношение воздуха, поступающего для газификации в газогенератор и расходуемого на смешение с газом и продувку, регулируется дросселем *3*. Важное значение здесь придается перепускной дроссельной заслонке *4*, которая дает возможность уменьшить расход и потерю продувочных средств, позволяя излишнему воздуху выходить в атмосферу.

Заслонка *4* связана с заслонкой *3* таким образом, что при повышении нагрузки она прикрывается, а при снижении — открывается, регулируя этим режим процесса газификации топлива в газогенераторе.

На фиг. 134 приведено устройство для подъема иглы форсунки при помощи гидравлического толкателя в момент подачи запального

топлива в цилиндры двигателя. Механизм состоит из насоса, предназначенного для подачи масла в цилиндр гидравлического подъемника, и трубки, соединяющей масляный насос с гидравлическим подъемником.

Плунжер топливного насоса, управляемый распределительным валом, посредством замкнутого столба сжатой жидкости регулирует движение гидравлического подъемника и иглы форсунки. Изменяя величину нагнетательного хода плунжера масляного насоса, можно изменять и величину подъема иглы в соответствии с нагрузкой двигателя. Быстрая посадка иглы на седло является важным условием экономичной работы двигателя и обеспечивается резкой отсечкой нагнетательного хода плунжера масляного насоса и сильной пружиной иглы топливного насоса.

Продувка цилиндров двигателя осуществляется чистым воздухом с помощью обычного продувочного насоса.

Ниже приводятся некоторые данные результатов испытаний двигателя с устройством для подъема иглы форсунки:

Нагрузка в %	100	75	80
Расход тепла газовой части в *ккал/квт-час*	2340	2580	2750
Расход тепла запального топлива в *ккал/квт-час*	660	230	350
Общий расход тепла в *ккал/квт-час*	3000	2810	3100
К. п. д. двигателя в % . . .	28,7	30,6	27,8

37. Характеристики малолитражных двигателей, работающих на газе

В Советском Союзе газогенераторные установки малой мощности строятся главным образом для карбюраторных быстроходных бензиновых двигателей мощностью от 2,5 до 6 *л. с.* Приспособление этих двигателей для работы на газе заключается в повышении степени сжатия и установке смесителя.

Степень сжатия в двигателе повышается путем уменьшения высоты головки или замены медной или железо-асбестовой прокладки под головкой цилиндра на прокладку из фольги или чертежной бумаги толщиною 0,15—0,20 *мм*, что дает возможность получить потерю мощности по сравнению с работой на бензине в пределах 20—25%.

Смеситель двигателя обычно монтируется вместе с карбюратором и устанавливается на месте воздушного фильтра. При этом способе газ должен проходить через всасывающий патрубок карбюратора. Для уменьшения сопротивления в этом случае диффузор, обычно находящийся на патрубке карбюратора, вынимается, что не вызывает трудностей при запуске двигателя на бензине.

Более медленное, „вялое" сгорание газовоздушной смеси по сравнению с бензовоздушной предъявляет требование работы двигателя на более раннем зажигании, которое осуществляется поворотом муфты магнето против направления вращения на угол, равный примерно 10—15°.

В табл. 34 приводятся основные технические характеристики малолитражных двигателей.

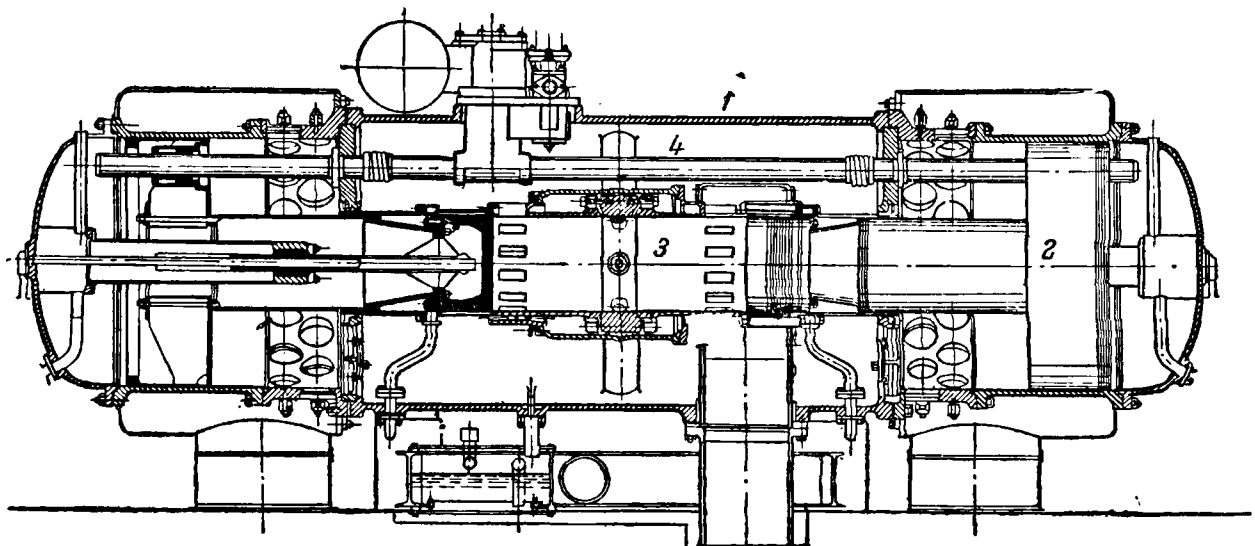
Таблица 34

Основные технические характеристики малолитражных двигателей

Характеристика	Марка двигателя							
	Л-3	Л-3/2	КМ	Л-6/2	Л-12/4	ЗИД-4,5	ЗИД-3	У-2
Число тактов	4	4	2	4	4	2	2	4
Мощность на жидком топливе в *л. с.*	3,0	3	3	6	12	4,5	3,0	22,0
Мощность на газе в *л. с.*	1,7	2,0	2,0	4,3	8,5	3,0	2,0	16,0
Диаметр цилиндра в *мм*	60	—	85	65	66	86	70	95
Ход поршня в *мм*	90	—	78	90	90	90	90	127
Литраж двигателя в $см^3$	254	298	440	597	1195	520	345	3600
Степень сжатия на бензине	5,0	5,0	—	—	4,5	4,5	4,5	4,1
Степень сжатия на газе	6,5—7,0	6,5—7,0	—	—	—	—	—	—
Число оборотов двигателя в минуту	2200	2200	950	2200	2200	2000	2000	1200
Диаметр маховика в *мм*	275	275	280	—	—	—	—	—
Охлаждение	термосифонное	термосифонное	—	—	—	—	—	—
Емкость системы охлаждения в *л*	5,0	5,0	—	—	—	—	—	—
Габариты двигателя в *мм*:								
длина	590	590	750	737	—	—	—	—
ширина	450	450	600	463	—	—	—	—
высота	735	735	780	770	—	—	—	—
Полный вес двигателя в *кг*	80	81	60	110	160	60	54	500 со сцеплением

38. Мотогазогенераторы

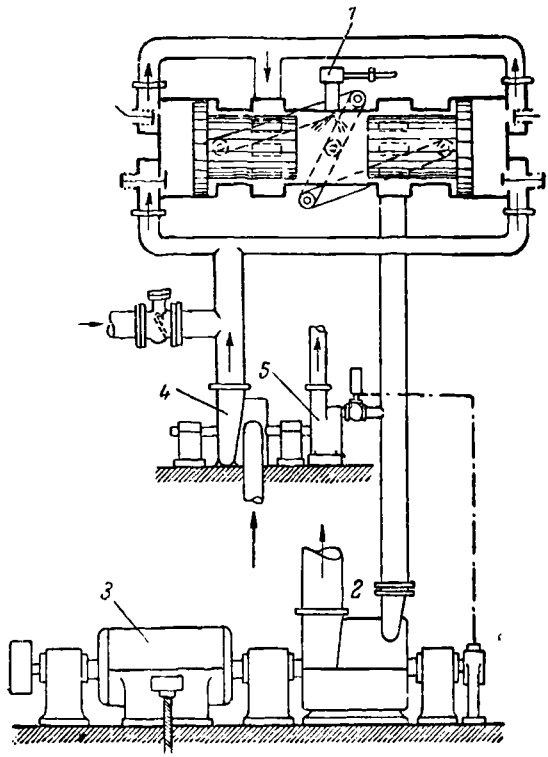
Одним из возможных способов использования газообразного топлива является его применение в двигателях исключительно для получения газов, направляемых в турбину, вращающую электрический генератор. Такие двигатели, со свободными поршнями, без коленчатого вала, носят название генераторов газа или мотогазогенераторов. На фиг. 135 приведен общий вид мотогазогенератора. Его опорная



Фиг. 135. Мотогазогенератор (продольный разрез):

1 — стальной корпус; *2* — компрессор; *3* — цилиндр; *4* — водяная рубашка.

центральная часть образована бочкообразным сварным стальным корпусом *1* с диаметром, равным диаметру цилиндров компрессоров *2*, находящихся по одному с двух сторон двигателя. В центральной части двигателя расположен цилиндр *3* с камерой сгорания и водяной рубашкой *4*. Остальная свободная часть корпуса служит ресивером для воздуха, обеспечивающего продувку и наддув двигателя.



Фиг. 136. Силовая схема установки мотогазогенератора со свободными поршнями:

1 — мотогазогенератор; *2* — турбина; *3* — электрогенератор; *4* — вспомогательная турбина; *5* — компрессор.

Направляющие части цилиндров компрессора являются поршнями двигателя. Труба, проходящая по всей длине двигателя, предупреждает поршни от вращения по окружности и в то же время, будучи открыта с обеих сторон, выравнивает давление воздуха в камерах компрессионной части двигателя.

Поршни двигателя передвигаются по направлению друг к другу за счет расширения воздуха в компрессорных цилиндрах, сжимая при этом заряд топлива, находящегося между поршнями. В результате воспламенения топливного заряда и расширения газов поршни двигателя расходятся. Воздух, засосанный компрессорными поршнями в предыдущем цикле, сжимается и используется для продувки и наддува цилиндра двигателя.

Силовая схема установки с несколько иным типом мотогазогенератора приведена на фиг. 136.

Газы, выходящие из камеры мотогазогенератора *1*, направляются в турбину *2*, соединенную с электрогенератором *3*. Вспомогательная турбина *4*, питаемая от главного газопровода, приводит первичный компрессор *5*, который сжимает воздух, поступающий в поршневые компрессоры, и тем самым осуществляет их наддув.

ГЛАВА X

СХЕМЫ ГАЗОМОТОРНЫХ УСТАНОВОК

Схема газомоторной установки определяется видом газифицируемого топлива, условиями эксплоатации и назначением установки.

Например, для засушливых районов с трудными условиями водоснабжения особо должен решаться вопрос охлаждения газа и его очистки. Установка, предназначенная для стационарной работы, отличается от передвижной установки.

Это различие заключается в габаритах и весе установки, в системе очистки и охлаждения газа, в условиях обслуживания и вытекающих отсюда конструктивных особенностях агрегатов установки.

Таким образом, выбор конструктивно-технологической схемы установки является важным этапом проектирования, определяющим не только техническую, но и хозяйственно-эксплоатационную сторону ее работы.

Ниже приводится описание технологических схем стационарных газомоторных установок, передвижных установок и некоторых принципиально новых схем газификации твердого топлива.

39. Стационарные установки

Газомоторная установка Г-2 для газификации древесины. На фиг. 137 приведена схема установки Г-2 для газификации древесины, созданная Центральным научно-исследовательским дизельным институтом и поставленная на производство заводом „Двигатель Революции" для газовых двигателей мощностью 110 и 140 *л. с.* Производительность установки соответственно 380 и 450 *нм*^{3}*/час.*

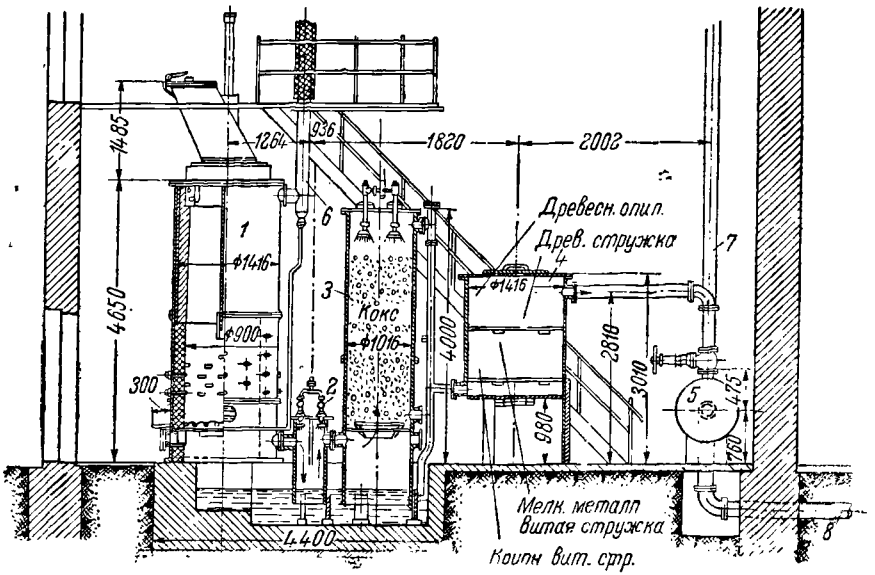
Газогенераторная установка состоит из газогенератора обращенного процесса *1*, очистителя-охладителя газа *2* для грубой очистки газа от крупных частиц угля и пыли и охлаждения с 450—550° до 350—400° С, скруббера *3*, заполненного коксом, для очистки и охлаждения газа от 350—400° до 20—30 °С.

Тонкая очистка газа и дальнейшая осушка осуществляются в фильтре тонкой очистки *4*, заполненном древесными опилками, древесной или металлической стружкой.

Грубый очиститель нижней частью погружен в гидравлический затвор. Внутри он разделен вертикальной перегородкой на две

части — для изменения направления газа. Скруббер состоит из двух сварных металлических барабанов. Нижняя часть скруббера также опущена в гидравлический затвор. Насадка скруббера — кокс, расположенный на металлических решетках. Кокс орошается водой посредством трех форсунок.

Расход воды в скруббере составляет летом 20 *л/л. с. час*, а зимой 15 *л/л. с. час*; напор воды, подаваемой в скруббер, составляет не менне 2,5 *мм* вод. ст.



Фиг. 137. Схема стационарной газомоторной установки Г-2 для газификации древесины:

Для выравнивания колебаний газа в системе предусмотрен газовый ресивер *5*.

Розжиг и продувка всей газогенераторной установки осуществляются ручным вентилятором типа КП-44, установленным на кронштейнах, приваренных к нижнему корпусу скруббера.

Подача газа в двигатель, установленный в машинном отделении, осуществляется по газопроводу *8*.

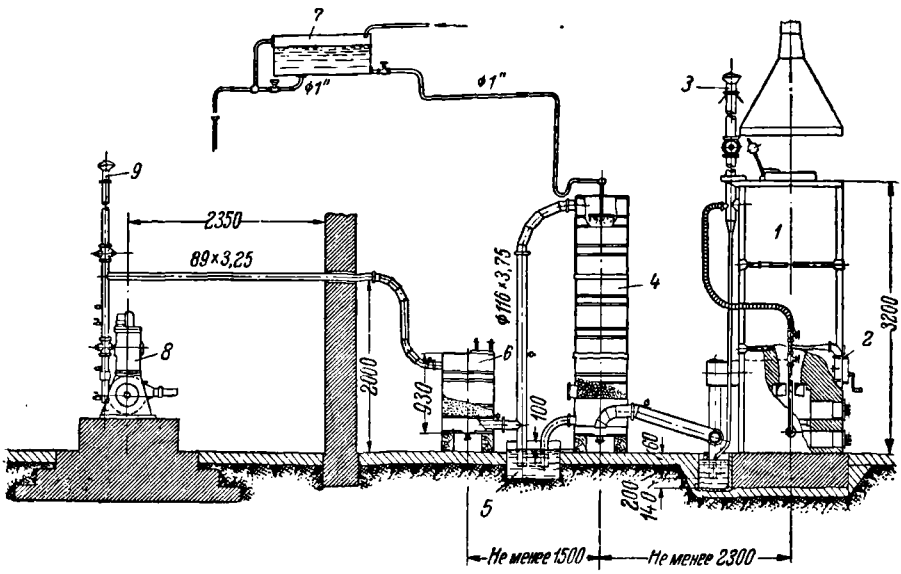
В настоящее время, на базе работ по модернизации установки, проведенных институтом, заводом имени 25-го Октября, взамен установки Г-2 выпускаются древесные газогенераторные установки Г-12 и Г-13 с газовыми двигателями мощностью 45 и 90 *л. с.* Технологическая схема этих установок в целом осталось неизмененной.

Газомоторная установка Промзернопроекта для газификации древесины. Производительность установки 100—140 *нм*^{3} газа в час. Топливом служат древесные чурки смешанных пород размером 80 × 80 × 120 *мм*.

Установка (фиг. 138) состоит из газогенератора обращенного процесса, стояка с гидравлическим затвором, скруббера с гидравлическим затвором, сухого очистителя, двигателя и вентилятора розжига.

Отличительной особенностью установки является подвод охлаждающей воды между газогенератором и скруббером, благодаря чему достигается, во-первых, грубая очистка газа от механических примесей, во-вторых, предварительное охлаждение газа для предотвращения обратных реакций и защиты деревянной насадки скруббера от тления.

Скруббер металлический; высота скруббера 3 *м*, диаметр 0,624 *м*. В качестве насадки в скруббере используется кокс или древесная



Фиг. 138. Схема стационарной газомоторной установки Промзернопроекта для газификации древесины.

чурка с размером кусков не меньше 50×50 *мм*. Высота слоя насадки составляет 2 *м*.

При входе в скруббер газ барботирует через водяной затвор. В съемной крышке скруббера установлен патрубок с тремя оросителями каскадного типа. Сухой очиститель металлический, сварной. Габариты очистителя: высота 1000 *мм*, внутренний диаметр 0,624 *мм*, высота фильтрующей массы (опилки, стружки) 250 *мм*.

Розжиг газогенератора осуществляется ручным вентилятором, установленным на кронштейнах, приваренных к кожуху газогенератора.

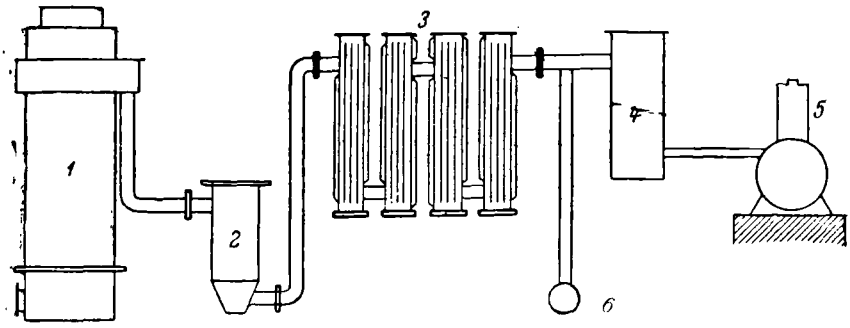
Газовый двигатель установлен в отдельном помещении, куда газ подводится от тонкого фильтра.

Водяное хозяйство установки состоит из водяного напорного бака, оросительной системы скруббера, двух гидрозатворов, отстойного резервуара, перекачивающих насосов и градирни.

При наличии центрального водопровода водяное хозяйство значительно упрощается.

В эксплоатационных условиях, при газификации древесины влажностью 38,2 % с интенсивностью 175 *кг/м²* *час*, температура газа на выходе из газогенератора равнялась 443° С, а после скруббера — 33° С, при температуре охлаждающей воды 20° С. Среднее гидравлическое сопротивление установки составляет 110 *мм* вод. ст.

Газомоторная установка К-9 для газификации растительных отходов с воздушным охлаждением газа (фиг. 139). Установка предназначена для привода сельскохозяйственной вальцовой мельницы. Состоит из газогенератора *1* обращенного процесса, циклонного пылеуловителя *2*, блока воздушного охлаждения газа *3*, фильтра тонкой очистки газа *4*, двигателя *5* и вентилятора розжига *6*.



Фиг. 139. Схема облегченной газомоторной установки К-9 для газификации растительных отходов с воздушным охлаждением газа:

1 — газогенератор; *2* — циклон; *3* — воздушный охладитель; *4* — фильтр тонкой очистки; *5* — двигатель; *6* — вентилятор розжига.

В качестве двигателя использован в данном случае тракторный двигатель ХТЗ, развивающий на газе мощность 18 *л. с.*

Особенностью приведенной схемы является использование для стационарной газомоторной установки способа воздушного охлаждения газа.

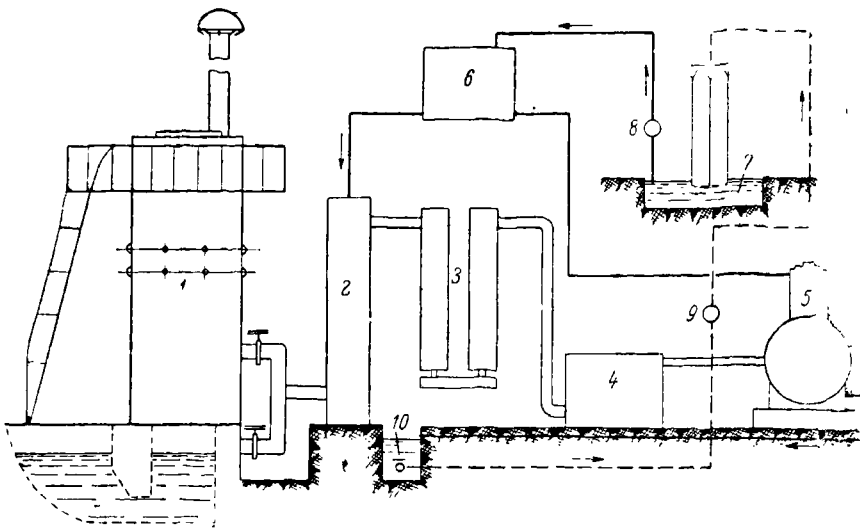
Блок воздушного охлаждения газа состоит из четырех последовательно соединенных цилиндров, наружная поверхность которых покрыта тонкими металлическими ребрами. Установлен блок охлаждения на высокой подставке, на открытом воздухе, на расстоянии 3 *м* от стены газомоторного помещения.

Газомоторная установка К-10 для газификации растительных отходов с водяным охлаждением газа. Установка построена в Омской области. Производительность установки 70 *нм³* газа в час.

Газогенератор *1* (фиг. 140) дает возможность газифицировать топливо как по обращенному, так и по двухзонному процессам. Представляет собой шахту прямоугольного сечения, выложенную из кирпича.

Шахта имеет внизу котлован с гидравлическим затвором, куда производится сброс золы с колосниковой решетки посредством качающегося золосброса с ручным приводом.

Охлаждение газа водяное; осуществляется в скруббере *2*. Скруббер представляет собой металлический цилиндр диаметром 550 *мм* и высотою 2500 *мм*. В качестве заполнителя в скруббере испытывался битый кирпич и древесная чурка, однако в последнем случае следует рекомендовать барботаж газа, во избежание тления древесных чурок. В качестве дополнительного устройства для очистки и осушки газа используются два цилиндрических охладителя *3* с перфорированными дисковыми перегородками.



Фиг. 140. Схема стационарной газомоторной установки К-10 для газификации растительных отходов с водяным охлаждением газа:

1 — газогенератор; *2* — скруббер; *3* — вертикальный охладитель; *4* — фильтр; *5* — двигатель; *6* — напорный бак; *7* — пленочная градирня с бассейном-отстойником.

Тонкая очистка газа происходит в фильтре *4*, заполненном стружкой и древесными опилками. Объем фильтра 0,41 $м^3$; объем фильтрующей массы 0,17 $м^3$. После очистки газ поступает в двигатель *5*.

Водяное хозяйство установки состоит из водяного напорного бака *6*, градирни с бассейном-отстойником *7*, двух насосов *8* и *9* производительностью 40 *л/мин* и гидравлического затвора скруббера *10* для приемки скрубберных вод.

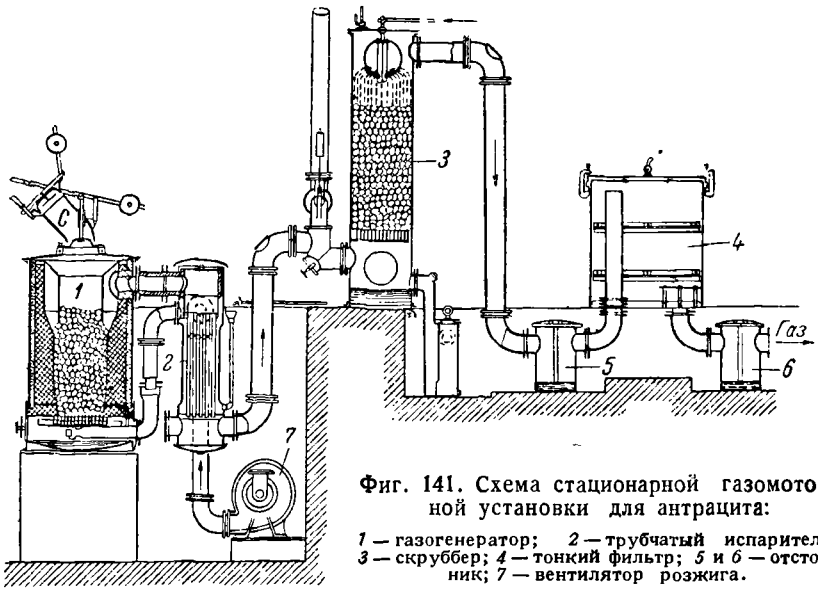
Градирня пленчатого типа, с водяным бассейном. Площадь охлаждения градирни составляет 11 $м^2$; максимальная отдача тепла — 44 000 *ккал/час*.

Розжиг газогенератора осуществляется ручным вентилятором производительностью 60 $нм^3/час$ при общем напоре 70 *мм* вод. ст.

Газомоторная установка для газификации антрацита. На фиг. 141 приведена схема газомоторной установки прямого процесса для газификации антрацита.

Отличительной особенностью этой схемы является наличие испарителя, установленного между газогенератором и скруббером.

Испаритель трубчатого типа; обогревается газами, выходящими из газогенератора с температурой 400—600° С. Образующийся пар смешивается с воздухом и в виде паровоздушной смеси подается



Фиг. 141. Схема стационарной газомоторной установки для антрацита:

1 — газогенератор; *2* — трубчатый испаритель; *3* — скруббер; *4* — тонкий фильтр; *5* и *6* — отстойник; *7* — вентилятор розжига.

под колосниковую решетку газогенератора, а оттуда поступает в слой газифицируемого топлива. Назначение остальных элементов установки ясно из экспликации к фиг. 141.

40. Передвижные установки

Газомоторная установка для передвижной электростанции ВИМЭ. На фиг. 142 приведена схема передвижной газогенераторной электрической станции конструкции ВИМЭ.

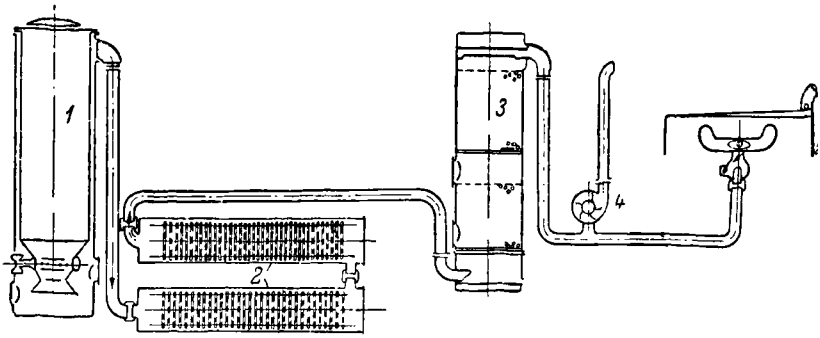
Электростанция размещена на автоприцепе и состоит из двух силовых агрегатов мощностью по 12 *квт*, двух распределительных устройств и двух газогенераторных установок. Станция работает на переменном токе с напряжением 230/120 *в*. В качестве топлива используются древесные чурки.

Агрегат станции состоит из газового двигателя типа ГАЗ АА мощностью 25 *л. с.* при 1500 об/мин., электрогенератора типа ПНТ-100 мощностью 12 *квт*, непосредственно соединенного с двигателем, возбудителя ПН-10 мощностью 0,75 *квт* и газогенераторной установки типа НАТИ-Г-14. Установка состоит из газогенератора

обращенного процесса *1*, двух цилиндрических охладителей-очистителей *2*, фильтра тонкой очистки *3* и вентилятора розжига *4*.

Агрегаты и распределительные устройства установлены на автоприцепе и защищены от атмосферных осадков разборным кузовом. Газогенераторная установка расположена на автоприцепе сзади.

Передвижная электростанция снабжена сушилкой для газогенераторного топлива, использующей отработанные газы двигателя.



Фиг. 142. Схема передвижной газомоторной установки ВИМЭ:
1 — газогенератор; *2* — грубые очистители-охладители; *3* — тонкий фильтр; *4* — вентилятор розжига.

Газомоторная установка ЦНИДИ для газификации соломы. На фиг. 143 приведен общий вид передвижной газомоторной установки для газификации соломы-сечки, созданной Центральным научно-исследовательским дизельным институтом. Газовым двигателем на этой установке является переоборудованный для работы на генераторном газе комбайновый двигатель типа ГАЗ-МК производства Горьковского завода имени Молотова с мощностью на газе 17—18 *л. с.* при 1500 об/мин.

Установка смонтирована на передвижной колесной раме с буксиром для автотракторной или конной тяги; предназначена для привода сельскохозяйственных машин, водяных насосов и т. п.

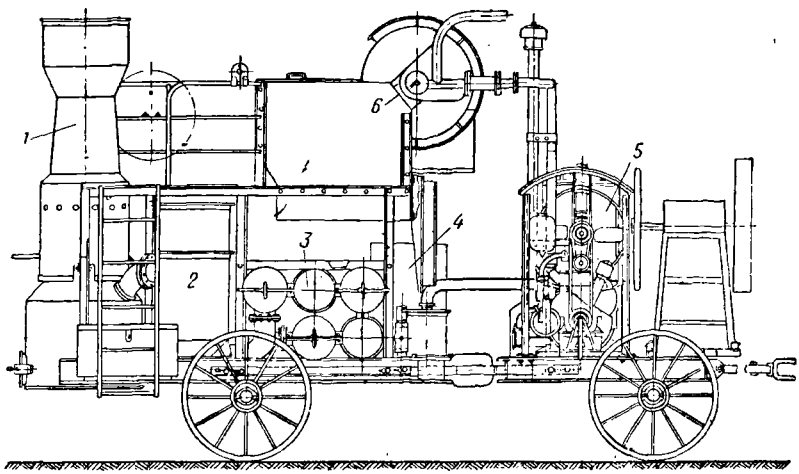
На фиг. 144 приведена схема газомоторной установки ЦНИДИ-СГ4. Первая серия этих установок прошла полевые испытания в сельском хозяйстве в 1948 г.

Газ, получаемый в газогенераторе *1*, поступает в циклон *2*, где проходит предварительную грубую очистку от механических примесей. Охлаждение и дополнительная очистка газа происходят в батарее цилиндрических, последовательно соединенных охладителей *3*, внутри которых установлены перфорированные металлические диски.

Тонкая очистка газа и частичная его осушка осуществляются в фильтре тонкой очистки *4*, заполненном древесными стружками и опилками.

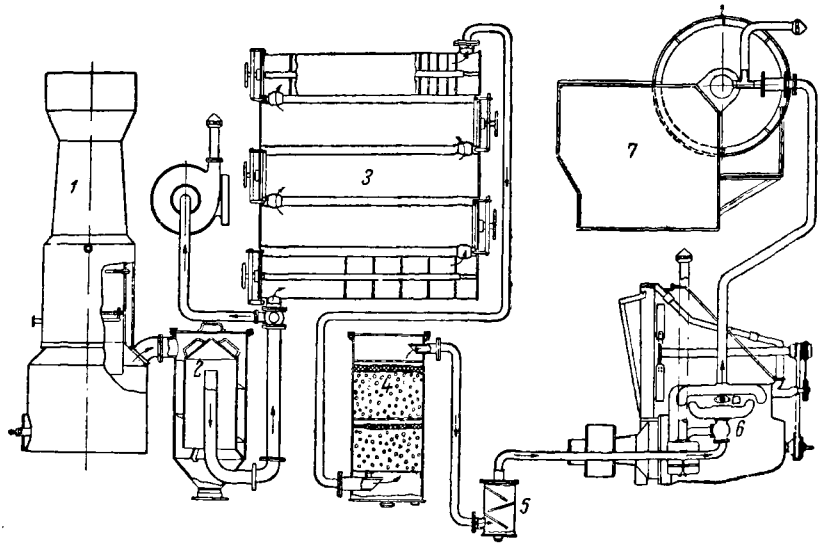
После полной очистки газ через отстойник *5* поступает в смеситель двигателя *6*.

Отработанные газы двигателя направляются в выпускную трубу и по ней следуют в барабанное сушило *7* для сушки соломы-сечки.



Фиг. 143. Общий вид передвижной газомоторной установки ЦНИДИ для газификации соломы:

1 — газогенератор; *2* — циклон; *3* — охладители газа; *4* — тонкий фильтр; *5* — газовый двигатель; *6* — сушило.

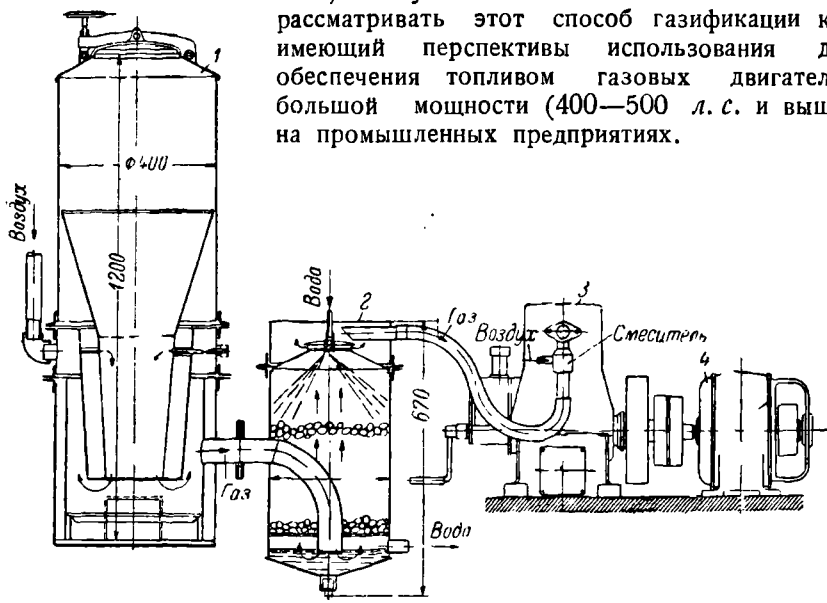


Фиг. 144. Схема передвижной газомоторной установки ЦНИДИ для газификации соломы:

1 — газогенератор; *2* — циклон; *3* — охладители газа; *4* — фильтр тонкой очистки; *5* — отстойник; *6* — смеситель двигателя; *7* — барабанное сушило.

Газомоторная установка МСВ-90 для двигателя Л2-6 мощностью 4 *л. с.* В схему газомоторной установки (фиг. 145) входят газогенератор обращенного процесса *1*, охладитель-очиститель *2* комбинированного типа и двигатель *3* с динамо-машиной *4*. Устройство отдельных агрегатов газомоторной установки ясно из схемы и не требует пояснений.

Газогенераторная станция для газификации топлива в „кипящем" слое. Газификация твердого топлива в кипящем слое является одним из новых методов энергетической переработки твердого топлива; отсутствие смолы в газе позволяет рассматривать этот способ газификации как имеющий перспективы использования для обеспечения топливом газовых двигателей большой мощности (400—500 *л. с.* и выше) на промышленных предприятиях.



Фиг. 145. Схема газомоторной установки МСВ-90.

На фиг. 146 приведена схема одной из действующих установок. Установка работает на мелочи бурого угля, подсушенной до влажности 10—15 %, или на буроугольном полукоксе.

Топливо из углеподготовительного отделения пневматически подается в бункеры установки *1*. В качестве транспортирующей среды применяется углекислота или азот, являющиеся отходами основного производства. Для отделения топлива от азота под крышей бункера установлены циклоны *2*. Азот из циклона выбрасывается в атмосферу.

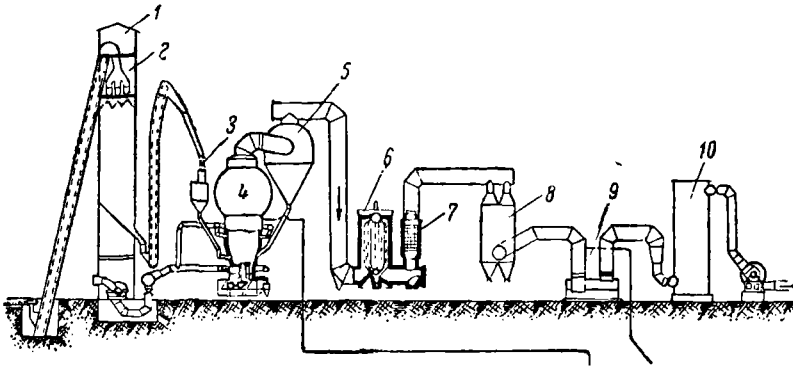
Топливо далее поступает в индивидуальный бункер *3*, откуда через три отверстия направляется в шнеки *4* газогенератора.

Для предупреждения попадания газа из газогенератора в бункер последний герметизирован, и в нем, как и во всей системе топливоподачи, заполненной углекислотой, поддерживается давление порядка 1500—2500 *мм* вод. ст.

Выходящий из генератора газ поступает в циклон *5*. Улавливаемая

в циклоне пыль возвращается в генератор или принимается в особые приемники.

Из циклона газ с температурой 850°С поступает в котел-утилизатор *6*, а затем в водяной экономайзер *7*; далее, при температуре 170—180°С, газ проходит мультициклон *8*, после которого вступает в гидравлический затвор *9* и затем в скруббер *10*. Из скруббера



Фиг. 146. Схема газогенераторной станции для газификации топлива в „кипящем" слое:

1 — бункер; *2* и *5* — циклоны; *3* — индивидуальный бункер; *4* — шнек газогенератора; *6* — котел-утилизатор; *7* — водяной экономайзер; *8* — мультициклон; *9* — гидравлический затвор; *10* — скруббер.

газ направляется в дезинтегратор, где очищается от пыли до содержания ее в газе 0,004—0,005 *г/нм*^{3}, и далее через пылеуловитель направляется в газгольдер.

Пыль из мешков мультициклона пневматически (углекислотой) передается в пылеприемники.

Пар с давлением 20 *ата* и температурой 200—210°С после перегрева до 260°С переходит к соседним потребителям.

Производительность котла составляет 0,6—0,7 *т* пара на 1000 *нм*^{3} получаемого газа.

ГЛАВА XI

ЭКСПЛОАТАЦИЯ ГАЗОМОТОРНЫХ УСТАНОВОК

Одним из решающих условий успешного внедрения в народное хозяйство газомоторных установок является их правильная техническая эксплоатация.

Неправильный уход и обслуживание установки могут быть причиной преждевременного выхода ее из эксплоатации.

Газомоторная установка, сочетая в себе источник образования горючего газа — газогенераторную установку и потребитель газа — газовый двигатель, является достаточно сложным устройством. Поэтому без основательного знания работы отдельных агрегатов установки, технологического процесса получения генераторного газа, без овладения техникой ведения процесса и его управления нельзя рассчитывать на хорошие результаты работы установки.

Следовательно, главной задачей в организации внедрения в народное хозяйство газомоторных установок является подготовка квалифицированных кадров механиков-газогенераторщиков по специальной программе.

Обслуживание газомоторных установок и контроль режима их работы принципиально одинаковы для всех типов установок, однако каждая отдельная установка имеет свои особенности, обусловленные ее конструкцией, которые должны найти отражение в инструкции по эксплоатации.

Не касаясь всей суммы вопросов, связанных с эксплоатацией газомоторных установок, остановимся на порядке обслуживания установки, контроле режима работы и технике безопасности.

41. Подготовка газогенераторной установки к пуску

Пуск газомоторной установки обычно начинается с пуска газогенератора, как операции наиболее трудоемкой и длительной.

Прежде чем загрузить в газогенератор топливо и приступить к его розжигу, необходимо провести ряд подготовительных работ, а именно: проверить состояние и правильность действия крышек загрузочного люка газогенератора, люков зольника и топочной камеры, задвижки влагоотсасывающей трубы, насосов и вентилей

системы водоснабжения газогенераторной установки; проверить закрытие фурм и шуровочных люков; далее необходимо проверить запас воды в баках и состояние гидравлических затворов, а зимой — убедиться в том, что в системе нет замороженных участков и застоев льда в местах слива воды и в водяном затворе скруббера. Следует обращать особое внимание на плотность прилегания люков к пазам и фланцевых соединений, так как подсос воздуха является одной из самых распространенных причин неудовлетворительной работы установки, а часто и источником трудностей при розжиге топлива в газогенераторе.

Для устранения неплотностей в системе следует заранее приготовить глину, асбест и раствор железного сурика с олифой.

Одной из причин ненормальной работы установки и трудностей ее пуска является повышенное сопротивление системы вследствие заноса газопровода между газогенератором и очистителем частицами золы и сажи. Поэтому перед пуском газогенератора следует убедиться в том, что гидравлическое сопротивление установки нормальное. Эту проверку можно осуществить вентилятором розжига и наблюдением за показанием водяных манометров, установленных за газогенератором и очистителем.

После указанных подготовительных работ необходимо проверить топливо для газогенератора в отношении его количества и качества (размер кусков, влажность), а также наличие всего необходимого для его подачи в загрузочный люк газогенератора.

Для розжига газогенератора следует заранее подготовить сухие древесные стружки, мелко наколотые дрова или древесный уголь.

42. Указания по розжигу топлива в газогенераторе обращенного процесса

Если газогенератор полностью очищен после длительной стоянки или ремонта установки, то розжиг топлива в нем следует производить в следующем порядке: открыть загрузочную крышку газогенератора и задвижку влагоотсасывающей трубы; через растопочный люк газогенератора положить на колосниковую решетку древесную стружку или лучину; через загрузочное отверстие бункера газогенератора заложить в камеру газификации основное топливо на 20—25 *см* выше уровня фурм; через растопочный люк газогенератора зажечь заложенное в газогенератор топливо. Если газогенератор снабжен вентилятором розжига, то нужно вентилятор сразу же привести в движение.

Розжиг газогенератора нужно продолжать до тех пор, пока раскаленный слой топлива не появится на уровне фурм, после чего догрузить газогенератор топливом.

Затем следует плотно закрыть зольниковую и растопочную дверцы и загрузочный люк бункера газогенератора.

В том случае, когда камера газификации газогенератора заполнена топливом, оставшимся от предыдущей работы, розжиг газогенератора необходимо производить в следующем порядке: оставляя закрытым

загрузочный люк бункера газогенератора, открыть растопочную и зольниковую дверцы и дроссельную заслонку влагоотводящей трубы; выгрести часть угля с таким расчетом, чтобы на колосниковой решетке осталось место, достаточное для того, чтобы поместить растопку из легко воспламеняющихся материалов, затем поджечь топливо. Далее процесс розжига ведется так же, как указано выше.

Когда процесс газообразования установится, необходимо проверить его качество по характеру и окраске факела. Генераторный газ хорошего качества должен гореть на пробном кранике или пробной горелке ровным пламенем фиолетового цвета с розовым оттенком. Желтый цвет пламени указывает на низкое качество газа, красные, слегка коптящие языки являются признаком наличия в газе смол. Иногда газ горит неустойчиво, пламя отрывается от горелки и гаснет. В этом случае следует произвести шуровку топлива и форсировать процесс газификации путем усиления тяги.

После того, как процесс газификации топлива в газогенераторе установился и газ получен удовлетворительного качества, следует промыть насадку в скруббере, убедиться в правильном отводе воды из гидравлических затворов скруббера, наполнить их приямки водой до требуемого уровня и спустить конденсат из мест его скопления в газопроводе. После проведения всех указанных операций по подготовке газогенераторной установки можно приступать к пуску двигателя.

43. Пуск газового двигателя

Перед пуском двигателя необходимо произвести его тщательный осмотр, проверить действие смазочной системы, системы охлаждения, системы электрического зажигания и наличие в баке пускового топлива, если пуск двигателя производится не на газе. Следует вручную прокрутить вал двигателя и убедиться в правильности открытия и закрытия клапанов.

После подготовки двигателя к пуску нужно произвести шуровку и догрузку топлива в газогенератор пустить воду в скруббер и открыть задвижку влагоотсасывающей трубы.

Пуск двигателя на жидком топливе производится в обычном порядке, без нагрузки. После 4—5 мин. работы на жидком топливе можно начать просасывание газа из газогенератора и перевод двигателя на газ.

Сначала немного приоткрывают воздушную заслонку смесителя, а затем, поддерживая среднее число оборотов двигателя, медленно приоткрывают дроссельную заслонку смесителя, одновременно приоткрывая дроссельную заслонку пускового карбюратора. Если двигатель при переводе на газ начинает глохнуть, нужно на несколько секунд поставить заслонки в первоначальное положение, и дав двигателю развить обороты, повторять операцию перевода до тех пор, пока двигатель не начнет устойчиво работать на смеси газа с жидким топливом. Если двигатель плохо переводится на газ, то следует попытаться несколько передвинуть воздушную заслонку

смесителя в ту или иную сторону; после небольшой практики нужное положение заслонки может быть подобрано очень быстро.

Поработав недолго на смеси жидкого топлива с газом, можно постепенно переключать работу на газ, закрывая совсем дроссельную заслонку пускового карбюратора и открывая до нужной степени воздушную и дроссельную заслонки смесителя.

Начало работы двигателя на газе легко определить по характерному изменению звука отсечки выпуска. Когда двигатель уже устойчиво работает на газе, следует увеличить до нужной степени опережение зажигания. Если двигатель после прекращения подачи жидкого топлива не сбавляет числа оборотов, перевод на газ следует считать законченным, и можно приступить к нагрузке двигателя. Нагрузку двигателя следует увеличивать постепенно.

Если пуск двигателя производится сразу на газе, необходимо предварительно проверить исправность пускового устройства (пусковая рукоятка, стартер, баллоны со сжатым воздухом и др.), убедиться в доброкачественности газа и только после этого производить пуск.

44. Уход за газогенераторной установкой во время работы

Обслуживание газогенераторной установки во время работы складывается из следующих основных операций: загрузки топлива в газогенератор, его шуровки, контроля за температурой газа и разрежением в системе. Загрузку топлива в газогенератор следует производить своевременно, не допуская значительного понижения его уровня. Обычно загрузка топлива производится с промежутками не более одного часа.

На характер протекания процесса газификации влияет наличие в слое топлива пустот и прогаров из-за зависания топлива. Для исключения этого явления необходима периодическая шуровка топлива через шуровочные люки. Однако следует избегать частых шуровок топлива, которые приводят к излишнему уплотнению слоя, а также к измельчению топлива в активной зоне газогенератора.

Периодическое наблюдение через фурмы газогенератора обращенного процесса за характером горения топлива по всему периметру дает возможность судить о том, насколько равномерно раскален слой. В случае обнаружения ненормальностей в кислородной зоне следует принять меры по их устранению.

В нижней части газогенератора должен сохраняться плотный слой хорошо раскаленного углеродного остатка, без пустот, что обеспечивает достаточно устойчивое протекание процессов восстановления.

Одним из показателей, отражающих нормальный ход процесса газификации топлива в газогенераторе, является температура газа в газоотборном патрубке. Обычно эта температура в стационарных газогенераторах обращенного процесса колеблется в пределах 400—500°С; резкое повышение или понижение температуры газа всегда указывает на нарушение правильного протекания процесса газификации топлива в газогенераторе. Повышение температуры на выходе газа обычно указывает на образование в газогенераторе пустот и прогаров

или на подсос воздуха, сопровождающийся сгоранием части газа Напротив, понижение температуры газа на выходе указывает на понижение общего температурного режима газификации топлива, что чаще всего вызывается высоким влагосодержанием газифицируемого топлива.

Для борьбы со шлакованием, а также для улучшения качества газа и понижения температуры в кислородной зоне при прямом процессе газификацию таких топлив, как антрацит, каменные и бурые угли ведут на паровоздушной смеси.

Количество подаваемого в газогенератор пара обычно регулируется температурой паровоздушной смеси. Чем больше пара расходуется, тем выше температура смеси, подаваемой в газогенератор. Например, при работе на угле температура паровоздушной смеси поддерживается на уровне 45—50°С; для торфа — несколько ниже. Как правило, в начале работы газогенератора следует устанавливать более высокую температуру (50—60°С). Нельзя добавлять слишком много пара, так как с понижением температуры в зоне, углекислота и водяной пар в большом количестве остаются неразложившимися, что приводит к ухудшению качества газа. Наоборот, при малой добавке пара наблюдается горячий ход газогенератора, приводящий к повышенному шлакованию.

В случае применения паровых инжекторов в газогенератор обычно вводится больше пара, чем это требуется для организации нормального процесса газификации.

Температура газа, поступающего в двигатель, не должна быть выше температуры охлаждающей воды более чем на 5—10°С. При повышении температуры газа перед двигателем следует увеличивать количество воды, подаваемой в скруббер; также необходимо следить за температурой воды, выходящей из скруббера, не допуская ее повышения более чем до 40—50°С.

Важным элементом контроля за ходом работы газогенераторной установки является наблюдение за разрежением в различных местах установки. Увеличение разрежения выше допустимого может быть вызвано большим скоплением золы в газогенераторе, отложением частиц механического уноса в газопроводе или чрезмерным сокращением зазоров в насадке скруббера и в наполнителе тонкого фильтра.

Сроки очистки газогенератора обращенного процесса от золы в основном зависят от вида применяемого топлива и его зольности. Так, при работе газогенератора на дубовых или березовых дровах очистка его от золы должна производиться в среднем не реже, чем через 80—90 час. работы; в случае работы на сосновых или еловых дровах сроки между чистками должны быть сокращены до 40—50 час.

Сроки очистки скруббера и сухого фильтра с полной заменой насадки зависят от вида применяемого топлива и типа газогенератора и колеблются от 300 до 400 час. работы.

45. Уход за двигателем во время работы

Во время работы двигателя необходимо внимательно следить за бесперебойным действием смазочной системы, своевременно пополнять

масленки и регулярно смазывать вручную трущиеся части двигателя, не имеющие автоматической смазки.

Температура отходящей охлаждающей двигатель воды должна быть в пределах 60—70°С. В случае повышения температуры отходящей воды ее необходимо снизить путем увеличения количества охлаждающей воды.

Ни в коем случае нельзя подавать холодную воду на перегретый цилиндр, так как это может вызвать появление трещин в крышке или втулке. Если температуру снизить не удается, то нужно немедленно остановить двигатель.

В зависимости от нагрузки двигателя и состава газа регулируются качество и количество газовоздушной смеси, подаваемой в двигатель. Состав смеси должен быть отрегулирован таким образом, чтобы при заданной нагрузке двигатель устойчиво развивал необходимое число оборотов.

В отличие от карбюраторного двигателя, имеющего приспособление, автоматически регулирующее количество горючей смеси, смеситель газового двигателя такого приспособления не имеет; опытные образцы регуляторов качества смеси для газовых двигателей еще мало совершенны и пока не нашли практического применения. Это объясняется, в первую очередь, сложностью регулировки, связанной с тем, что состав самого генераторного газа и сопротивление газогенераторной установки в процессе работы не остаются постоянными.

Так как соотношение всасываемого газа и воздуха зависит не только от состава газа, но и от величины сопротивления воздушной и газовой линий, то при изменении положения воздушной заслонки изменяется и количество всасываемого воздуха, и количество газа. Все это говорит о том, что газовый двигатель очень чувствителен к регулировке качества газовоздушной смеси. Резкая перестановка рычага регулировки вызывает слишком сильное изменение качества горючей смеси, и двигатель может заглохнуть вследствие очень бедной и очень богатой смеси. Правильное соотношение газа и воздуха в рабочей смеси устанавливается обычно на слух. Если при нормальной нагрузке число оборотов двигателя снизится, необходимо попробовать плавно переставить рычаг воздушной заслонки, выбрав наиболее выгодное его положение, которое обеспечивает нормальную мощность двигателя. Следует помнить, что правильная регулировка может обеспечить нормальную мощность двигателя только в том случае, если технический уход за газогенераторной установкой выполняется своевременно и если для газификации применяется качественное топливо. Так, например, если вследствие несвоевременного технического ухода сопротивление газогенераторной установки возрастет, то количество всасываемого газа уменьшится, а количество воздуха увеличится и таким образом смесь обеднится. Для того чтобы снова получить нормальную смесь, необходимо в этом случае увеличить сопротивление воздушной линии путем несколько большего прикрытия воздушной заслонки. Несмотря на то, что отрегулированная таким образом смесь будет

нормальной, все же мощность двигателя уменьшится, так как из-за увеличения сопротивления газогенераторной установки пришлось повысить сопротивление и воздушной линии, а возрастание сопротивления влечет за собой уменьшение наполнения цилиндра двигателя и падение его мощности.

46. Остановка газогенератора обращенного процесса

При остановке газогенератора на непродолжительное время (не более 3 час.) необходимо: плотно закрыть газовый кран на смесителе, полностью открыть задвижку на трубе розжига, открыть лючок зольника и прекратить подачу воды в скруббер.

При остановке на продолжительное время газогенератор заглушается. Для этого все фурмы и газовый кран на смесителе плотно закрываются. После прекращения образования газа и выхода его из газогенератора, что обычно наступает примерно через два часа после остановки газогенератора, должна быть полностью закрыта задвижка на влагоотсасывающей трубе. Далее следует перекрыть поступление воды в скруббер. В зимнее время необходимо спустить воду из скуббера, а также из всех гидравлических затворов и трубопроводов, в которых она при продолжительной остановке может замерзнуть. Однако следует помнить, что спуск воды из гидрозатвора следует производить только лишь после прекращения образования газа в газогенераторе, так как оголение затворов может привести к взрыву в скруббере. Концы сливных труб у скруббера и стояков газопроводов должны быть закрыты деревянными пробками.

47. Остановка двигателя

Перед остановкой двигателя необходимо снять с него нагрузку и дать возможность проработать 10 — 15 мин. вхолостую.

Для остановки двигателя закрываются газовый кран и газовая заслонка смесителя. Затем прекрашается подача охлаждающей воды, а в зимнее время, если двигатель останавливается надолго, необходимо спустить всю воду из охлаждающих полостей и трубопроводов. После остановки необходимо осмотреть и обтереть двигатель и исправить замеченные во время работы или после остановки неисправности. Периодически необходимо проверять, имеет ли место засмоление всасывающих клапанов, цилиндра двигателя или поршня, и устранять его промывкой деталей керосином.

48. Контроль режима работы газомоторной установки

Обслуживание газомоторной установки в эксплоатации включает в себя уход и непрерывный контроль за состоянием и работой ее отдельных агрегатов.

Элементами контроля работы газомоторной установки являются:

1) измерение температуры газа, выходящего из газогенератора;

2) измерение температуры газа, поступающего в смеситель двигателя;

3) анализ состава газа;

4) измерение разрежения в отдельных участках газомоторной установки;

5) измерение температуры воды, выходящей из системы охлаждения газа и двигателя;

6) измерение числа оборотов двигателя или величины нагрузки;

7) замер расхода топлива и определение его влажности.

Как уже указывалось, по температуре газа на выходе можно приближенно судить о протекании процесса в газогенераторе, установить наличие прогара или подсоса воздуха и своевременно принять меры к их устранению.

По температуре газа за охладительным устройством можно определить степень осушки газа, т. е. количество оставшейся в газе влаги, а по температуре паровоздушной смеси можно определить количество водяного пара, вводимого в зону газификации.

Для измерения температуры применяют ртутные термометры, аэротермометры и термоэлектрические пирометры.

Аэротермометры и термоэлектрические пирометры особенно удобны тем, что их показания можно передавать на расстояние и дублировать, т. е. одновременно регистрировать в нескольких местах. Возможность установки этих приборов на общем щите в значительной мере упрощает контроль за работой газомоторной установки.

Одним из видов проверки нормальной работы газогенератора служит также проверка сопротивления отдельных его участков.

Сопротивление или величина разрежения на различных участках нормально работающей газогенераторной установки имеет всегда определенное значение, и всякое изменение его в ту или иную сторону показывает на ненормальность работы всей установки или какой-либо ее отдельной части.

Обычно разрежение в газомоторной установке замеряется в следующих ее точках: в газопроводе на выходе газа из газогенератора или перед скруббером, после скруббера, за сухим фильтром тонкой очистки газа и перед смесителем двигателя.

Увеличение сопротивления на выходе газа из газогенератора обычно показывает на увеличение зольной подушки на колосниковой решетке, на измельчение топлива в активной зоне или на занос газоотборного патрубка золой и сажей; увеличение сопротивления скруббера или тонкого фильтра показывает либо на плотную зарядку, либо на загрязненность насадки или фильтрующей массы, либо, наконец, на занос газопроводов. Часто источником повышенных сопротивлений газомоторной установки является скопление воды в системе, поэтому в местах скопления конденсата следует устанавливать спускные пробки.

Простейшим прибором для измерения сопротивлений служит V-образный жидкостный манометр, изготовление которого возможно на месте в условиях эксплоатации каждой газомоторной установки.

Манометр заполняют немного подкрашенной водой для более ясного отсчета. Разность положений менисков жидкости показывает

величину разрежения в точке замера в миллиметрах водяного столба.

При монтаже газогенераторной установки необходимо предусмотреть установку штуцеров в точках предполагаемых замеров и соединить эти штуцеры с манометрами резиновыми трубками. Для удобства контроля сопротивлений манометры лучше монтировать на общем щите, устанавливая последний в наиболее доступном для наблюдений месте.

Химический анализ состава газа является наиболее совершенным методом контроля работы газогенератора, дающим возможность наиболее полно представить картину процесса и судить о качестве получаемого газа.

Для приближенной характеристики генераторного процесса можно ограничиться определением содержания в газе углекислоты, кислорода и окиси углерода; обычно это определение производится на газоанализаторе типа Орса. Для полного анализа газа, включая содержание водорода и метана, пользуются газоанализатором типа ТИ (Теплотехнического института), снабженным приспособлением для сжигания горючих составных частей пробы газа.

Существуют автоматические самозаписывающие газоанализаторы, которые непрерывно определяют и регистрируют содержание в газе отдельных составных частей.

Наиболее распространены сравнительно простые аппараты для автоматического определения содержания углекислоты. Следовало бы признать обязательным применение на газомоторных установках хотя бы таких приборов для регистрации содержания углекислоты в газах.

Для определения содержания влаги в газе, которое в известной мере также характеризует качество газа и режим газогенератора, служат специальные аппараты, из которых наиболее распространены психрометры.

Кроме состава газа, для оценки качества работы газогенераторной установки важным показателем является содержание в газе смолы и механического уноса. Если в газе присутствует только пыль, содержание ее определяется просасыванием определенного объема газа через сосуд, наполненный стеклянной ватой. Зная количество осевшей пыли и объем пропущенного газа, можно определить содержание пыли в единице объема газа. В случае обнаружения смолы, ее количество определяется соответствующей обработкой фильтра со взвешиванием смолистого остатка.

Каждая газомоторная установка должна иметь дежурный журнал, где через определенные промежутки времени производится запись показателей работы оборудования, делаются отметки старшего сменного механика или контролирующих лиц, а также производится расписка в сдаче и приеме смены или дежурства.

Дежурный журнал дает возможность судить о правильности работы оборудования станции, заранее предусмотреть возможные неполадки в работе и оказывает дисциплинирующее воздействие на обслуживающий персонал станции.

49. Техника безопасности и противопожарные мероприятия

Обслуживание газомоторной установки должно осуществляться опытными лицами, прошедшими специальные курсы и сдавшими испытания на право обслуживания газогенераторных установок и газовых двигателей [21].

Для эксплоатации газомоторной станции должны быть разработаны специальные иллюстрированные инструкции. В инструкции должны быть указаны правила обращения со всеми агрегатами станции.

Инструкции должны быть выданы каждому лицу, обслуживающему установку, под расписку. Кроме того, все инструкции должны быть вывешены около рабочих мест. Знание обслуживающим персоналом инструкции должно периодически проверяться.

Во вновь сооружаемых зданиях для газомоторных установок газораспределительная сеть, выпускные трубы и другие подобные устройства не должны углубляться в землю. Помещение должно быть настолько просторным, чтобы обеспечивалась возможность свободного проведения всех работ по ремонту, чеканке и уплотнению трубопроводов и других устройств.

В целях естественной вентиляции помещения, в крыше здания должен быть устроен вытяжной фонарь, снабженный фрамугами.

Размеры вытяжного фонаря и открывающихся окон должны быть таковы, чтобы количество окиси углерода в помещении не превышало 0,3 *мг* на 1 *л* воздуха.

Все помещение газомоторной станции должно содержаться в чистоте; иметь вполне достаточное как естественное, так и искусственное освещение, удовлетворяющее соответствующим нормам; окна и осветительные приборы не реже четырех раз в год должны очищаться.

Стены помещения газомоторной станции не реже двух раз в год должны подвергаться побелке.

Каждое помещение газомоторной станции должно иметь достаточное количество дверей, открывающихся наружу и обеспечивающих беспрепятственный выход с любого места; во всяком случае, дверей должно быть не менее двух, причем они должны располагаться с противоположных сторон.

Стены и стропила здания должны быть огнестойкими.

Для обеспечения нормальной работы установки и нормальных условий работы обслуживающего персонала температура в помещении газомоторной станции во время работы не должна быть ниже + 10° С.

Силовые передачи от двигателя и его маховик должны быть ограждены по существующим правилам. Проходы под ремнями должны быть перекрыты прочной и надежной конструкцией.

Все каналы и приямки гидрозатворов должны быть перекрыты металлическими щитками из рифленого железа; может быть применено гладкое железо с наплавленными электросваркой полосами и бугорками.

Исправление, чистка и ремонт двигателя, подтягивание болтов и регулировка приводных ремней на ходу категорически воспрещаются.

Площадка и лестницы для обслуживания газогенератора должны быть снабжены прочными перилами высотой в 1 *м*. Перила площадки должны иметь внизу обрешетку или должны быть затянуты сеткой.

При загрузке газогенератора топливом, а также при шуровке его через открытый люк газогенератора запрещается наклоняться над люком. Запрещается также наблюдать за работой газогенератора через фурмы и шуровочные отверстия в непосредственной к ним близости и без защитных очков. При шуровке топлива через шуровочное отверстие следует держать голову в стороне, во избежание ожогов от выброса пламени.

Пользование открытым огнем в помещении газогенераторной станции и машинного отделения совершенно недопустимо, точно так же, как и проба газа путем поджигания его непосредственно у пробных краников.

Работы по очистке и ремонту внутри газогенератора могут производиться лишь при совершенно погашенной и очищенной шахте, а ремонт и очистка скруббера, тонкого фильтра и газопроводов — при условии их отключения от газогенератора и тщательного проветривания.

Для целей освещения при ремонте необходимо пользоваться аккумуляторными электролампами напряжением не более 12 *в*. Применение открытого огня или электроламп высокого напряжения воспрещается.

В помещении газомоторной станции должен находиться противопожарный инвентарь (лопаты, ведра, ящики с песком, огнетушители) согласно противопожарной инструкции.

Кроме указанного, станция должна быть оборудована сигнализацией, связывающей ее с пожарной охраной. Противопожарные правила должны быть вывешены на видном месте и изучены каждым работником станции.

Самовозгорающиеся материалы (обтирочный материал) должны собираться в металлические закрытые ящики и ежедневно перед концом смены удаляться в безопасное в пожарном отношении место.

Для оказания первой помощи на каждой силовой станции должна быть аптечка с необходимыми медикаментами. Помещение для санитарно-бытовых устройств должно иметь надлежащие размеры и быть оборудовано согласно специальным нормам.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Аристов Н., Промышленность древней Руси, СПБ, 1866.
2. Бобков Н. П. Автомобиль ЗИС-21А с газогенераторной установкой ЦНИИМЭ-20, работающей на сырых дровах, „Лесная промышленность", 1949, № 5.
3. Болтинский М. В., Автотракторные двигатели, Сельхозгиз, 1948.
4. Генин А. Б., Расчет теплохимического процесса получения силового газа из древесины, Сб. статей „Перевод на газ мощных двигателей дизеля", Речиздат, 1945.
5. Генин А. Б., Метод расчета силового торфяного газа, „Торфяная промышленность", 1946, № 8.
6. Данилевский В. В., Русская техника, Лениздат, 1947.
7. Игнатьев А. Г., Практическое руководство по переводу стационарных двигателей внутреннего сгорания на газообразное топливо, Наркомхоз, 1945.
8. Кутателадзе С. С. и Цукерман Р. В., Развитие теории теплоты в работах русских ученых, Госэнергоиздат, 1949.
9. Коллеров Л. К. Газификационные характеристики растительных отходов, труды ЦНИДИ, 1950, № 15.
10. Киселев В. И., Насосы, компрессоры, воздуходувки и вентиляторы, Металлургиздат, 1943.
11. Менделеев Д. И., Уральская железная промышленность в 1899 году, СПБ, 1900.
12. Мезин И. С., Транспортные газогенераторы, Сельхозгиз, 1948.
13. Масленников, Авиационные двигатели, Машгиз М., 1946.
14. Попов М. Д., Топливо для газогенераторных двигателей, Лениздат, 1943.
15. Предводителев А. С., Хитрин Л. Н., Цуханова О. А., Колодцев Х. И., Гродзовский М. К., Горение углерода, Изд. АН СССР, 1949.
16. Рубцов Н. Н., История литейного производства в СССР, Машгиз, 1947.
17. Токарев Г. Г., Газогенераторные автомобили, Изд. МКХ РСФСР, Л., 1948.
18. Таганов Н. И. Новая формула для определения коэффициента теплопередачи в скрубберах, „Химическая промышленность", 1936, № 2.
19. Фарберов И. Л. и Питин Р. Н., Подземная газификация углей, Изд. АН СССР, 1948.
20. Шишаков Н. В., Основы производства горючих газов, Госэнергоиздат, 1948.
21. Руководство по устройству, изготовлению оборудования и технике безопасности газогенераторных станций, Гостоптехиздат, 1949.
22. Справочник по электрификации сельского хозяйства, Сельхозгиз, 1949.
23. Павловский Н. П. и Орлов С. Ф. Автомобильно-тракторные газомоторные установки, Гослестехиздат, 1939.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Введение 5

Глава I. Газогенераторные установки 11

1. Сущность процесса газификации твердого топлива 11
2. Схема процессов газификации твердого топлива 12
3. Схема стационарной газомоторной установки 15
4. Развитие новых методов газификации твердого топлива . . . 17

Глава II. Топливо 20

5. Классификация твердого топлива СССР как сырья для получения генераторного газа 20
6. Основные характеристики твердого топлива и показатели газификации 24
7. Технические требования и технология подготовки твердого топлива для газификации 46
8. Газообразное топливо 50

Глава III. Физико-химические основы газогенераторного процесса 54

9. Реакции газогенераторного процесса 54
10. Механизм основных реакций процесса газификации твердого топлива 57
11. Основы кинетики и равновесие химических реакций газогенераторного процесса 60

Глава IV. Метод расчета газогенератора обращенного процесса 64

12. Физико-химические основы расчета рабочего процесса газификации твердого топлива 64
13. Основы конструктивного расчета газогенератора 73

Глава V. Конструкции газогенераторов силового газа 84

14. Газогенераторы для газификации древесины 84
15. Газогенераторы для газификации торфа 96
16. Газогенератор Т20-1 для газификации бурых углей 100
17. Газогенераторы для газификации антрацита 101
18. Газогенераторы для газификации растительных отходов . . . 107
19. Газогенераторы для газификации пылевидного и мелкозернистого топлива 114
20. Газогенераторные установки малой мощности 118

Глава VI. Охлаждение генераторноро газа 125
21. Поверхностные воздушные охладители 125
22. Скрубберы 130
23. Градирни 137
Глава VII Очистка генераторного газа 140
24. Характеристика технических примесей генераторного газа 140
25. Конструкции очистителей генераторного газа 141
Глава VIII. Устройства для розжига газогенератора 154
26. Условия работы вентилятора розжига 154
27. Характеристики вентиляторов, применяемых для розжига газогенераторов и для дутья 155
Глава IX. Газовые двигатели 159
28. Моторные свойства генераторного газа 159
29. Способы повышения мощности двигателя при работе на генераторном газе 163
30. Классификация газовых двигателей и их основные параметры 169
31. Принципы перевода двигателей с жидкого топлива на газ . . 170
32. Смесеобразование 178
33. Регулирование 184
34. Зажигание 195
35. Конструкции четырехтактных газовых двигателей 197
36. Конструкции двухтактных газовых двигателей 205
37. Характеристики малолитражных двигателей, работающих на газе 212
38. Мотогазогенераторы 213
Глава X. Схемы газомоторных установок 216
39. Стационарные установки 216
40. Передвижные установки 221
Глава XI. Эксплоатация газомоторных установок 226
41. Подготовка газогенераторной установки к пуску 226
42. Указания по розжигу топлива в газогенераторе обращенного процесса 227
43. Пуск газового двигателя 228
44. Уход за газогенераторной установкой во время работы . . . 229
45. Уход за двигателем во время работы 230
46. Остаиовка газогенератора обращенного процесса 232
47. Остановка двигателя 232
48. Контроль режима работы газомоторной установки 232
49. Техника безопасности и противопожарные мероприятия . . . 235
Литература и источники 237

Технический редактор *Р. Г. Польская* Корректор *Е. С. Кушлю*
Обложка художника *Д. Л. Двоскина*

М35805. Подписано к печати 10/VII 1951 г. Формат бумаги $60 \times 92^{1}/_{16}$.
Печ. л. 15 + 2 вклейки. Уч.-изд. лист. 16,8. Тираж 4000 экз. Заказ 1215.

Типография „Красный Печатник", Ленинград, пр. имени И. В. Сталина, 91.