

48

**РУКОВОДСТВА И ПОСОБИЯ
ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ И ВТУЗОВ**

С. Ф. ФЛОРОВ

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ МОСКОВСКОГО ВЫСШЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО УЧИЛИЩА

**ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ
И ГАЗИФИКАЦИЯ ТОПЛИВА**

—
*Научно-технической секцией Государственного Ученого Совета
допущено в качестве пособия для техникумов и втузов*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА * 1927 * ЛЕНИНГРАД

О Т П Е Ч А Т А Н О
в 1-й Образцовой типографии
Гиза. Москва, Пятницкая, 71.
Гиз № 18781. Главлит № 90916.
Тираж 4.000. Заказ № 453.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Газообразное топливо приобретает в последнее время очень важное значение в технике производства теплоты. Многочисленные крупные промышленные предприятия почти сплошь уже перешли к отоплению различного рода печей вместо твердого топлива генераторным газом. И генераторная установка сделалась в последнее время обычной составной частью специального студенческого проекта завода или фабрики.

Выпуская эту книжку, автор имеет в виду помочь студентам в разработке их специальных проектов, когда для многих из них требуется более широкое знакомство с газогенераторным процессом, чем то, какое дается на лекциях по общим курсам технологии топлива, и топок и печей.

Материал для предлагаемой книги взят почти исключительно из иностранных журналов последних лет. Только очерк газификации подмосковного курного угля сделан по материалам, любезно предоставленным автору профессором Алексеем Алексеевичем Надежиным.

Профессор Алексей Алексеевич Надежин кроме того неоднократно помогал автору при составлении этой работы своими советами. Поэтому автор считает своим приятным долгом выразить ему свою глубокую признательность.

Автор.

Москва, 14 ноября
1926 года.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие	5
I. Газогенераторы	9
Определение	—
Исключение доступа наружного воздуха в шахту	—
Колосниковая решетка	13
Вращение колосниковой решетки	27
Шахта	28
Генератор с вращающейся шахтой и механической кочергой	—
Водяное охлаждение стенок шахты	37
Засыпной аппарат	39
Удаление остатков	40
Газогенераторная установка	41
Прибор для регулирования газогенераторов	47
II. Специальные газогенераторы	49
Генератор водяного газа	—
Электрический газогенератор	50
Генератор двойного газа	54
Генератор с получением смолы	57
Кольцевой генератор	60
III. Теория газогенераторного процесса	67
Общие соображения	—
Газификация кислородом воздуха (воздушный газ)	70
Газификация водяным паром (водяной газ)	81
Смешанный газ (газ Довсона)	85
IV. Расчет генераторного процесса	92
V. Очистка генераторного газа	105
VI. Измерение количества генераторного газа	
VII. Коэффициент полезного действия и производительность газогенератора	110
VIII. Топливо газогенераторов	118
Уголь и кокс	127
Торф	150
Дерево	154
IX. Достоинство генераторного газа в зависимости от его состава	158
X. Пример небольшой генераторной установки с получением смолы	165

СОКРАЩЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.

m, m^2, m^3	метр линейный, квадратный, кубический
$см, см^2, см^3$	сантиметр линейный, квадратный, кубический
$мм, мм^2, мм^3$	миллиметр линейный, квадратный, кубический
$л$	литр
$т$	тонна (1000 килограммов)
$кал$	большая калория, т. е. по отношению к 1 кг
h	час
sec	секунда
$кг$	килограмм
$г$	грамм
at и atm	атмосфера

Градусы температуры даны по термометру *Цельсия*.

Пары и газы подразумеваются при температуре нуль градусов (0°) и при давлении 760 мм ртутного столба, если не сделано особых указаний.

Температура обозначается буквою t , иногда T .

Там, где T обозначает абсолютную температуру, на это указывается.

I. ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ

Определение

Газификация топлива, химическая сущность которой состоит в превращении углерода топлива в окись углерода, производится в особого рода шахтных печах, которые называются газогенераторами.

Эти печи снабжены приспособлениями для засыпки топлива, удаления золы и шлака, подведения воздуха и водяного пара и отведения газа. Во время газификации шахта газогенератора должна быть недоступна для наружного воздуха.

Исключение доступа наружного воздуха в шахту

Для регулирования подвода воздуха в зону горения необходимо преграждение доступа наружного воздуха в шахту генератора.

Старые генераторы Сименса, строго говоря, не были шахтными. Они составлялись из наклонных огнеупорных поверхностей, переходивших внизу в колосниковую наклонную решетку (рис. 1).

Воздух подводился естественной тягой (дымовой трубой), которая действовала на зону горения. Как видим, эта конструкция приближается к полугазовой топке. Преграду для доступа излишнего наружного воздуха создавал своим сопротивлением слой топлива. Газификация обыкновенно была несовершенной. Коэффициент полезного действия обыкновенно колебался в пределах от 50 до 60%.

Без искусственного дутья снизу работают также всасывающие установки для газомоторов. Здесь для подведения воздуха используется всасывающее действие поршня двигателя.

При этом производство газа автоматически приспособляется к потреблению его машиной.

Позже генераторы Сименса все более и более приближаются к шахтным. Как и последние, они пользуются искусственным дутьем. Исключение доступа наружного воздуха под колосники производится кожухом из листового железа. Неудобством такого устройства является необходимость время от времени прерывать работу для удаления шлака с ко-

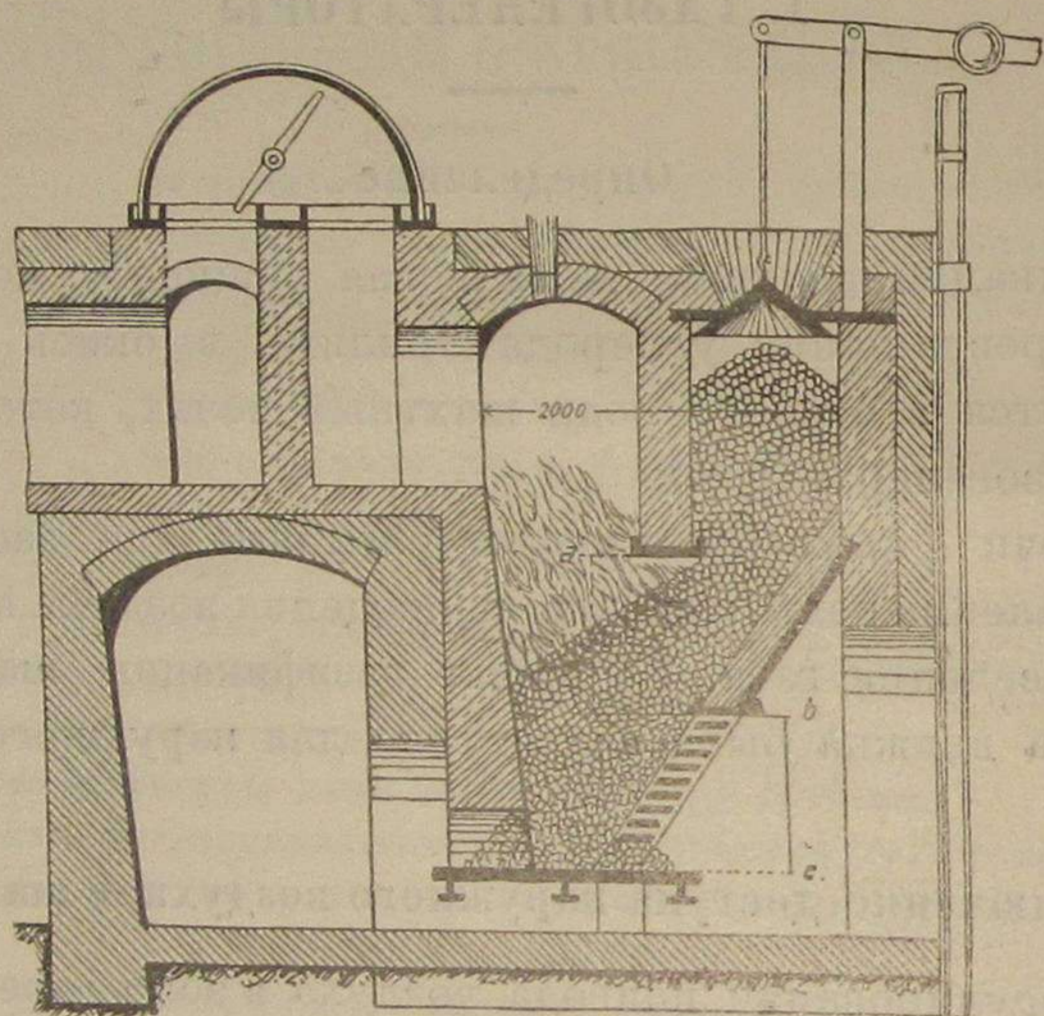


Рис. 1.

лосников. Но с перерывом работы естественно связана убыль в производстве газа. Кроме того и стоимость работы по удалению шлака значительна, так как работа эта тяжелая и требует высокой оплаты труда занятых ею рабочих. Правда, в больших газогенераторных установках временное выбытие из работы одного генератора не играет особенно важной роли, так как остальные генераторы могут взять на себя на короткое время подачу газа и за него, но в мелком производстве это сопряжено с чувствительным нарушением нормального хода работы.

Из современных генераторов подобного рода можно назвать шахтный генератор с наклонной решеткой Кейла (Keula — Eisenhütte). Эта решетка, изображенная на рис. 2, обладает большой живой площадью, очень благоприят-

ствует равномерному распределению дутья в слое топлива и создает возможность подведения повышенного количества дутья.

Этот генератор снабжен искусственным дутьем под решетку. Он имеет водяное поддувало и от наружного воздуха изолирован снизу железным кожухом. Испытан при газификации влажного немецкого бурого угля, с влажностью 50% и даже несколько более. Влажность топлива значительно понижает температуру в генераторе во всех зонах. Окислительная часть зоны горения имеет здесь высоту только в 200 мм, так как много теплоты расходуется на подсушивание топлива, а высота восстановительной части бывает около 300 мм. Рис. 3 представляет этот генератор.

Производительность такого генератора колеблется от 70 до 100 кг в час на м².

Затруднения, связанные с удалением золы и шлака, привели к мысли, сначала в Америке, о применении для разобщения шахты с на-

ружным воздухом воды. Этот водяной затвор выполняется таким образом, что нижний край генераторного кожуха погружается до определенной глубины в ванну с водой. Такое устройство приносит с собой еще несколько преимуществ, именно: благодаря ему производство газа не страдает от перерывов, газ получается более равномерного состава, и зола не только может быть удалена во всякое вре-

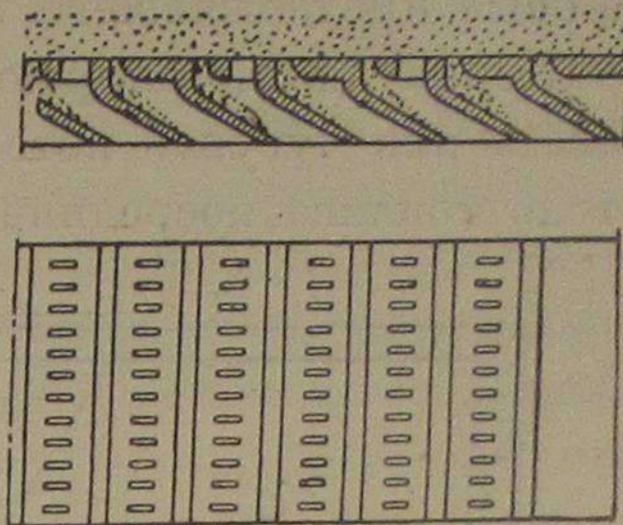


Рис. 2.

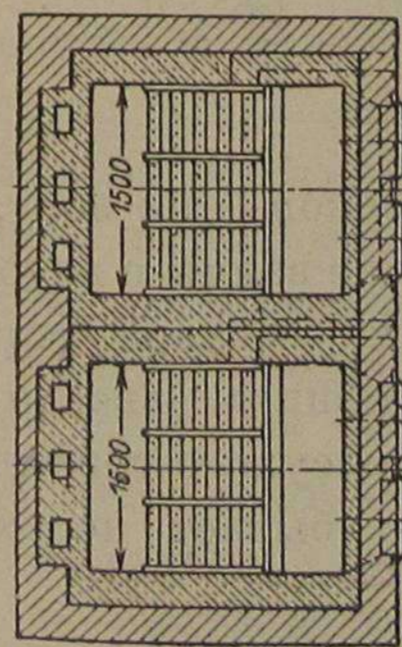
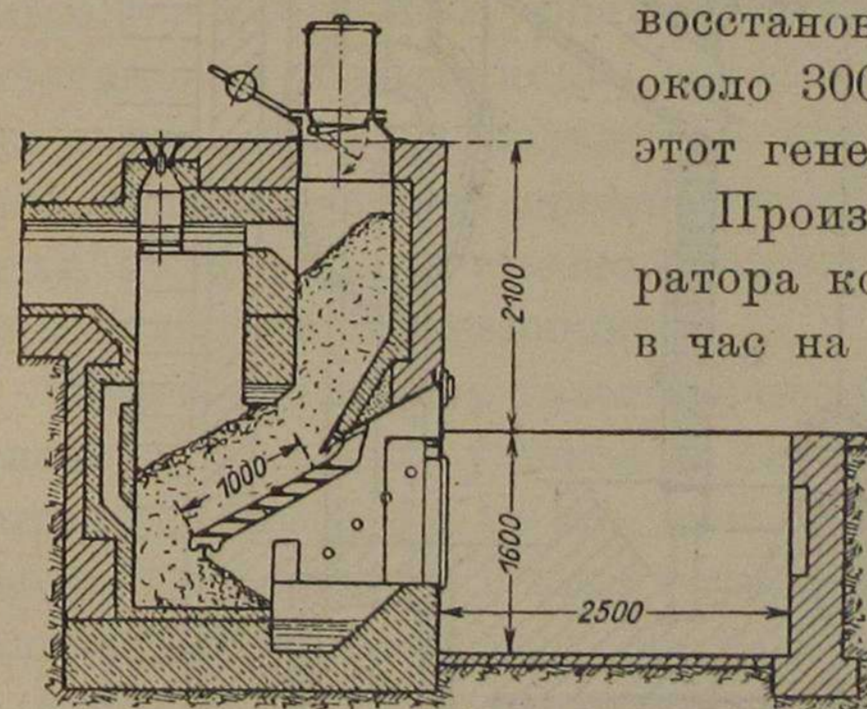


Рис. 3.

мя, но и берется из ванны в погашенном виде. На рис. 4 представлен генератор системы Моргана (фирмы Siemens), впервые предложившего генератор с таким затвором.

Стенки шахты опираются здесь на кольцо из котельного железа или чугуна, которое погружено в ванну с водой. Столб топлива посередине опирается на покрывку дутьевой

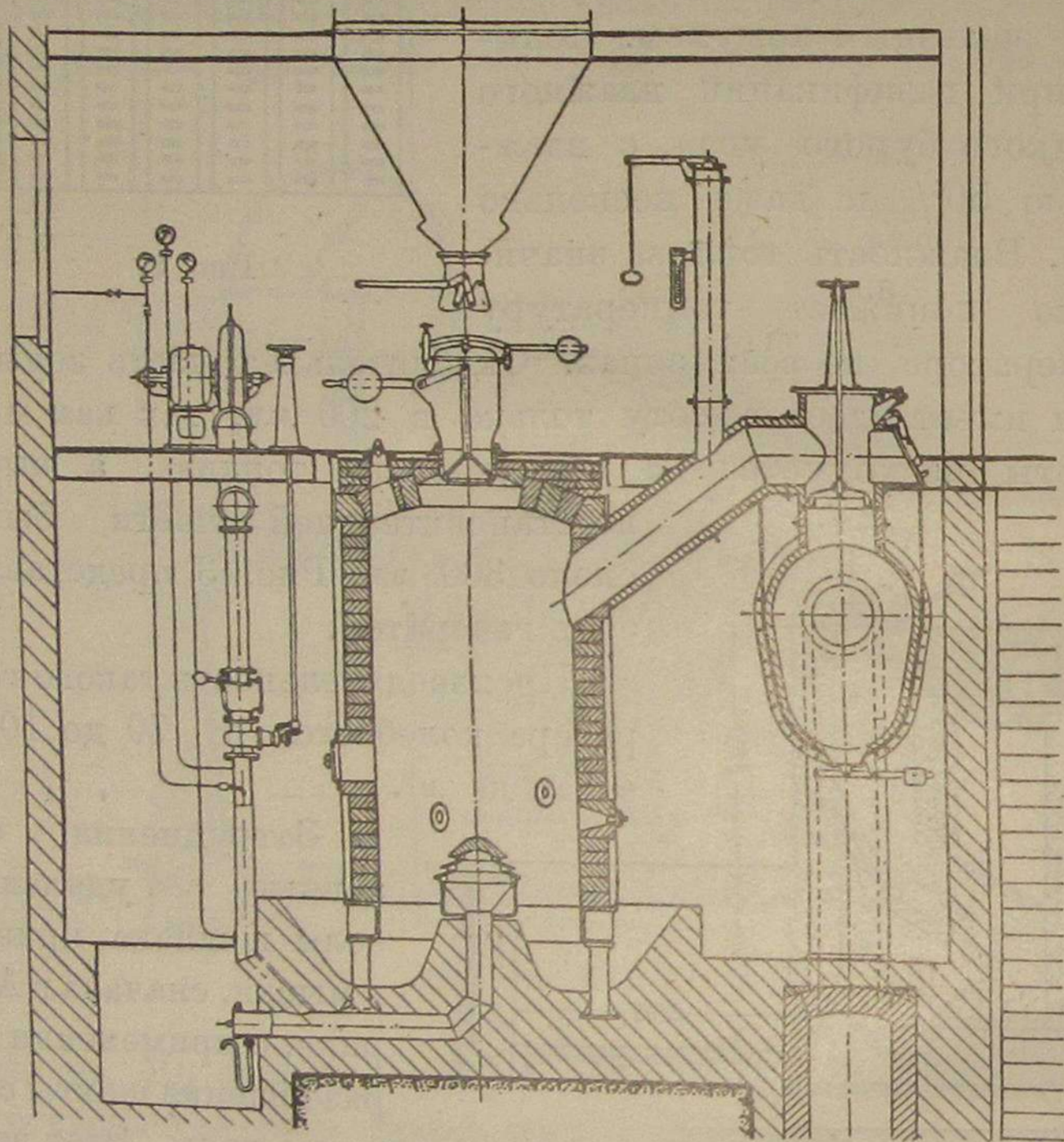


Рис. 4.

трубы, устроенной в виде колпачка, а с боков — на золу и шлак, которые постепенно собираются на дне ванны с водой. Развивающийся под действием раскаленных остатков горения водяной пар обыкновенно делает излишним введение особого пара. Только при газификации очень сухого топлива, которое требует большого добавления пара, бывает необходимо еще присоединение парового дутья.

Принцип водяного затвора, введенный Морганом, применяется в настоящее время у большей части генераторов как с неподвижной, так и с подвижной колосниковой решот-

кой. В основных чертах не только водяной затвор, но и связанный с ним колпак сохраняется и при вращающейся решотке. Здесь колпак испытал преобразование единственно только в направлении приспособления к условиям производства дутья и шурования. Особенно увеличилась при этом поверхность колпака, так что теперь только небольшая часть колонны топлива опирается на дно ванны. И выгребание золы не предоставляется здесь слепому случаю, но зола особым аппаратом автоматически придвигается к краям ванны.

Колосниковая решотка

Ни одна часть газогенератора не изменялась так старательно с целью улучшения и не вызвала появления такого количества патентов, как колосниковая решотка. Она представлена в настоящее время в литературе и практике в самых разнообразных конструктивных формах. Кроме бесколосниковых конструкций, колосниковые генераторы делятся на генераторы с неподвижной решоткой и подвижной. Неподвижные решотки исполняются в виде плоских, лестничных, наклонных и крышеобразных, чепцовых; подвижные — как цепные и вращающиеся.

Бесколосниковых газогенераторов в узком значении этого слова, т.-е. таких, у которых колосниковая решотка отсутствует в какой бы то ни было форме, немного. Например, сюда не относятся такие генераторы, у которых столб топлива, как у генератора Моргана, опирается на дно чаши с водой и дутьевой чепец. Чепец здесь занимает место колосниковой решотки. Это же следует сказать и о всех генераторах с вращающейся колосниковой решоткой. К бесколосниковым относятся только такие конструкции, у которых шахта настолько суживается книзу, что слой топлива держится наклонными поверхностями воронкообразной шахты и образует над зольником небольшой свод. Эти газогенераторы по своей форме подобны доменной печи старого типа.

Такого рода газогенератор был предложен французским ученым Ебельманом (Ebelmen) уже в конце тридцатых годов минувшего столетия. Генератор работал при естественной тяге трубой. Воздух поступал через отверстия в нижней части генератора, которые служили также для удаления золы.

Самый большой диаметр имела зона газификации, тогда как кверху и книзу шахта сильно суживалась. Загрузка топлива производилась чрез особую внутреннюю шахту, которая и служила в качестве бункера. Газы, выделявшиеся в этой шахте под действием горячих продуктов газификации, выпускались в воздух.

Сравнительно совершенным бесколосниковым газогенератором является генератор Геллера (Heller). Сущность его состоит в том, что шахта генератора суживается книзу таким образом, что самое сильное суживание приходится на высоте дутьевых ящиков, выступающих в шахту в нижней части. Ниже дутьевых ящиков шахта переходит в зольник, который отделяется от зоны газификации при выгребании

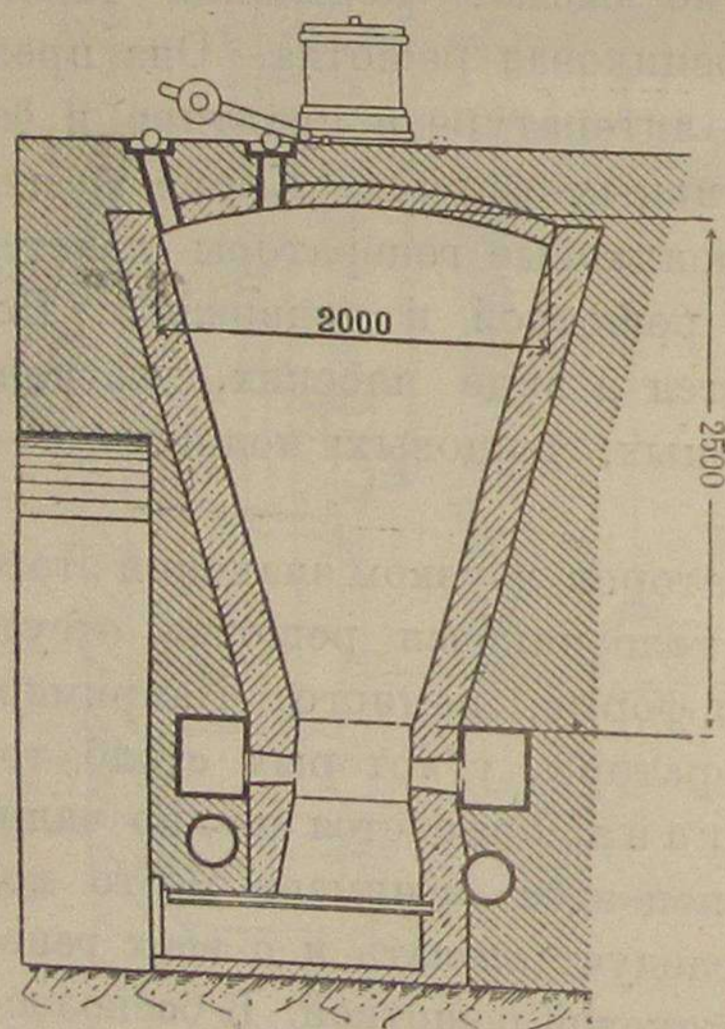


Рис. 5.

зола вдвигаемой задвижкой. Руководящая мысль этой конструкции состоит в том, что в ней стремятся избежать образования шлака быстротой газификации. Горение ограничивается относительно очень небольшим пространством, чем устраняется спекание угля.

Чтобы повысить производительность аппарата, Геллером была дана конструкция (рис. 5), которая сделалась основной для генераторов этого рода. Над зольником устроены два или более дутьевых ящика с особыми подводными трубами,

которые соединены с пространством газификации посредством сопел. Таким образом воздух и пар могут вводиться в различных местах генератора.

Воздух и пар равномерно вытекают из сопел и равномерно же распределяются в зоне газификации. Отсутствие избытка воздуха в отдельных местах пространства газификации препятствует таким образом образованию углекислоты. Для газификации очень влажного и малоценного топлива

Геллер предложил улучшение, которое предупреждает опасность образования шлаков и позволяет выгодно газифицировать топливо очень низкого качества. По мнению изобретателя, для устранения образования шлаков необходимо вдвигать смесь пара и воздуха там, где вследствие местного избытка воздуха и сгорания углерода в углекислоту происходит очень сильное нагревание. По его наблюдениям оказывается, что уже на некоторой высоте над соплом происходит расщепление вводимого водяного пара на водород и кислород, а также восстановление углекислоты, происходящее ниже сопла, в окись углерода. Так как и восстановление углекислоты и разложение водяного пара сопровождаются сильным поглощением теплоты, то в каждую зону газогенератора, где эти процессы несомненно происходят, следует вводить сухой воздух. Производимое этим местное развитие теплоты ослабляется процессами расщепления воды и восстановления углекислоты. Эти эндотермические реакции действуют настолько охлаждающе, что введение здесь водяного пара может быть уже излишним. Достоинство этого устройства само по себе ясно. Перегревание при местном избытке воздуха, которое способствует образованию шлаков, как раз предотвращается своевременным добавлением пара, а возможные невыгоды этого добавления уничтожаются введением сухого воздуха в восстановительную зону, тем более что количество пара, вводимого при этом, не велико. С помощью такого устройства дается возможность малоценное, очень сырое топливо, кроме того, склонное к образованию шлаков, превращать в генераторный газ хорошего качества.

Дальнейшее усовершенствование генератора Геллера касается дутьевого ящика с пароструйным дутьем для четырехугольной или круглой камеры газификации, а также приспособления против пыли, которая является очень неудобной при удалении золы¹.

Рис. 6 показывает генератор Геллера с водяным зольником. Его свод снабжен многочисленными отверстиями для шурования. Очень целесообразным является здесь приспособление для выделения из газового потока смолы и воды. Смола и вода, собирающиеся в горизонтальном газовом канале, от-

¹ Die Wärme. 1922, Nr. 32, стр. 389—390.

водятся по трубе в особую яму. Этим трубопроводы и каналы предохраняются от загрязнения. Дутьевые сопла здесь поставлены так, что дутье направляется наклонно вниз, в слой золы, и оттуда потом поднимается вверх, в зону горения.

На рис. 7 показан генератор Геллера, имеющий такое же устройство, как предыдущий, но с меньшей производительной способностью.

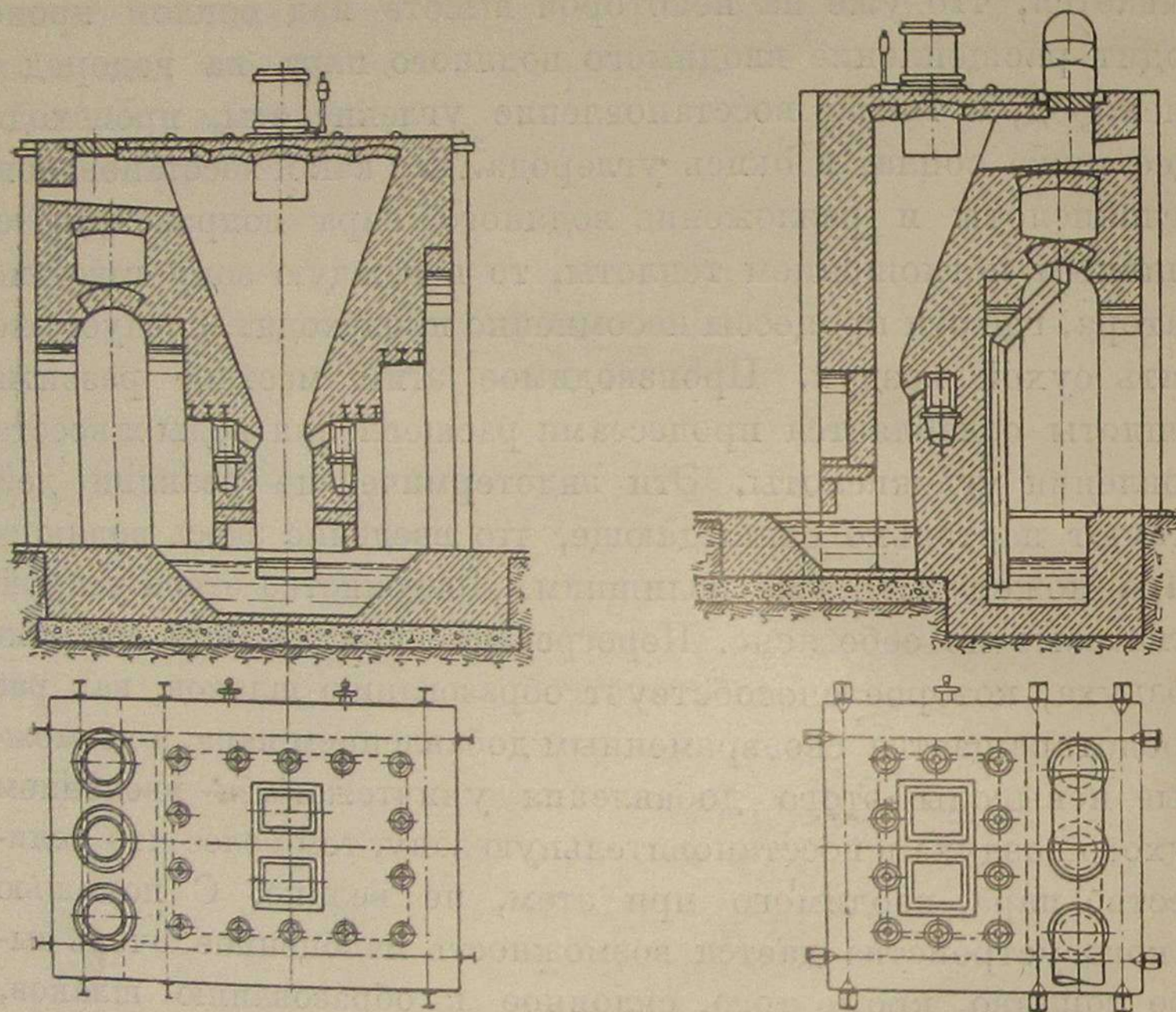


Рис. 6.

Рис. 7.

Немецкая фирма Ю. Пинч выпустила бесколосниковый генератор, который она называет генератором с расплавленным шлаком. Уже из этого обозначения можно понять, что названный газогенератор работает с такой высокой температурой, что образующийся шлак плавится и удаляется в жидком виде. Газификация топлива производится исключительно посредством воздуха. Газ получается с очень большим содержанием CO и очень незначительным содержанием CO_2 (рис. 8). При диаметре шахты 3 250 мм, газогенератор перерабатывал в час 4 170 кг кокса и давал в то же время 20 000 м³ газа, причем дутья потребовалось около 20 000 м³.

Газ имел следующий состав в объемных процентах: 0,5% CO_2 ; 33% CO ; 1,2% CH_4 ; 0,1% H_2 ; 12 г воды, 0,3 г серы на 1 м³ газа.

Пинч дает в составе газа 34,5% окиси углерода при газификации чистого углерода. Ясно, что газ такого состава мало пригоден для обыкновенных технических процессов горения. Такой газ пригоден только в химической промышленности, а в смеси с доменным газом — как топливо газомоторов¹. Воздух подводится в него рядом дутьевых сопел, расположенных по окружности. Чтобы облегчить образование жидких шлаков, к топливу прибавляют доменных и других шлаков, красного или бурого железняка, извести и т. д.² Стенки шахты этого генератора изолируются слоем дурного проводника теплоты, а внутри выполняются из огнеупорного материала. У больших генераторов бывает необходимо еще охлаждение кожуха водой. Если вследствие состава топлива шлаки только спекаются, то генератор снабжается шлаковым мешком, куда собираются спекшиеся шлаки. Во время перемены шлакового мешка колонна топлива поддерживается колосниковой решеткой, которая устраивается для этой цели.

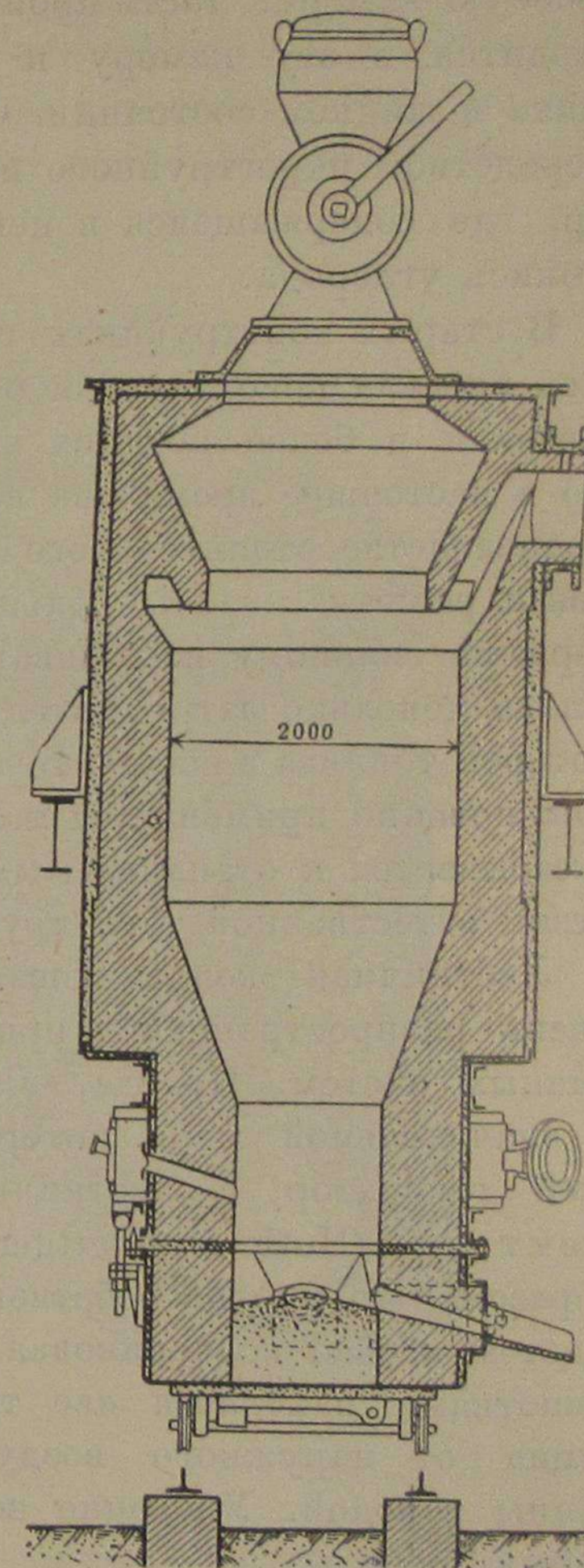


Рис. 8.

¹ Не так давно на генератор с жидким шлаком возлагали большие надежды, которые, однако, пока не оправдались.

² Эта мысль находит применение и в генераторе Геллера.

Г. Копперс (H. Koppers) в Ессене сконструировал бесколосниковый генератор с жидким шлаком, который стекает в особую камеру. Часть производимого газа непосредственно отводится в эту камеру и расходуется для поддержания шлака в жидком состоянии. Сгоревший здесь газ отводится посредством пароструйного инжектора назад в газогенератор, где содержащаяся в нем углекислота восстанавливается в окись углерода.

В старых конструкциях газогенераторов часто встречалась плоская колосниковая решетка. Такая решетка встречается и в более поздних генераторах братьев Сименс. Но в настоящее время она встречается довольно редко при производстве отопительного газа, так как плоская колосниковая решетка шахты большого поперечного сечения подвержена сильному изнашиванию. При этом работа удаления шлака довольно затруднительна и связана со значительной потерей топлива в шлаке. Большое поперечное сечение шахты обыкновенно применяется только там, где производимый газ отсасывается к отапливаемым печам из генератора посредством естественной тяги трубой.

Лестничная колосниковая решетка одно время была очень распространена и применялась в газогенераторах различных систем. Правда, в настоящее время эта решетка в значительной мере потеряла свое значение. Современный генератор с лестничной решеткой фирмы Гут и Реттгер (Huth & Roettger в Дортмунде) устроен таким образом, что против собственно лестничной решетки помещается особая колосниковая решетка из софел. Под обеими решетками находятся две трубы, подводящие дутье. Изоляция от наружного воздуха производится посредством ванны с водой. Удаление золы и шлака возможно без перерыва работы.

На рисунке 9 представлена генераторная установка Сименса. Генераторы ее снабжены крышеобразной решеткой¹. Эту решетку можно разбирать на части. Шлак с нее удаляется ручной работой. Эта конструкция, повидимому, хорошо решает вопрос о распределении воздуха в слое топлива.

¹ Die Wärme, 1922, № 32, стр. 391—392.

Рисунок 10 показывает два генератора Фридриха Сименса с крышеобразной решеткой. Каждый генератор снабжен двумя решетками. Три проекции довольно хорошо дают представление о форме и размерах внутренности генератора. Воздух вводится в каналы, покрытые как бы крышей, с задней стороны. На одной оси с решеткой находится

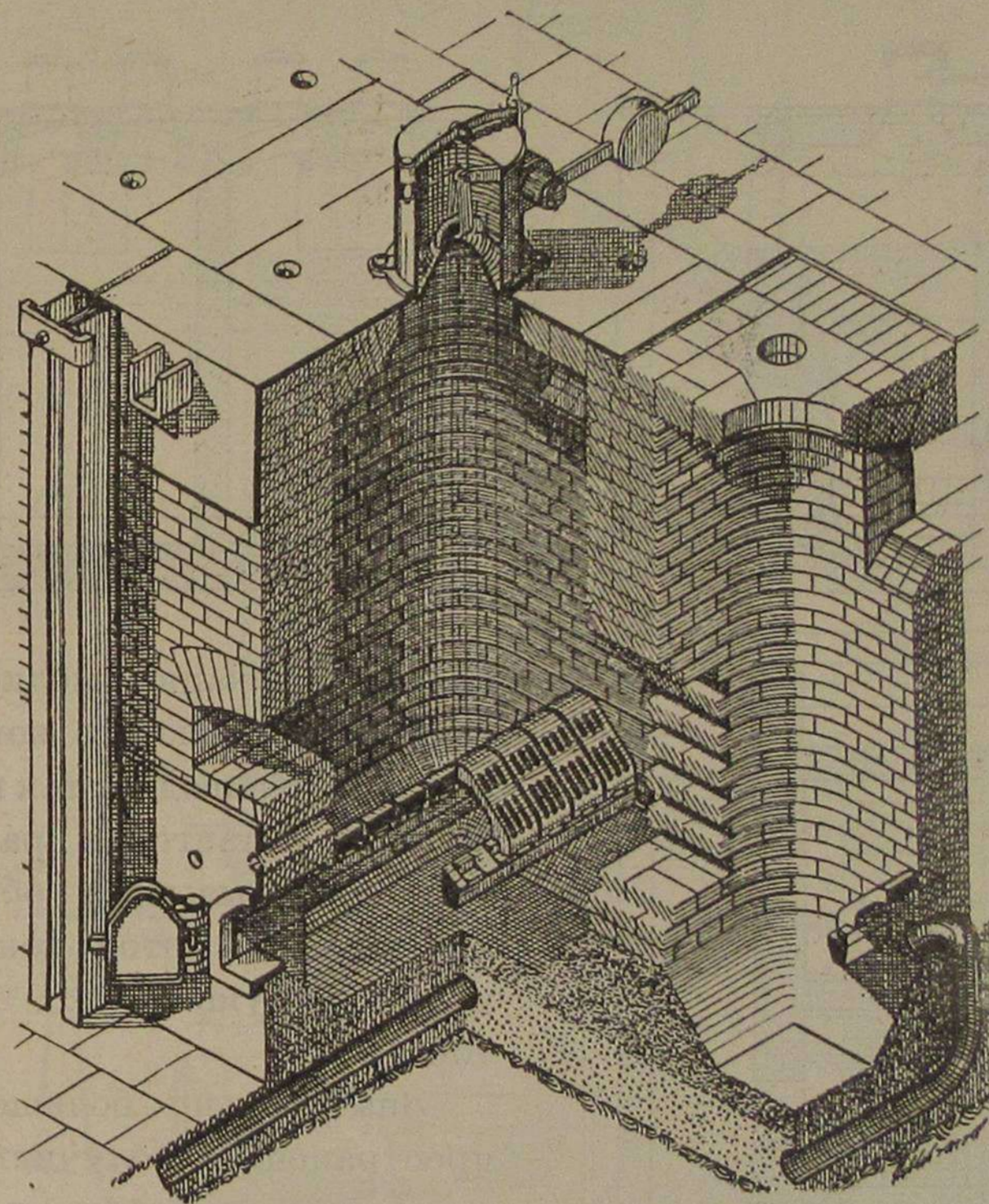


Рис. 9.

шлаковая дверка. Шлак и зола выгребаются время от времени из-под решетки через эту дверку. Необходимость наблюдения за решеткой со стороны рабочего предохраняет от проникновения огня слишком глубоко в слой топлива.

И цепные решетки находят применение в газогенераторах. Они особенно хорошо служат там, где в небольших установках газифицируют малоценное топливо. Решетка представляет собою тележку на четырех колесах, которая в случае надобности выводится сбоку при очистке и ремонте.

Движение колосниковой цепи производится посредством червячной передачи. Генератор с цепной решеткой снабжен водяным затвором в виде железного ящика, погруженного нижней частью в воду. Особой выгодой такого рода конструкции является то обстоятельство, что она дает возможность шурования по всей работающей части решетки. Но

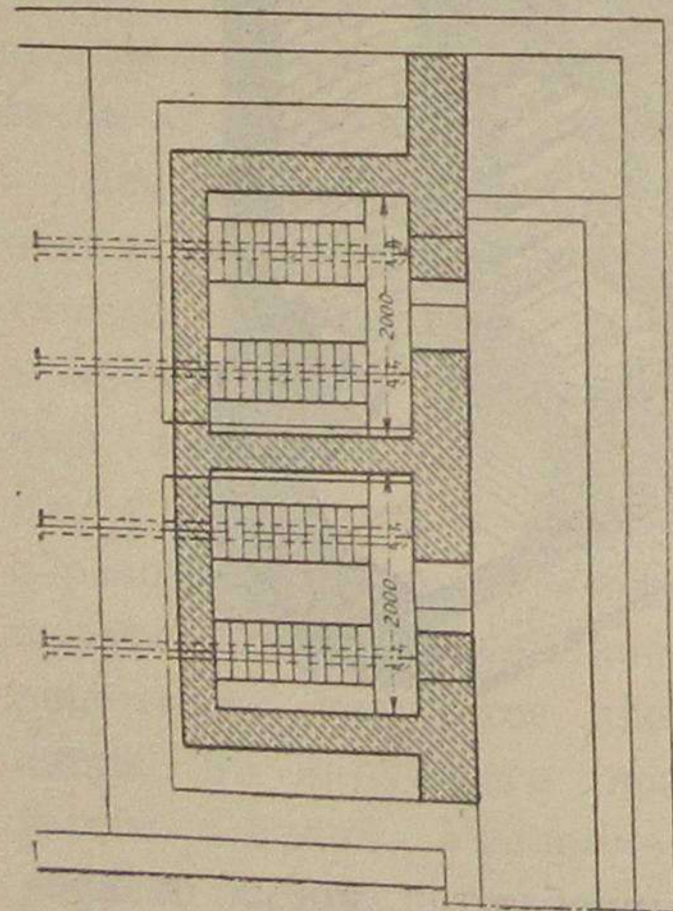
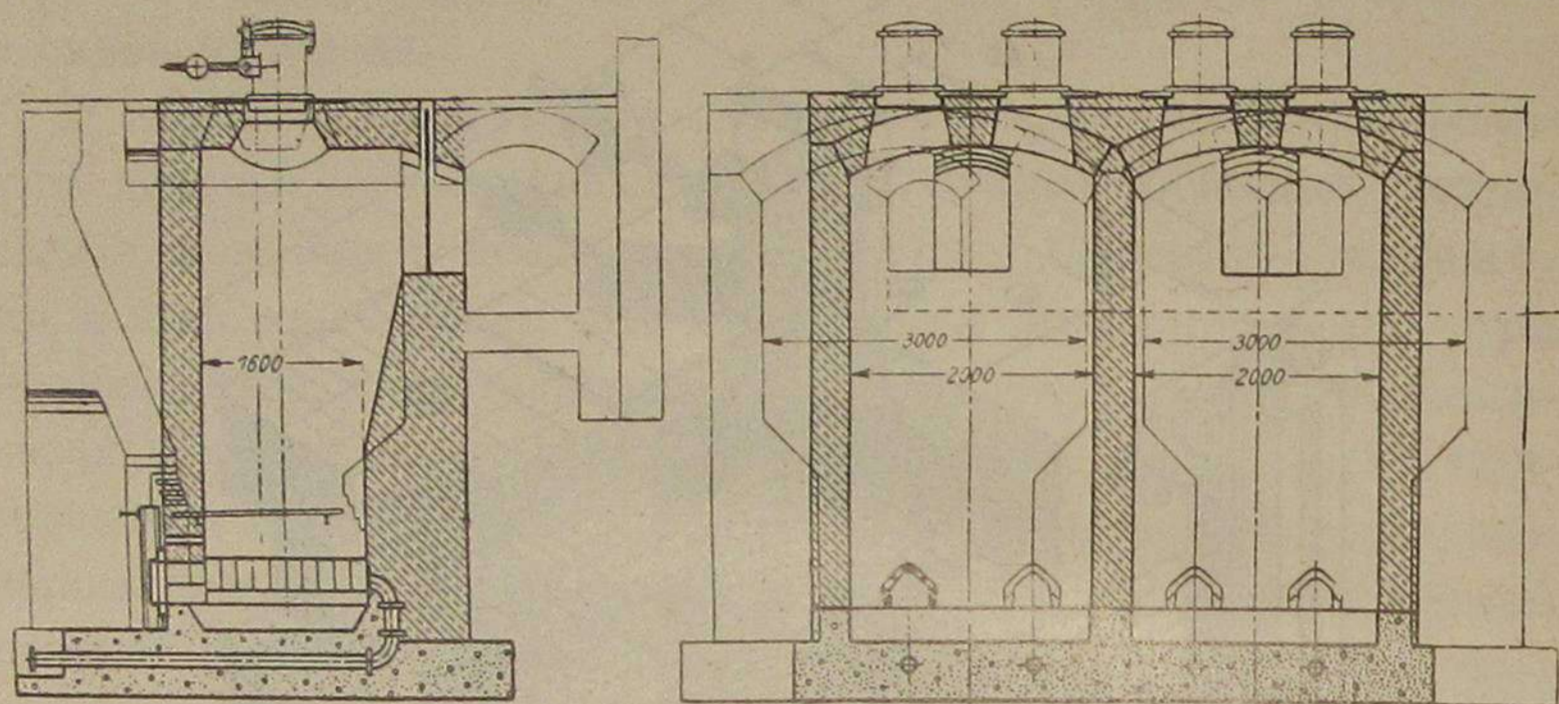


Рис. 10.

для газификации мелкозернистого материала эта конструкция мало пригодна, так как шурование штангой в раскаленной зоне вызывает образование щелей в этой зоне и заметно нарушает ход генератора.

Значительно большее распространение получили газогенераторы с нижним водяным затвором и решеткой в форме чепца (колпака). Чепцовая решетка Моргана была первой конструкцией этого рода, которая имела большие практиче-

ские следствия. Чепец служит крышкой для воздушной и паровой трубы. Посредством отверстий в нем дутье распределяется по поперечному сечению шахты. На рисунке 11 показан хороший генератор типа Моргана [немецкой фирмы Эргардт и Земер (Ehrhardt & Sehmer)]. Благоприятное распределение дутья достигается в нем тем, что

колпак разделен на три части, расположенные в виде лестницы.

Несмотря на большие преимущества газогенератора Моргана с чепцовой решеткой и нижним водяным затвором по сравнению с газогенератором с лестничной решеткой,

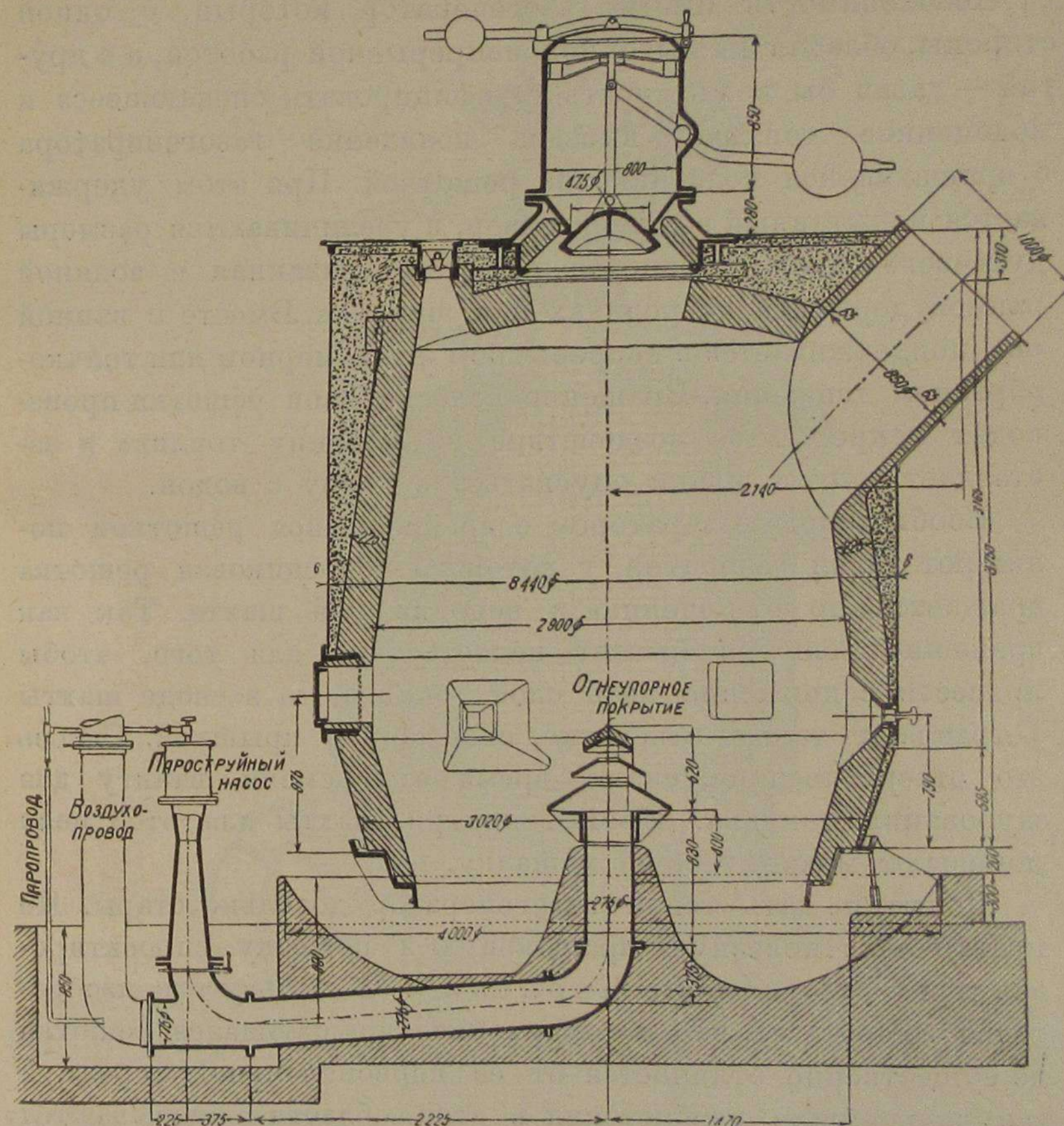


Рис. 11.

его все-таки нельзя считать идеальным. Результаты работы его в особенности не удовлетворяют высоким требованиям экономичности при газификации спекающихся углей, потому что в этом случае необходимо бывает слой кокса в нижней части шахты дробить штангой. Следствием этого является, во-первых, потеря некоторого количества газа и, во-вторых,

расход по оплате труда. Но главное неудобство состоит в неравномерности состава газа. Однако незначительная стоимость установки и непрерывность работы обеспечивают ему широкое применение, особенно в мелком и среднем производствах.

Необходимость иметь газогенератор, который, с одной стороны, обладал бы выгодной непрерывной работой, а с другой — давал бы возможность газифицировать спекающееся и малоценное топливо, вызвала появление газогенератора с вращающейся колосниковой решеткой. При этом удерживается испытанный водяной затвор, и увеличиваются размеры дутьевого чепца. Чепцовая решетка, связанная с водяной ванной, держится на роликах или шариках. Вместе с ванной она поддерживается в непрерывном равномерном или толчкообразном движении. Вращение колосниковой решетки производит непрерывное воздействие на колонну топлива и заставляет золу и шлаки опускаться в ванну с водой.

Вообще под генератором с вращающейся решеткой понимают такой генератор, у которого колосниковая решетка вращается по отношению к неподвижной шахте. Так как вращение решетки бывает недостаточно для того, чтобы привести в движение весь слой топлива, то в своде шахты устраивают также отверстие, снабженное крышкой. Сквозь это отверстие пропускают время от времени штангу для шурования топлива. Иногда внутри шахты для этой цели помещают механическую мешалку.

Попытки дать такой газогенератор довольно стары. Но практически полезную вращающуюся решетку спроектировал и испытал впервые Керпели¹. В пользу его изобретения говорит то, что и современная вращающаяся решетка не существенно отличается от ее первоначальной формы, и все дальнейшие изобретения в этой области основываются на установленном им принципе. Газогенератор Керпели был использован для газификации австрийских бурых углей и дал очень хорошие результаты. Но он оказался менее пригодным для газификации вестфальских каменных углей. Впоследствии не мало потрудился в этой области Гуго Реман, которому удалось дать газогенератор с вращаю-

¹ В 1903 г. Керпели взял патент на круглую вращающуюся решетку, а в 1904 г. на многоугольную вращающуюся решетку.

щейся колосниковой решеткой для общего пользования. Решетка Ремана очень своеобразна. Кроме того ге-

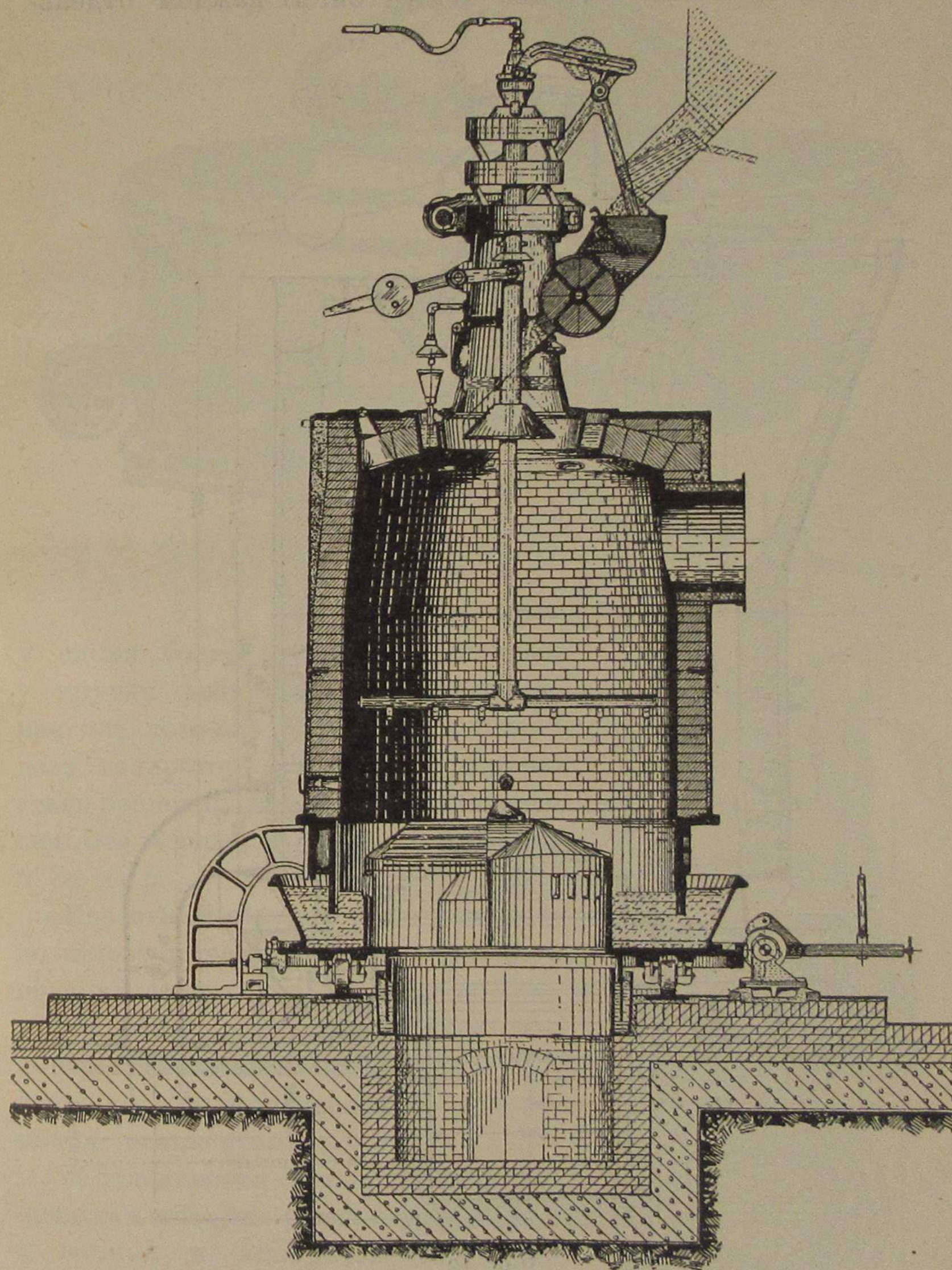


Рис. 12.

нератор снабжен мешалкой, действующей автоматически (рис. 12).

Эта решетка состоит из конусообразной подставки с 8 прочными лопастями, расположенными в виде звезды. Лопастями вращаются вместе с подставкой и ванной посредством особого механизма. Генератор приспособлен для газификации очень влажного бурого угля. Топливо перед поступлением в шахту подсушивается в особой камере над шахтой (рис. 15) ¹.

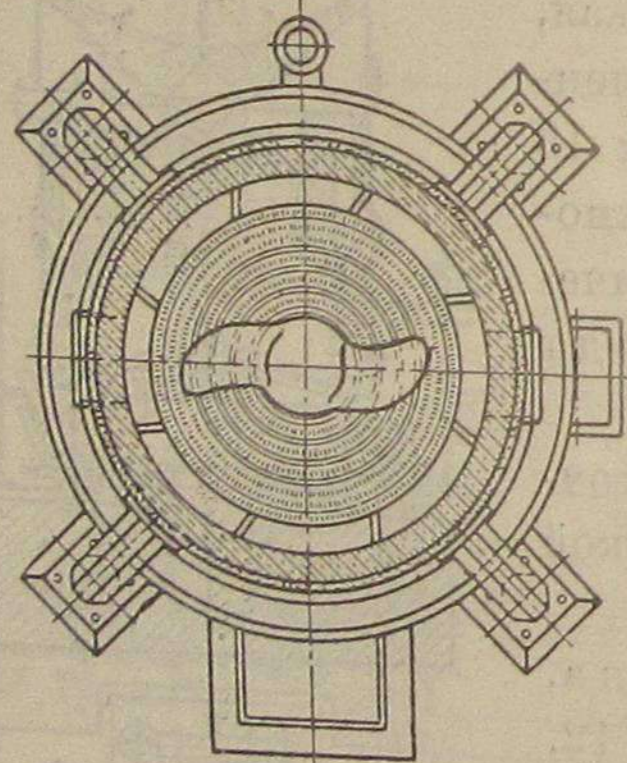
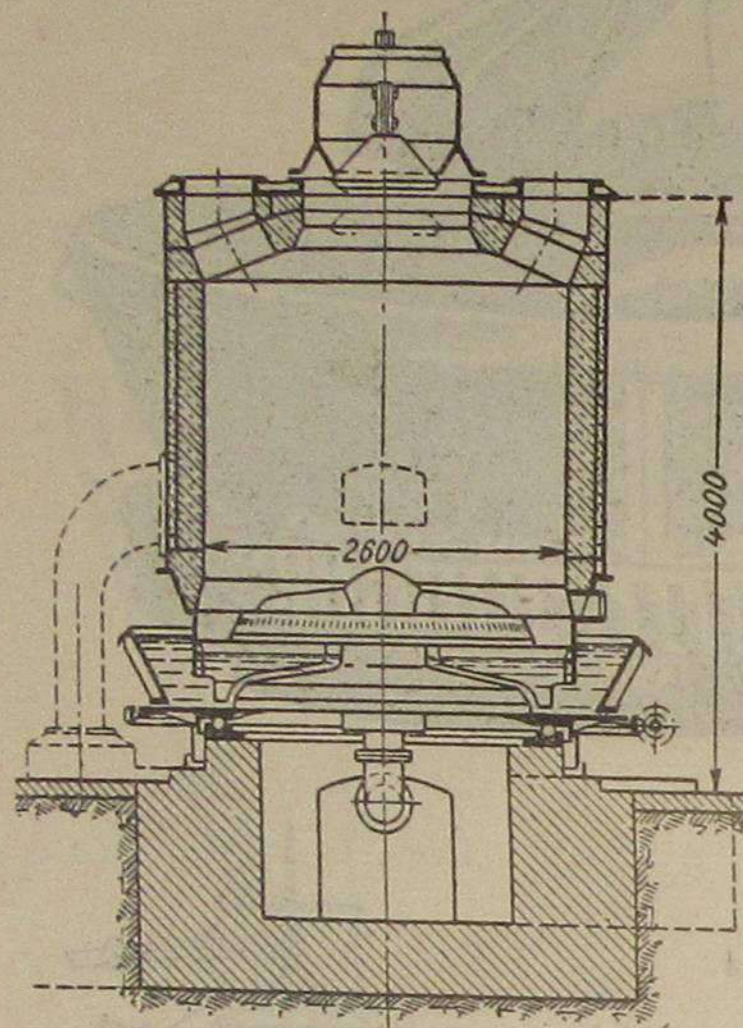


Рис. 16.

При построении генератора с вращающейся решеткой рекомендуют руководствоваться следующими правилами:

1. Решетка должна иметь такую форму и вращаться таким образом, чтобы вызываемое ею движение по возможности передавалось на весь слой топлива.

2. Размеры решетки и ее живая площадь должны быть велики, насколько допускает диаметр шахты. Это благоприятствует увеличению производительности генератора. Следует предпочитать эксцентрическую решетку, так как она при вращении описывает большую поверхность, чем имеет сама.

3. Зола должна быть удаляема механически, потому что решетка конструктивно связана

с зольниковой ванной и железный лист, поставленный неподвижно и погруженный в ванну будет действовать как чистильщик золы.

Иногда решетку генератора устраивают неподвижной, а над нею заставляют вращаться особого рода тарелку. На

¹ Brennstoff- und Wärmewirtschaft, 1924 г., № 5, стр. 121—124.

рисунке 16 показан один из таких генераторов (Кейла). У него вместо тарелки над неподвижной решеткой вращается тело вроде двухлопастного винта. Эта решетка особенно пригодна для газификации бурого угля и торфа. Вращающийся двухлопастной винт удаляет золу с решетки. Зола проваливается в отверстия, которыми снабжена решетка. Следовательно столб топлива здесь остается в покое. Выход газа должен быть хорош, так как неподвижная решетка

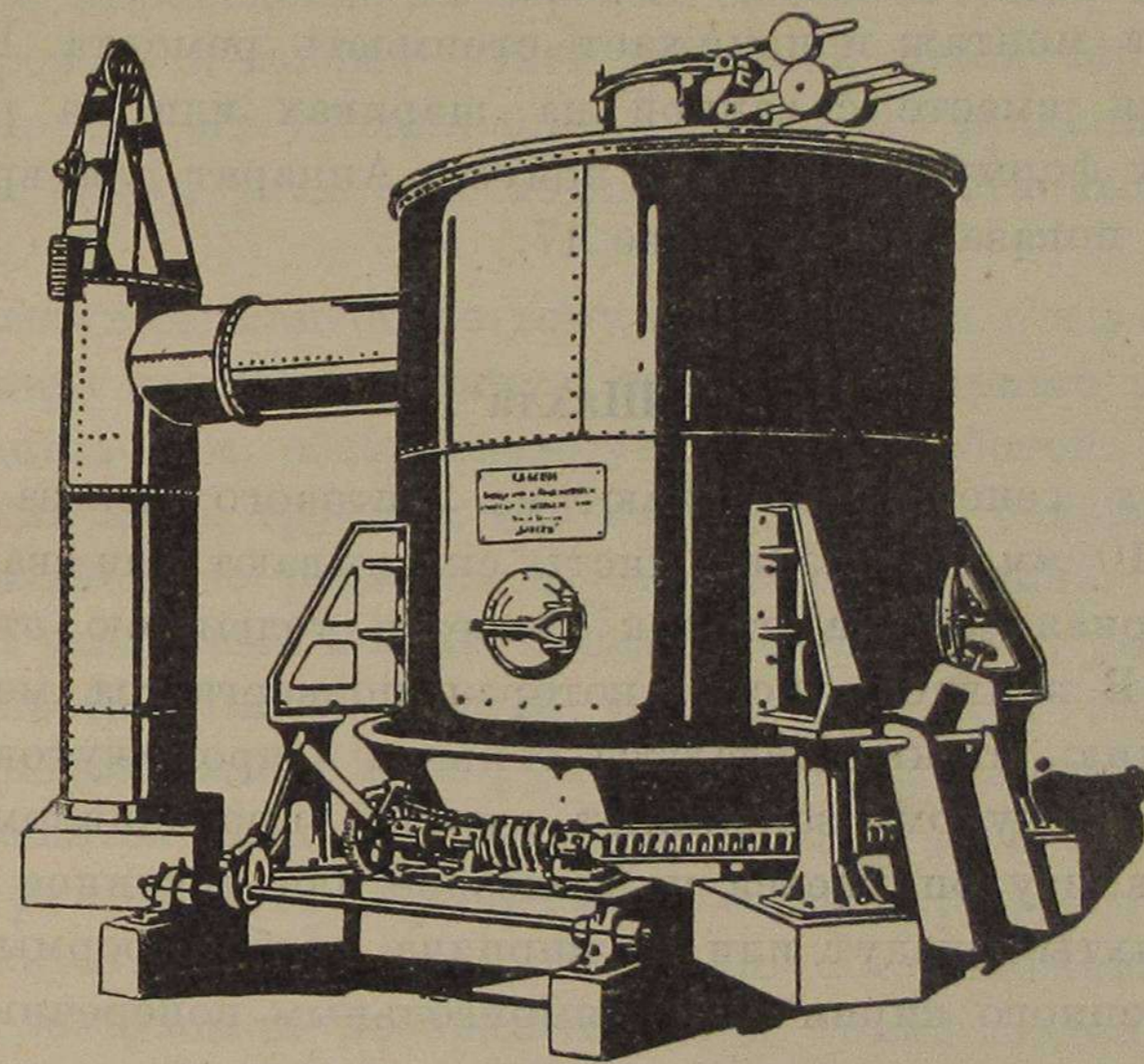


Рис. 17.

дает возможность вводить в шахту достаточное количество воздуха в вертикальном направлении. Этот генератор уже не относится к группе генераторов с вращающейся решеткой.

Вращение колосниковой решетки

Вращающаяся решетка делает один оборот во время от 1 до 5 часов, смотря по качеству топлива. Скорость кругового вращения изменяется по мере надобности. Для вращения решетки обыкновенно пользуются червячной передачей. Впрочем, простота этой передачи имеет и свои невыгоды, состоящие в расходе работы на вращение и в из-

нашивании червяка и червячного колеса. Правда, эти невыгоды не очень велики по значению. Потребление работы обыкновенно не превышает 1,5—2 лошадиных сил. При дешевизне энергии в крупном производстве этот перерасход работы не имеет существенного значения. Не велик также расход, связанный с изнашиванием червяка и червячного колеса. Червячное колесо не слито с ванной, но ввинчено в стенку ее у самого дна. Оно делится на сегменты, из которых каждый в отдельности может быть заменен. Это облегчает монтаж и понижает стоимость ремонта. Решотка вращается вместе с ванной на шариках или на роликах, имеющих форму усеченного конуса. Аппарат для вращения решотки показан на рисунке 17.

Шахта

Кожух генератора делают из листового железа толщиной 8—10 мм. Железные листы склепывают или сваривают. Огнеупорная кладка стенок делается толщиной от 250 до 350 мм. В верхней части, которая подвергается меньшему нагреванию, стенки делаются тоньше, а промежутки между ними и кожухом заполняют дурным проводником тепла. Кладка внизу опирается на железное или чугунное кольцо. Свод шахты кладут или из кирпича особой формы или из обыкновенного кирпича с прямоугольным поперечным сечением. В своде делают отверстия для шурования, а в стенках „глазки“ для наблюдения, а также „лаз“.

Генератор с вращающейся шахтой и механической кочергой

Своеобразное решение получила проблема газификации топлива в Соединенных Штатах Северной Америки. Здесь еще сравнительно недавно натуральный газ и нефть в изобилии служили как дешевое топливо для широкого круга потребителей, каковыми являются металлургия, стекольное и керамическое производства, химическая и другие отрасли промышленности. Дешевизна и удобство употребления этих видов топлива действовали на цены высокосортного угля и поддерживали их сравнительно низкими. Но

этот золотой век топлива безвозвратно прошел. Уменьшающийся выход натурального газа сделал применение его для промышленных топков экономически непригодным. Современная практика перегонки нефти до того, что ничего не остается, кроме кокса, прекратила ее использование в широких пределах как топлива. Усилившееся применение искусственного газа, как замены натурального газа и нефти, привело потребителей к тому, чтобы пользоваться не только высокоценными сортами газового угля, но также утилизировать и залежи углей с низкой теплотворной способностью для их газификации с таким же приблизительно успехом, как и угли с выходом летучих составных частей до 40%.

Семьдесят лет или более тому назад братья Сименс подарили миру спроектированную ими стационарную печь для производства газа, обслуживаемую ручной работой. В течение многих лет и трудами многих людей этот генератор получил дальнейшее развитие и усовершенствование. Теперь, и ранее в различных местах, появляются попытки, указывающие на необходимость нового типа генератора, чтобы вытеснить неподвижные конструкции, обслуживаемые руками. Подымающиеся цены на топливо и растущий недостаток рабочих рук, неохотно предлагающих свой труд на тяжелую непрерывную и неприятную работу по обслуживанию генераторов, возбуждали изобретательский гений людей, знакомых с производством газа. Наконец, преемником ручного генератора явился современный вполне механический генератор, в котором ручной труд, ранее требовавшийся для подачи угля, ухода за огнем, очистки от шлака и золы, заменен механическими операциями. При этом надлежало решить пять следующих задач:

1. Сделать возможной газификацию всякого рода углей, включая и те, которые маложелательны по физическим и химическим свойствам.
2. Получать хороший газ, не ухудшая его качества и не понижая выхода в зависимости от степени прочистки зоны горения в генераторе.
3. Свести к минимуму изнурительный труд рабочих на единицу веса перерабатываемого угля.

4. Увеличить выход газа с единицы площади поперечного сечения шахты в зоне горения. Это должно быть сделано, не жертвуя заметным образом качеством газа.

5. При соблюдении предыдущих условий механический генератор должен быть прост, долговечен и доступен во всех своих рабочих частях. Эти части должны быть исполнены достаточно точно для того, чтобы их можно было быстро заменять без пригонки или приладки. Генератор должен быть спроектирован таким образом, чтобы всякие усовершенствования, как только они появляются, могли быть применяемы без серьезных изменений.

Следующий краткий обзор покажет путь, пройденный при решении этих пяти задач.

Одною из первых задач, решением которых занялись, было механическое удаление золы из неподвижного зольника. В 1882 году Вильсон в Англии употреблял для этой цели винт, в 1895 году Вельман в Америке применил горизонтальный удалитель золы с качательным движением, а в 1898 году — ряд вращающихся колосников. Врукс в Англии в 1883—1886 гг. провел идею вращающейся плоской плиты для золы. Он удалял золу, применяя вращающуюся коническую решетку, помещенную на плоской плите для золы. Тайлор в Америке в 1889 году заменил центральную коническую решетку горизонтальным неподвижным скребком, который можно было устанавливать по желанию. Этот скребок, поддерживаемый шахтой генератора, вдавался в массу золы и соскребал ее с вращающегося стола. Опыты механического удаления золы продолжали потом Юз, Вельман, Керпели, Реман, Чапман, Морган и другие. В первых конструкциях зола удалялась периодически. Серьезным недостатком многих из этих конструкций являлось то нарушение процесса газификации, которое вызывалось накоплением кучи золы внутри генератора и за которым следовал перерыв огня всякий раз, когда удаляли золу.

Окончательное решение было найдено во вращающейся сковороде с золой, снабженной автоматическим плужком, который приспособлен для непрерывного удаления золы с такою же быстротой, с какою она образуется, и подводится к нему скребками, которые соединены с вращающейся шахтой генератора.

Не менее важным шагом было применение вращающейся шахты генератора, вмещающей уголь, зону горения и зону золы. Ценность такого устройства заключается в том, что оно дает возможность применить механическую кочергу вместо неправильного и несовершенного ручного шуровангя, которое неизбежно в неподвижных генераторах. Инженер Юз (Hughes), один из выдающихся пионеров в развитии генераторов, изобрел механическую качающуюся кочергу, охлаждаемую водой и непрерывно действующую. Применение этого изобретения имело результатом сильное увеличение газообразовательной способности зоны газификации, сопровождаемое несомненным улучшением качества газа вследствие устойчивости условий газообразования в зоне горения и в зоне сухой перегонки. Химический анализ показал определенное понижение содержания углекислоты и практически полное исчезновение кислорода в получаемом газе. Кочерга качается по криволинейному пути в слое топлива между центром генератора и кирпичной футеровкой шахты его. Так как кочерга наклоняется под некоторым углом к подходящему к ней топливу, среди которого она работает, а также приблизительно перпендикулярно к этому направлению, то она оказывает на топливо поднимающее действие. Ее действие на слой топлива тройкого рода: во-первых, она держит топливо разрыхленным и открытым для восхождения газа; во-вторых, она очищает частицы раскаленного топлива от постоянно образующейся золы, так что свежий раскаленный уголь может быстро окисляться; в-третьих, она помогает опусканию золы и шлака из зоны газификации.

Первая батарея генераторов Юза была установлена на заводе, на котором он служил в должности главного инженера, и успешно работала многие годы.

Юз является пионером в деле развития механических сковороды, плужка и кочерги. Работая на заводе, он заметил, что ручное питание генератора хуже в смысле количества его и по своему действию и тягостно для рабочих. Для устранения этих затруднений он предложил в 1908 году аппарат для механической засыпки топлива. Это питательное устройство разбрасывает уголь по слою топлива практически непрерывным потоком пропорционально быстроте газификации.

фикации. Регулируется этот поток очень простым приспособлением. Генератор Юза представлен на рисунке 18.

Еще ранее, чем появились вращающаяся шахта и ванна, делались попытки избавиться от питательного устройства с воронкой, которое обычно употреблялось. Этот засыпной

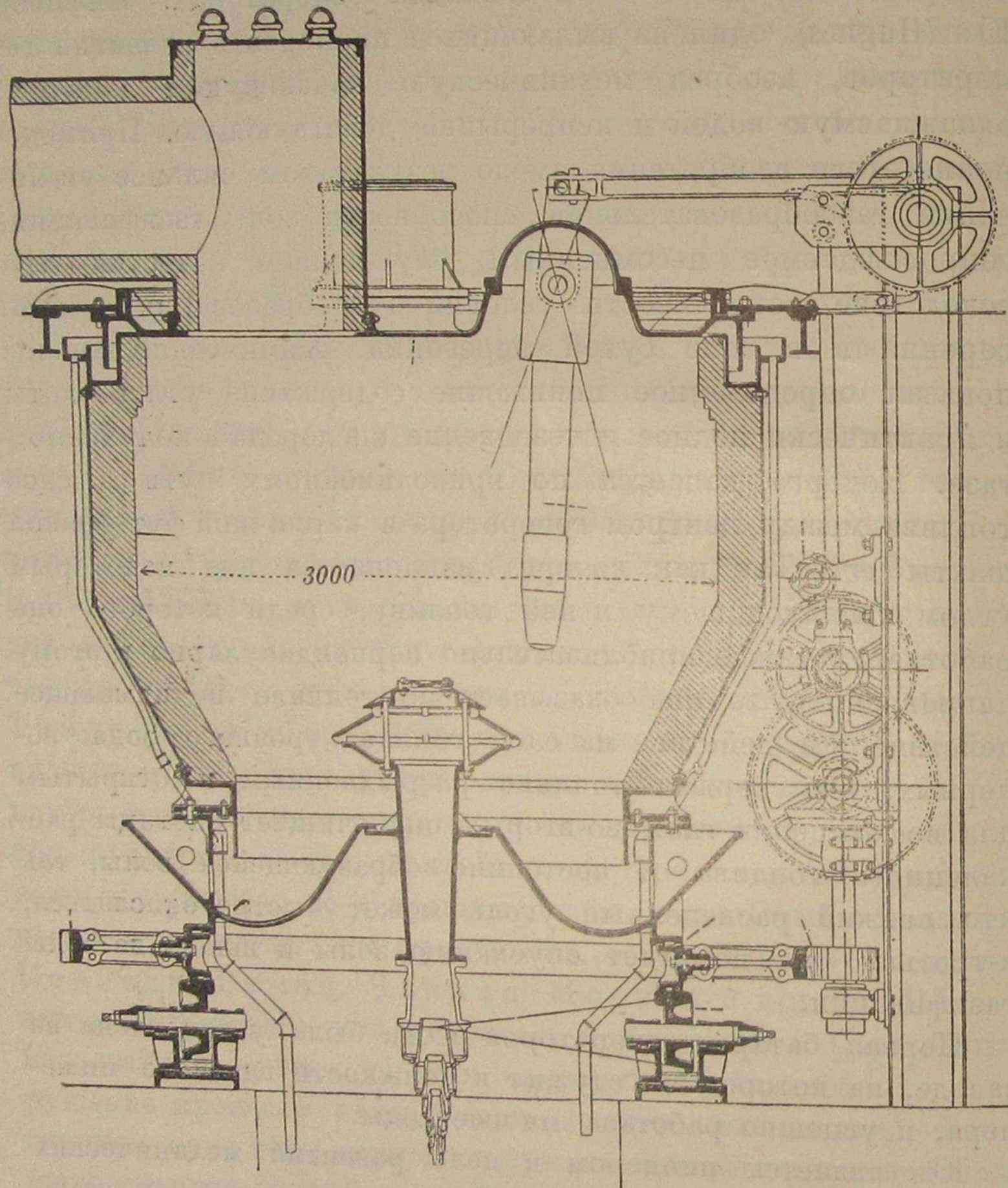


Рис. 18.

аппарат требует для своего действия ручного труда. Он по-дает уголь в шахту генератора сравнительно большими ко-личествами и в промежутки времени, которые зависят от добросовестности рабочего. Кроме того он требует ручного труда, чтобы распределять уголь шурованием. Иногда это

достигается, иногда нет. Еще в 1902 году генератор Фра-зера Тальбота был снабжен механическим засыпным аппаратом. Этот засыпной аппарат состоял из группы 4 вертикальных цилиндрических ячеек, которые вращались последовательно над впускным отверстием в генератор, по мере надобности. Сверху они в это время закрывались, чтобы не ускользал газ из шахты. Вскоре после этого пред-ложено было цилиндрическое вентиляторное питательное колесо со многими отделениями, которое вращалось на гори-зонтальной оси. Эта идея впоследствии появлялась в различ-ных конструкциях. В настоящее время такая подача имеет две вращающихся части: верхнее, или регулирующее, колесо вращается с переменной скоростью, благодаря чему бы-строта подачи угля приспособляется к изменяющейся по-требности в газе. Направление вращения идет навстречу опускающемуся углю, и от этого уголь приподнимается, предотвращая таким образом закупорку устья коробки. Нижнее колесо, снабженное 5 лопатками, вращается, как и верхнее, вокруг горизонтальной оси, и уголь подается в ге-нератор небольшими, правильно отмеренными порциями, так что подача угля в генератор действительно произво-дится практически непрерывным потоком по всей поверхно-сти столба топлива. Безопасность против поломки вследствие присутствия в угле бродячего железа достигается путем введения в шатун срезающегося штифта. Такого засып-ного устройства, составляющего часть генератора, который выработался из генератора Юза путем многолетней работы. Далее здесь приводится краткое описание современного генератора системы Юза типа L. Механическая подача угля его уже описана выше. Верхняя крышка генератора представляет собою простой лист прокатной стали, который настолько тяжел и жесток, что не требует под собою ку-пола из огнеупорного кирпича. Она снабжена водяным охла-ждением. Качающаяся наклонная мешалка оказалась лучшим из всех других подобных устройств. Трехступенчатый кол-пак для дутья найден более совершенным, чем поддувало из трех лап в виде паука и чем кольцевое дутье, потому что он позволяет свободное и незатрудненное опускание золы. Сковорода с золою вращается на широком круговом кольце из шариков вследствие трения золы в шахте и ско-

вороде. Перерыв во вращении сковороды из трех переменных периодов, составляющий в сумме 21° на каждый оборот шахты, производит срезающее действие в зоне золы, которое поддерживает золу в разрыхленном состоянии и создает условия, благоприятные для подведения в зону горения воздуха в больших объемах при расходе очень малого количества пара на движение турбовентилятора, подающего дутье. Турбовентилятор снабжен термометром, который показывает степень насыщения воздуха, вводимого в генератор, водяным паром. Таким образом, при соответствующем расположении паровых труб, рабочий имеет возможность контролировать объемы воздуха и пара, которые входят в генератор.

Теплотворная способность газа в Соединенных Штатах выражается в чистых британских тепловых единицах при $62^\circ F$ на $2,8 \text{ см}^3$ (1 куб. фут) газа, собранного в месте выхода его из генератора или по возможности близко к этому месту. Анализ газа здесь производится методом, который получил одобрение Комитета химиков Стальной корпорации. Он известен под названием „непрерывного метода“. Согласно этому методу струйка газа непрерывно берется из сборной трубы на главной газовой трубе поблизости от генератора. Время собирания каждой газовой пробы продолжается от 10 до 12 часов. Такая продолжительность необходима потому, что через каждые 12 часов дутье прекращается, и производится очистка генератора от шлака и золы.

Это вызывает понижение зоны горения на высоту, равную высоте слоя удаленных золы и шлака. Такое нарушение процесса газификации производит значительное понижение теплотворной способности генераторного газа. Проходит иногда около часа времени, прежде чем изгладятся последствия этого нарушения процесса в генераторе. Пробы газа урывками, забираемые в течение 5—15 минут, дают понятие об условиях в генераторе только в данный момент. Некоторые считают их полезными. Состав и вычисленная из него теплотворная способность газа являются лучшими техническими показателями совершенства генератора, вместе с температурой газа и составом золы. Впрочем, газовый анализ, как он обыкновенно делается, далеко еще не все. Газ собирается в резервуаре, наполненном водой, и анализируется

действием водных растворов реактивов после прохождения хлоркальциевой трубки. Следовательно числовые результаты газового анализа не дают никакого отчета о парах смолы, золотисто-желтый туман которых характеризует газ, полученный при хороших условиях внутри генератора. Другим недостатком газового анализа следует считать то, что он не

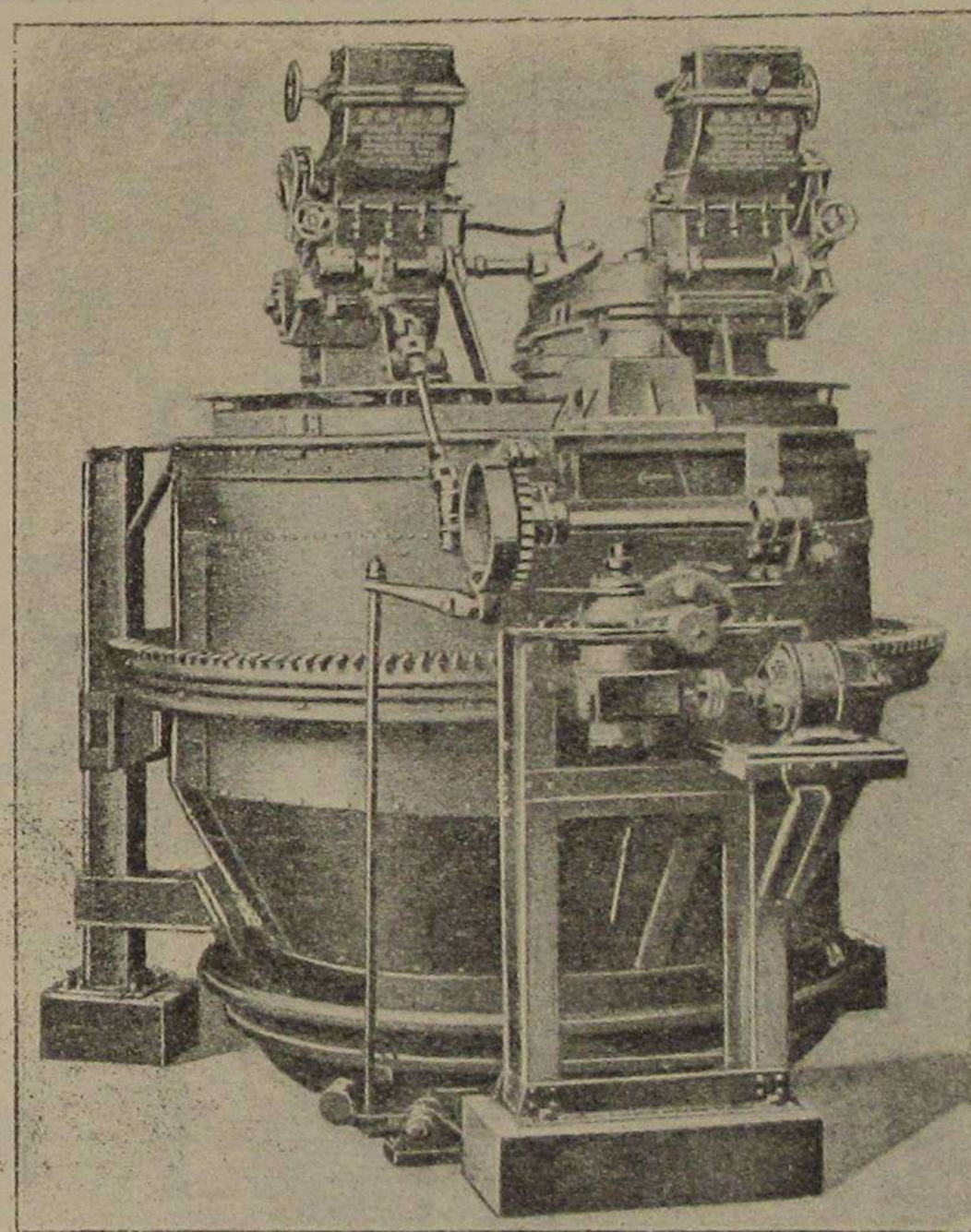


Рис. 19.

дает точного показания количеств углеводородов, содержащихся в генераторном газе.

Одно из главных достоинств механического генератора, обладающего непрерывным подведением угля, образованием газа равномерного состава и непрерывным удалением золы в том количестве, в каком она опускается в ванну из зоны горения, состоит в освобождении рабочего от тяжелого физического труда. Поэтому занятый обслуживанием такого генератора рабочий имеет возможность посвятить свое время и энергию обеспечению и поддержанию взаимного урав-

новешения комплекса условий, которые наиболее подходят к свойствам применяемого топлива. Что это возможно, доказывается тем обстоятельством, что, например, на стекольном заводе, употребляющем уголь среднего качества, в течение операции, длящейся целый день, температура в печи колеблется только на $12^{\circ} F$. Газ на этом заводе получали от батарей генераторов „W.S.M.“ системы Юза

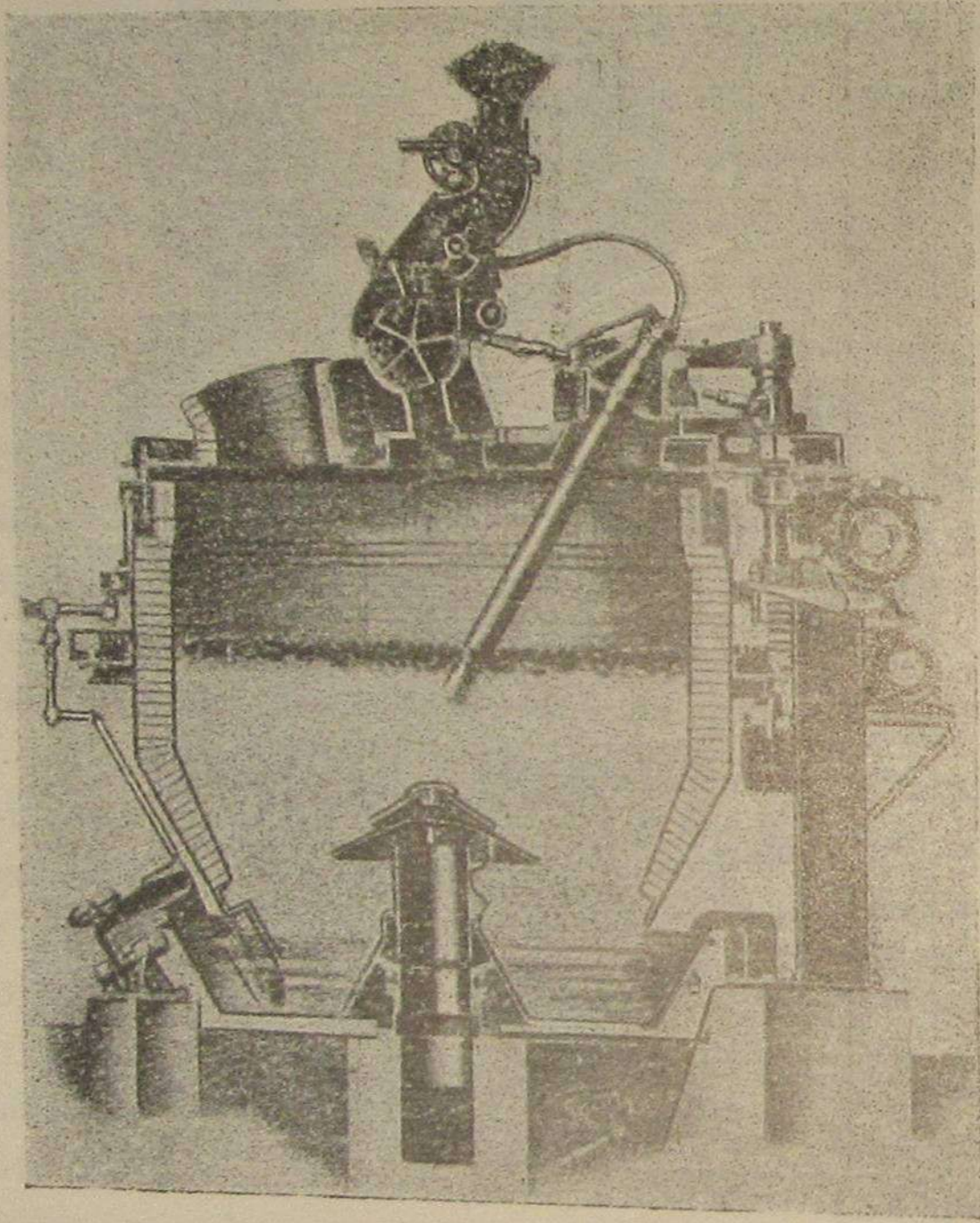


Рис. 20.

типа L № 10. Один из таких генераторов представлен на рис. 19 и 20.

На рис. 19 мы имеем наружный вид генератора. На следующем рисунке 20 представлен тот же генератор в вертикальном разрезе.

Генератор с вращающейся шахтой не нашел широкого распространения в Германии и вообще в Европе вследствие его сравнительной сложности и высокой стоимости. На рисунке 21 показана немецкая конструкция генератора

с вращающейся шахтой (патент Гильгера). Этот генератор кроме того снабжен вращающейся решеткой.

Шахта здесь держится и вращается сама по себе. Верхняя часть генератора неподвижна и держится на подпорах. Она соединяется с вращающейся шахтой посредством желоба с водой. Удастся ли этому генератору приобрести права гражданства, покажет практика. Несомненно, однако, что он

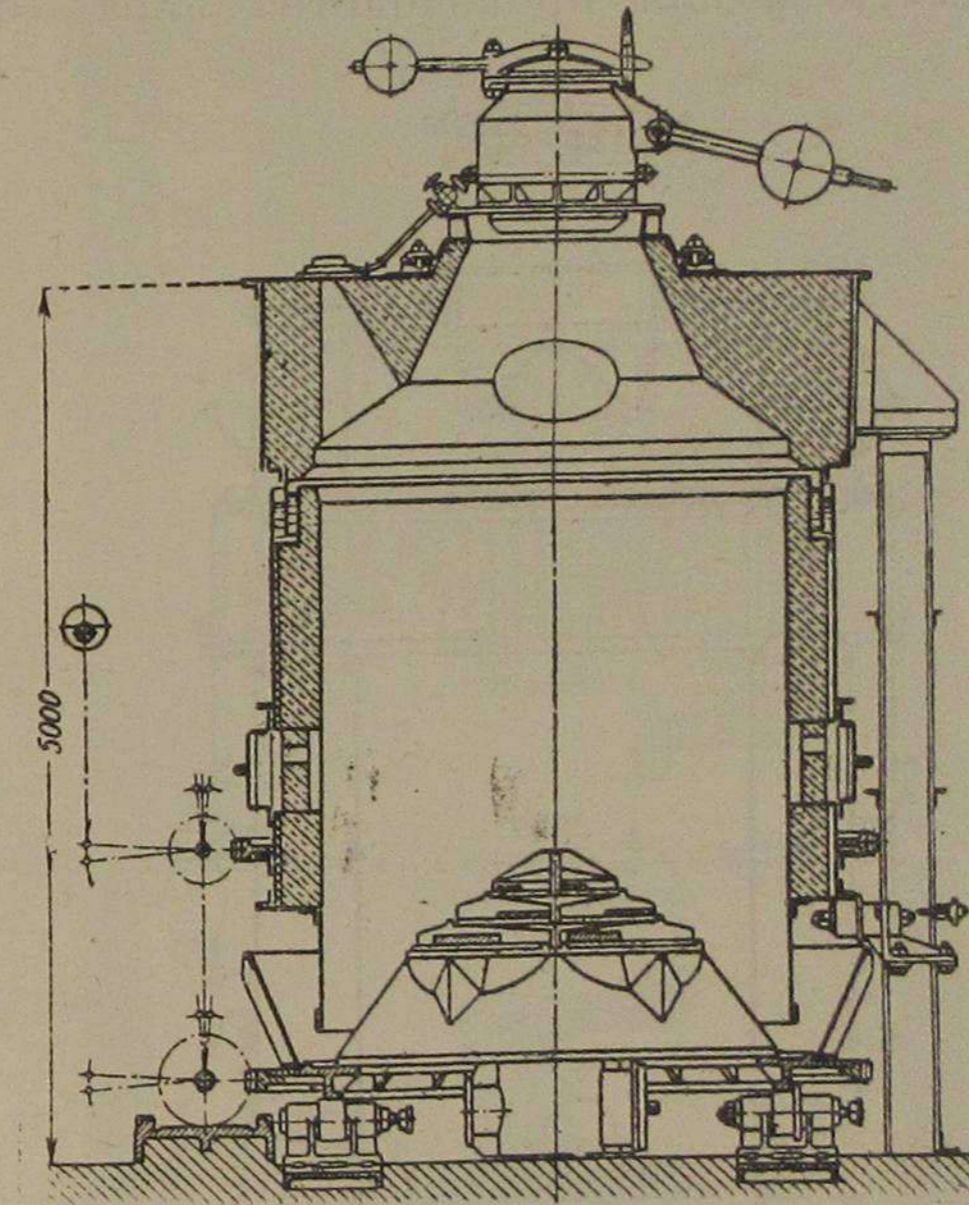


Рис. 21.

сложнее и дороже простого генератора с вращающейся решеткой.

Водяное охлаждение стенок шахты

Что касается водяного охлаждения стенок, то взгляды на его значение расходятся. Оно препятствует пригаранию шлака к стенкам шахты, которое действует на стенки разрушительно, но зато отнимает от слоя топлива значительное количество тепла, которое теряется. Следовательно водяное охлаждение пригодно только тогда, когда стенки шахты делают не кирпичные, а железные. Тогда теплота, отнимаемая от топливной колонны, не теряется, но используется

для производства пара. На Венском газовом заводе имеется установка из 20 таких генераторов. Генераторы дают пар, на котором работают заводские эксгаустеры, вентиляторы, насосы очистительной установки и сами генераторы. По словам Г. Германса, продолжительным опытом здесь установлено, что общий коэффициент полезного действия такого газогенератора достигает $96,58\%$. Из этого количества использовано $14,43\%$ для производства пара, $75,38\%$ пред-

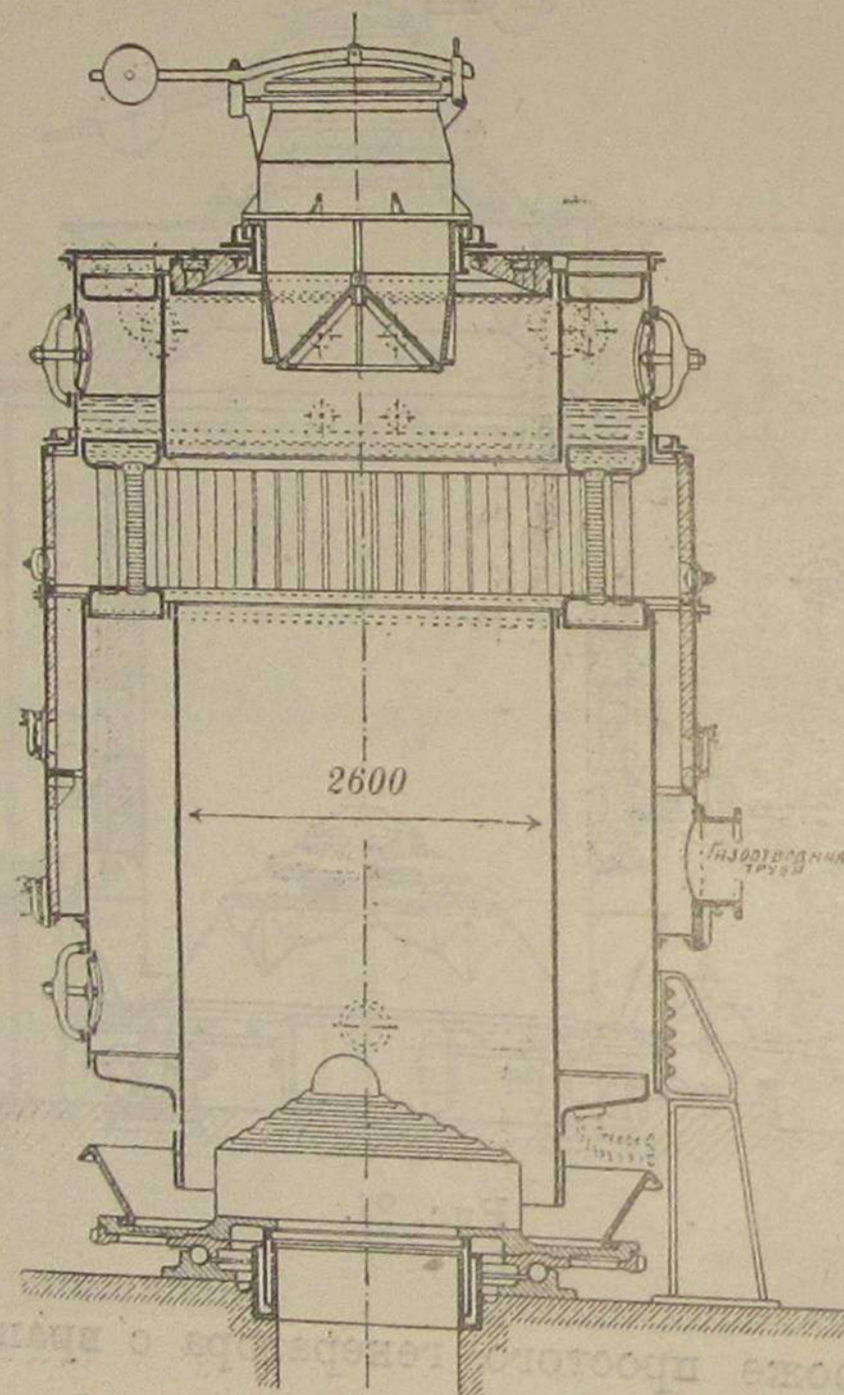


Рис. 22.

ставляют теплотворную способность полученного газа и $6,77\%$ теряются вследствие охлаждения. Следовательно, практический коэффициент полезного действия достигает $89,81\%$. Каждый котел газогенератора имеет поверхность нагрева, равную 60 м^2 . С 1 м^2 поверхности нагрева получают $9,97\text{ кг}$ пара. На 1 кг кокса приходится $1,36\text{ кг}$ пара. На 1 кг безводного и беззольного кокса приходится $1,88\text{ кг}$ пара.

На рисунке 22 показан один такой газогенератор с производством пара (Мариска).

Современный газогенератор с вращающейся решоткой и с паровым котлом представлен также на рисунке 23 (Пинч).

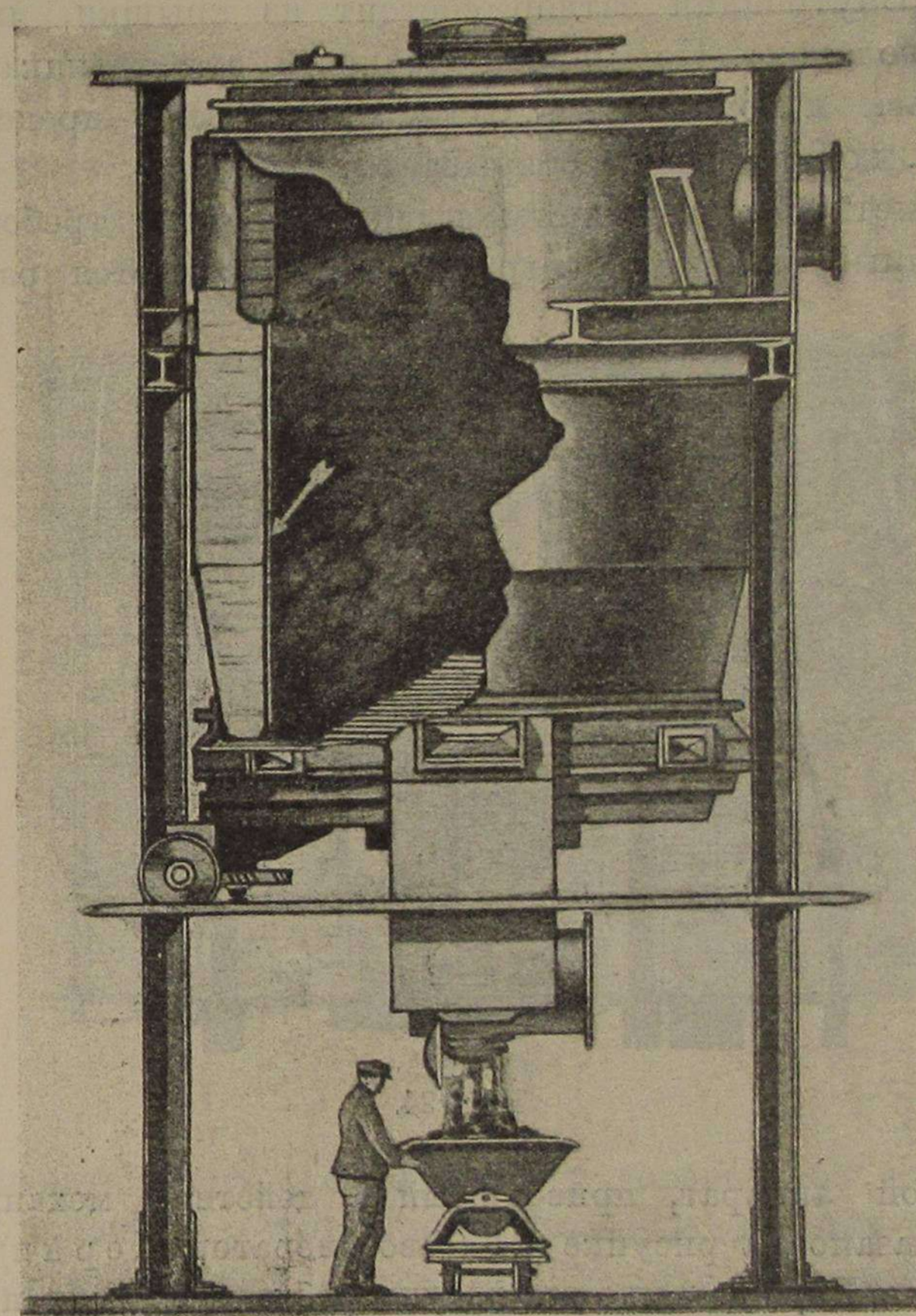


Рис. 23.

Засыпной аппарат

Засыпной аппарат генератора должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Ручная работа должна ограничиваться лишь немногими приемами.
2. Распределение топлива по всему поперечному сечению шахты должно быть самым целесообразным; должна быть возможность скучивать топливо по мере надобности в отдельных пунктах поперечного сечения шахты.

3. Загрузка топлива не должна причинять потерь газа.

Этим требованиям удовлетворяет так называемый двойной затвор. Внутренний затвор состоит из крышки, имеющей форму колокола. По мере надобности эта крышка может опускаться и подниматься. Наружный затвор представляет крышку, которая легко открывается рукой.

Удовлетворяя названным выше основным требованиям, загрузочный аппарат конструктивно выполняется различно.

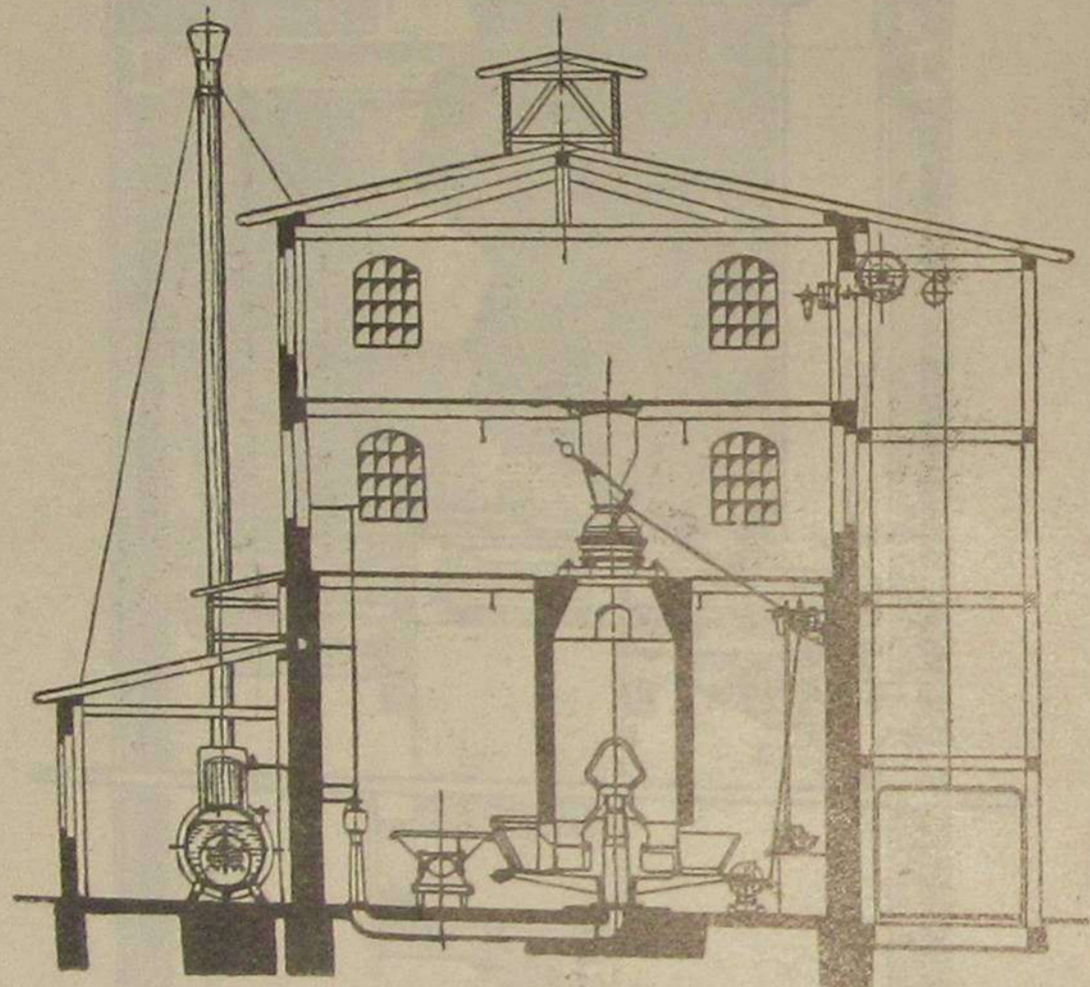


Рис. 24.

Засыпной аппарат, приводимый в действие механически, как показано на рисунке 24 (газогенератор Черни), повидимому в Европе выходит из употребления. Были попытки сделать из него дробилку, как у генератора Ремана, чтобы засыпать для газификации уголь необходимой величины кусков. Но такие загрузочные устройства не нашли широкого применения.

В настоящее время в Европе стремятся кроме плотного затвора получить засыпной аппарат наибольшей простоты и по возможности без подвижных частей.

Удаление остатков

У генераторов, работающих с перерывом, а также у генераторов с неподвижной колосниковой решоткой, снабженных

нижним водяным затвором, остатки удаляются ручной работой в определенные промежутки времени. С появлением газогенераторов с вращающейся колосниковой решоткой оказалось необходимым собирать остатки в ванне и удалять их при помощи аппаратов, работающих автоматически. Таким образом до крайности ограничивают потребности в обслуживании и кроме того не допускают нарушения хода генератора скоплением шлака.

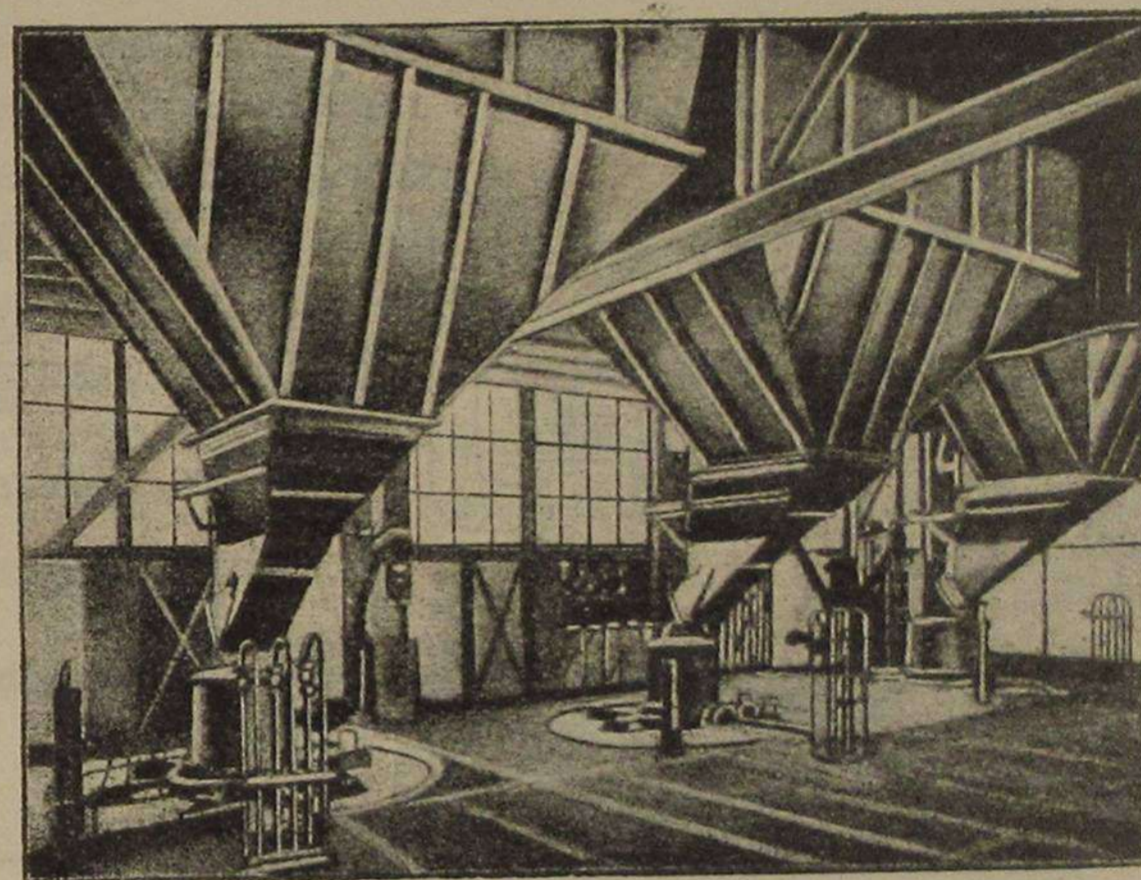


Рис. 25.

Аппарат для удаления золы у генераторов с вращающимся колпаком очень прост. Железная лопатка в форме плужка, установленная от руки, на определенной высоте, достает в наклонном положении до дна ванны. Зола и шлак выгребаются ею через край ванны в тележку.

Газогенераторная установка

При устройстве газогенераторной установки прежде всего стремятся к механизации работы, к облегчению и удешевлению подвоза угля и удаления отходов производства. Уголь складывается обыкновенно в ящики (бункеры), расположенные на определенной высоте. Загрузка угля в эти ящики производится посредством механических подъемных кранов. Отверстия для высыпания угля из бункеров распо-

лагаются непосредственно над засыпными аппаратами генераторов, как это показано на рисунке 25. Таким образом обеспечивается быстрая и дешевая загрузка топлива в генераторы. Обыкновенно и удаление шлака из генераторного помещения производится с помощью подъемного крана.

Надо заметить, что, в зависимости от местных условий, подача угля иногда производится и при помощи более сложного оборудования.

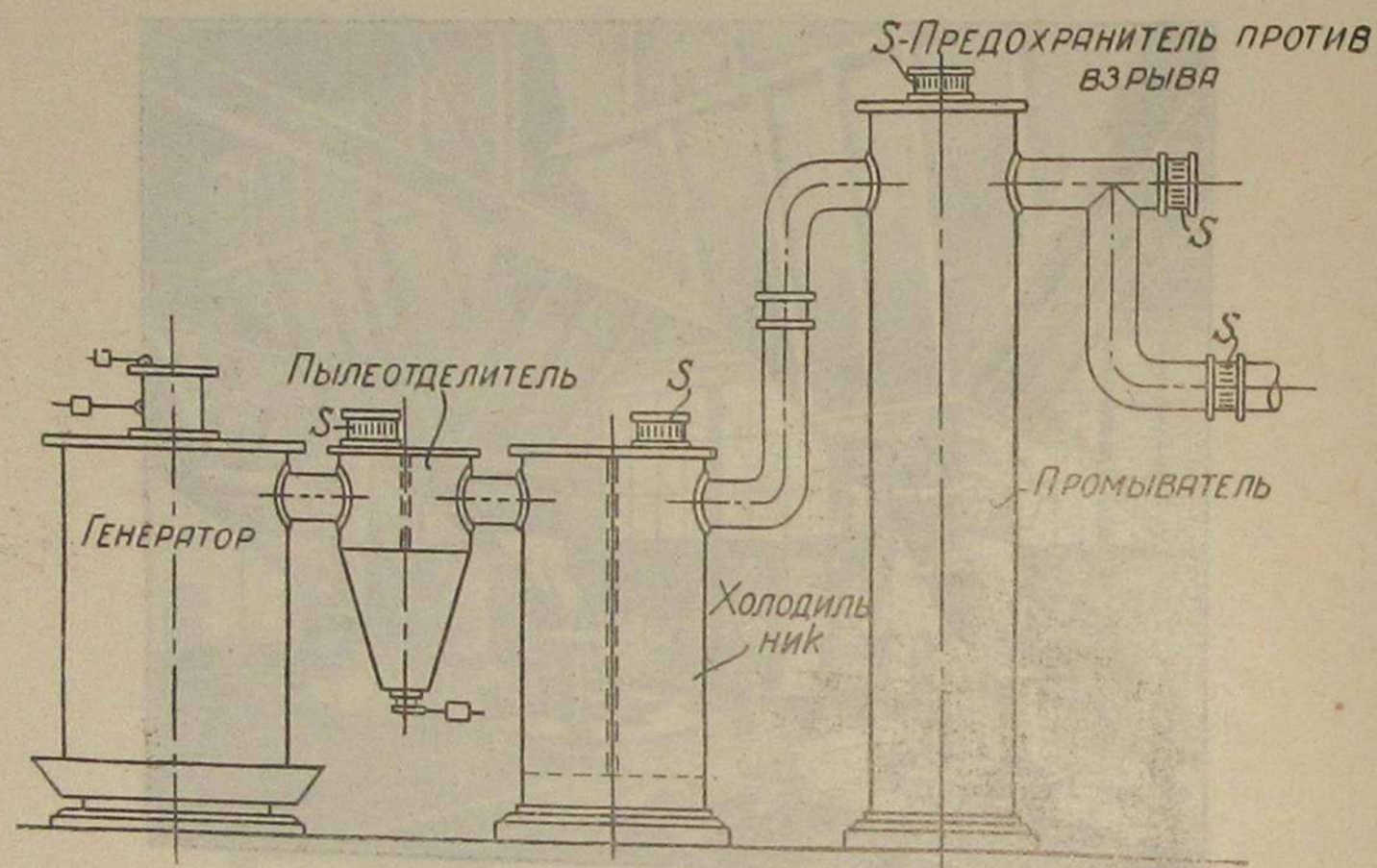


Рис. 26.

При устройстве механической установки по снабжению углем предполагается, что передаваемые количества угля настолько велики, что механическая загрузка угля в генераторы дает достаточную выгоду и обеспечивает погашение капитала, затраченного на такую установку.

В крупном производстве генераторный газ, промытый и осушенный, подается к печам и газомоторам с центральной общезаводской станцией. Это оказывается много выгоднее, чем получать газ на отдельном генераторе, так как уход и содержание общей генераторной установки гораздо дешевле и технически проще, чем установки отдельного генератора. Но так как отдельный генератор выгоднее обыкновенной топки, то полная газификация заводов, по расчету профессора В. Е. Грум-Гржимайло, желательна и выгодна.

Установка из одного генератора показана на рисунке 26.

Не следует забывать, что смесь газов, входящих в генераторный газ, может обладать взрывчатыми свойствами. Поэтому рекомендуют снабжать газогенераторную установку предохранителями от взрывов. Такой предохранитель представлен на рисунке 27. Он представляет из себя отрезок трубы, снабженный щелями. Этот отрезок вставляется в подходящих местах газопровода. Если давление переходит за известный предел, то материал, закрывающий щели предохранителя (бумага, полотно, а при горячем газе азбест), разрывается.

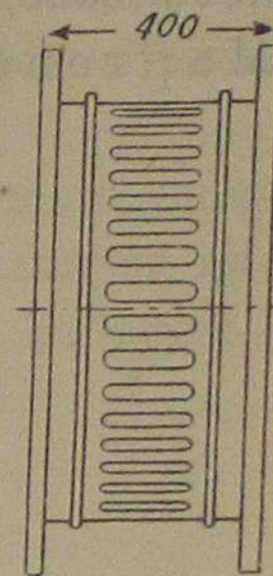


Рис. 27.

Такой предохранитель оказывается и прост по устройству и соответствует своему назначению, и его, конечно, следует предпочитать предохранителям, устроенным на механических или электрических принципах. Число предохранителей определяют в зависимости от условий производства.

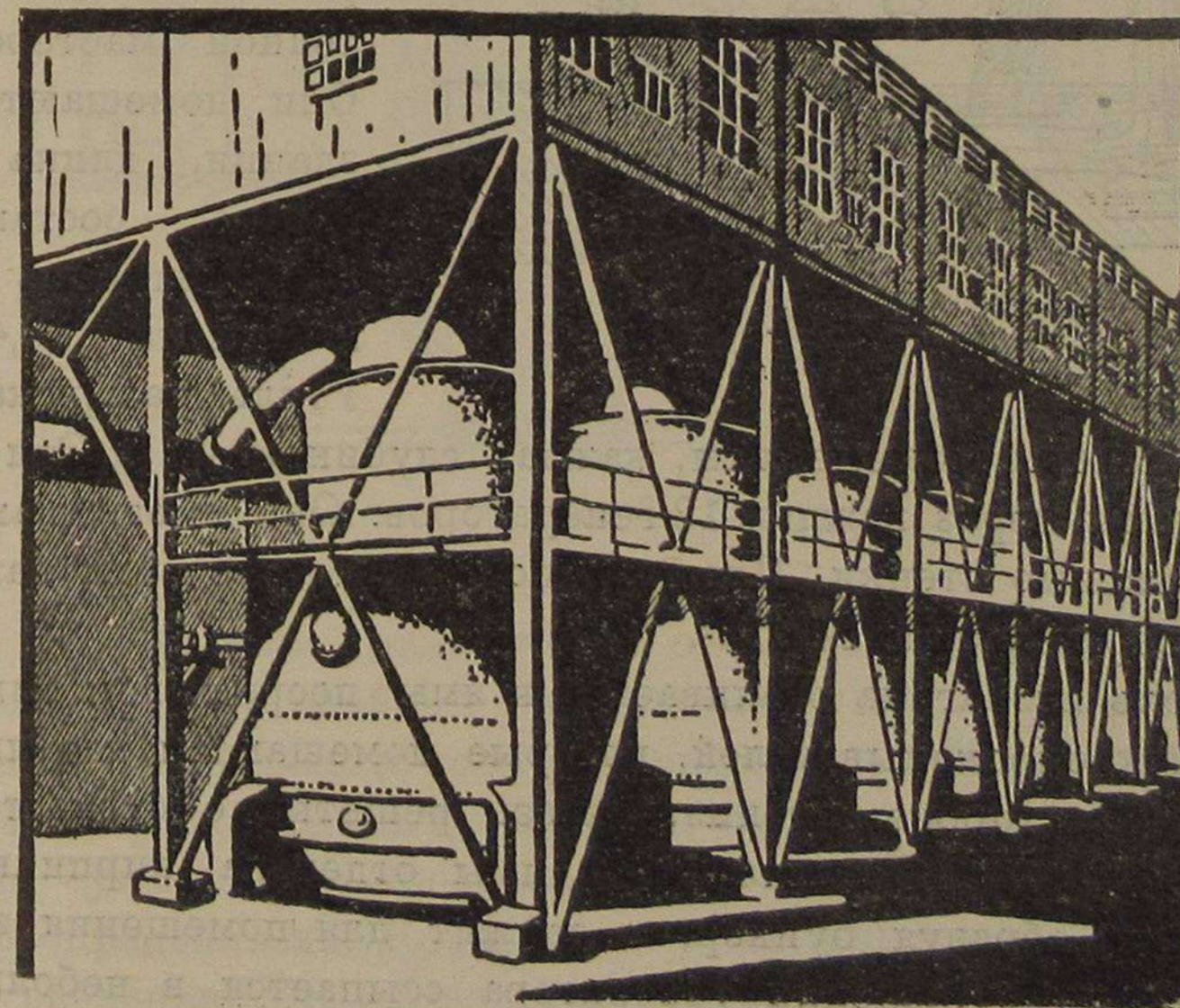


Рис. 28.

Некоторое представление о батарее генераторов центральной станции дает рисунок 28. Это — генераторы Франке-

Верке, очень хорошо зарекомендовавшие себя при газификации бурого угля и торфа.

Центральная генераторная установка одного сталелитейного завода¹, питающая газом пятнадцать 50-тонных печей Мартена, состоит из 36 генераторов Моргана (рис. 29).

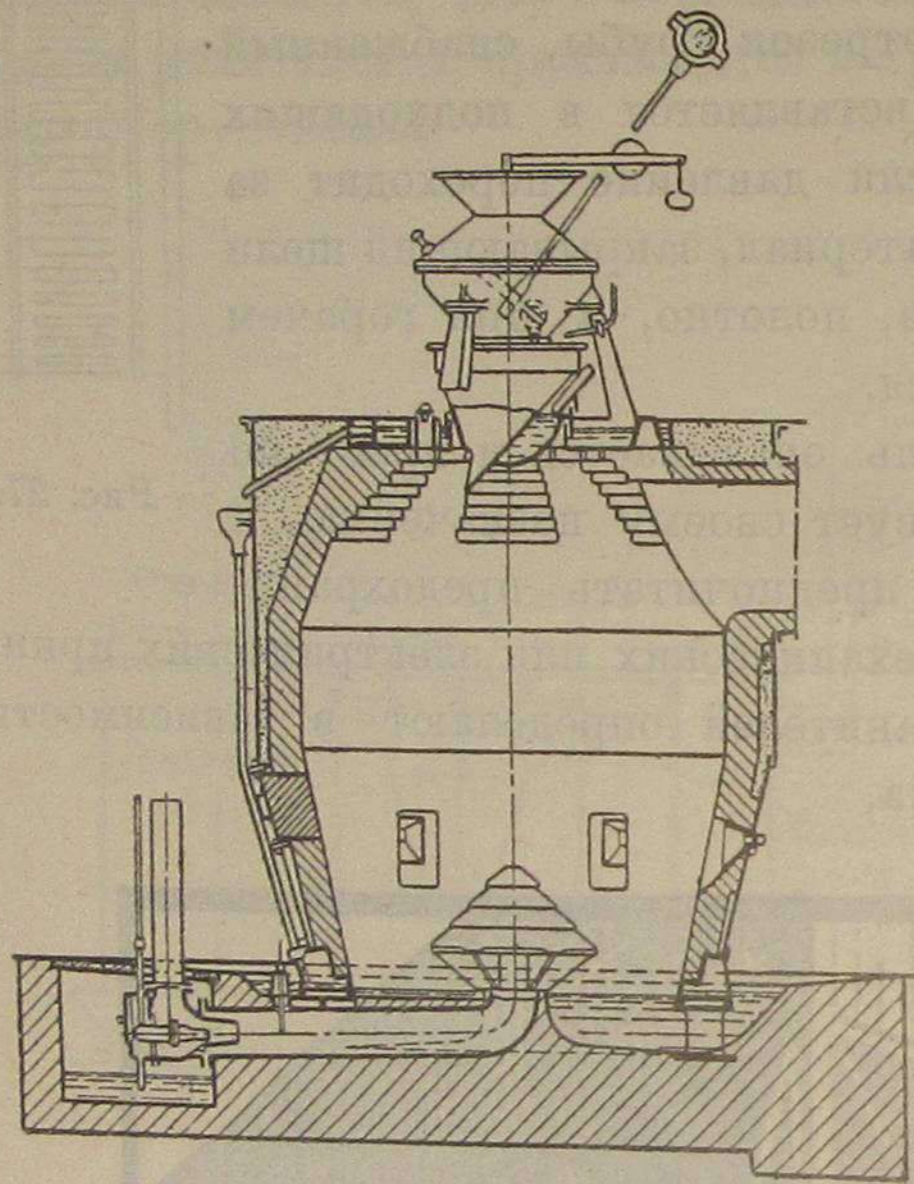


Рис. 29.

Диаметр каждого генератора равен 3 м.

Генератор в отдельности в состоянии газифицировать в 24 часа от 12 до 15 т шотландского каменного угля. Генераторы стоят на фундаменте, который возвышается над полом на 1,5 м и расположен параллельно сталелитейной мастерской. Они помещаются в здании, длина которого составляет 200 м, ширина 4 м и высота 13,4 м.

Уголь разгружается

в две железобетонные ямы, каждая глубиной 40 м. Эти ямы помещены через каждые 12 генераторов. Они имеют наклонные боковые стенки. Площадь поперечного сечения каждой ямы сверху равна 14,6 м².

Уголь из вагона сваливается в ямы посредством гидравлических опрокидывателей, которые помещаются над ямами с каждой стороны здания, сквозь решетки с отверстиями в 100×100 мм. Средняя часть ямы отделена кирпичными стенками, образуя бункер, и служит для помещения золы, которая по оставлении генератора сыпается в небольшие опрокидывающиеся вагоны. Эти вагоны разгружаются в бункеры. Потом из бункеров зола выгребается электрическим

¹ Mossend Steel Works Messrs. William Beardmore & Co в Лайоне (Lyon).

краном с ковшом (5 т) и вывозится под прямым углом к зданию для погрузки в нормальные вагоны, как это видно на рисунке 30.

Уголь из бункеров также выгружается краном с ковшом в воронку, находящуюся над каждым генератором. Такая воронка вмещает до 20 т угля.

Генератор Моргана, как известно, снабжен неподвижным колпаком, но он имеет вращающуюся засыпную воронку системы Джорджа (George). Она состоит из уголь-

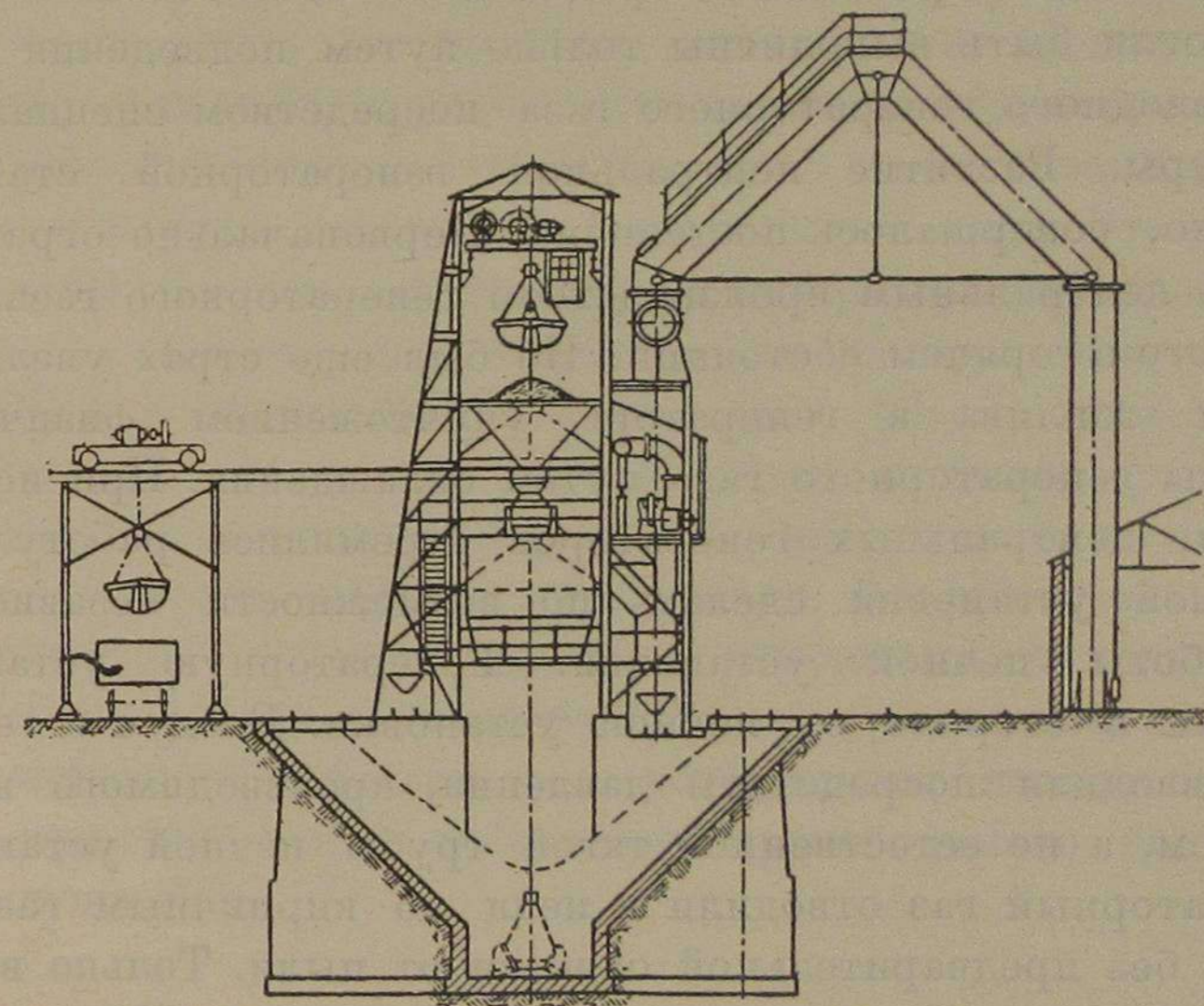


Рис. 30.

ного пространства, отделенного от собственно воронки клапаном, который снабжен противовесом, и из вращающегося и плотно закрывающегося распределителя. Уголь поступает сквозь горизонтальный кружок, находящийся у нижнего конца угольного пространства и снабженный щелями, на распределитель. Количество угля можно приспособлять к потреблению. Вращательным движением уголь равномерно рассыпается по всей поверхности топливного столба.

Каждый генератор снабжен пыльным мешком, из которого газ течет в главную сборную трубу диаметром 1,8 м и длиной 226 м. К печам газ подводится 16 трубами, соеди-

ненными зигзагообразно. Диаметр каждой из этих труб равен 1,2 м.

Техническая необходимость центрального производства генераторного газа для отопления газовых печей возникла в тот момент, когда эти печи, построенные сначала на небольшую производительность, стали получать размеры, которые все более и более возрастали. Вместе с этим возникали новые задачи, которые не могли быть безупречно решены использованием газа отдельных генераторов. Новые требования, которые стали предъявлять печи большой емкости, могли быть выполнены только путем подведения к печам холодного генераторного газа посредством специальной арматуры. Развитие центральной генераторной станции, конечно, совершалось постепенно. Первоначально ограничивались центральным производством генераторного газа, подводимого в горячем состоянии. Но был еще страх увеличить расход топлива в генераторе уничтожением физической теплоты генераторного газа путем охлаждения. При использовании центральных генераторов стремились работу генераторной установки сделать по возможности независимой от работы печной установки. Генераторную установку ставили в стороне от печной установки. Воздух в генераторы вводили посредством давления, производимого вентилятором, а не естественной тягой трубы печной установки. Генераторный газ отводили в печи по кирпичным газопроводам без предварительной очистки от пыли. Только воздух подводили в печь, подогретый в рекуператоре. Конструкция тогдашних центральных генераторов еще мало отличается от конструкции отдельных генераторов. Применялись генераторы с кирпичными стенками, имевшие многоугольное поперечное сечение и снабженные колосниковой решеткой в форме двускатной крыши. Шлак с решетки удалялся в этом случае вручную через рабочую дверку. В таком роде устроена современная генераторная установка Фридриха Сименса (рис. 9). Эти генераторы известны под названием Дюф (Duff) генераторов. Преимущества таких центральных генераторов были в известной степени кажущимися, так как применение их имело и невыгодные стороны. Более сильная нагрузка площади их поперечного сечения требовала, при большом потреблении пара генера-

торами, тяжелой работы по удалению шлака. Кроме того эти генераторы, несмотря на применение кускового кокса, давали в газопроводы и в печи много пыли. Оказывается, коксовая зола содержит довольно много окиси железа и других легкоплавких примесей. Поэтому там, где оседала летучая зола, образовывался поверхностный расплавленный флюс, который разрушительно действовал на стенки и засорял сопла. Этот недостаток надеялись устранить устройством пылеуловительных мешков, но только отчасти достигали цели. Поэтому, когда около 1910 года появились регенеративные печи, то получило значение отопление печей холодным очищенным газом. Вместе с тем появилась мысль об охлаждении стенок генератора и об использовании водяного охлаждения стенок для производства пара. Эта мысль оформилась наконец в конструкции генератора, соединенного с паровым котлом, как видим в генераторе Маришка (рис. 22) и в генераторе Пинча (рис. 23). В этой форме центральный генератор достиг той степени развития в отношении использования тепла, на которой он, по видимому, более не способен улучшаться. Коэффициент полезного действия такого генератора, относимый к холодному и очищенному газу, составляет 79%, а термический коэффициент полезного действия, т.-е. коэффициент полезного действия при включении избыточно производимого водяного пара, около 93%.

Прибор для регулирования газогенераторов

На рисунке 31 представлен аппарат для регулирования генераторов. Он действует на производство газа таким образом, что количество пара, подводимое в генератор, увеличивается или уменьшается, соответственно с потреблением газа, а давление в газопроводе остается на одинаковой высоте.

Регулятор состоит из ящика с масляным затвором, содержащего мембрану. Мембрана посредством рычага действует на уравновешенный поршневой золотник в паропроводе. Промежуток между мембраной и трубой, соединяющей мембрану с главным газопроводом, наполнен сжатым воздухом.

Газовое давление в трубе, увеличиваясь или уменьшаясь, действует на воздушную подушку, отчего с помощью мем-

браны поршневой золотник более или менее сжимается. Соединение между регулятором и газовым каналом постоянно держится прочищенным посредством сжатого воздуха, который в небольшом количестве протекает по соединитель-

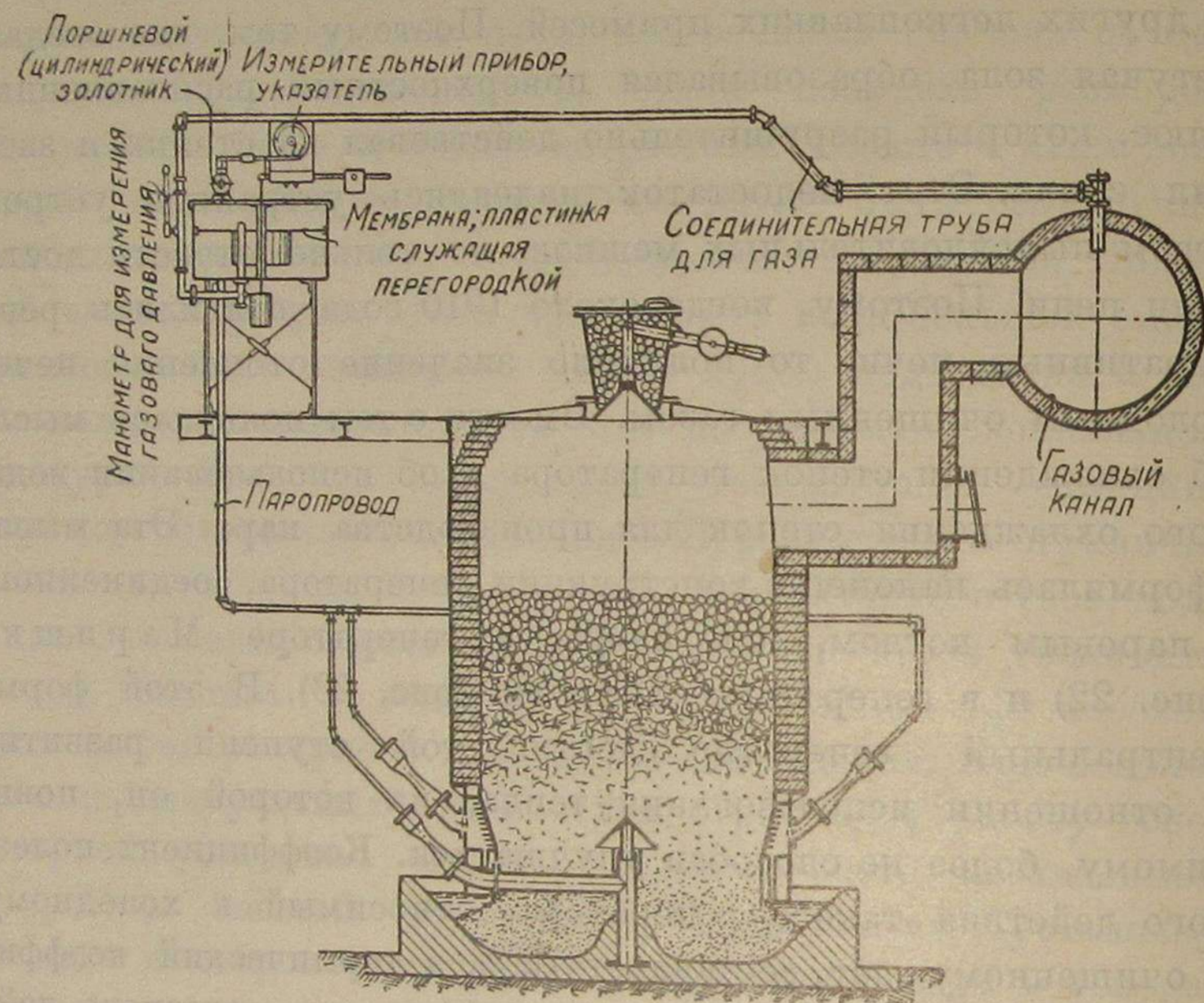


Рис. 31.

ной трубе в газовый канал. Измерительный прибор непрерывно показывает давление газа и пара. Регулятором пользуются, если генераторная установка питает вращающуюся печь для обжига извести.

II. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ

В эту группу газогенераторов обыкновенно включают генератор водяного газа, генератор двойного газа, генератор с получением побочных продуктов, кольцевой генератор.

Генератор водяного газа

Производство водяного газа в настоящее время ведется в генераторе Дельвик-Флейшера (Dellwick-Fleischer). Слой топлива в этом генераторе не высок, около 1,2 м. Если

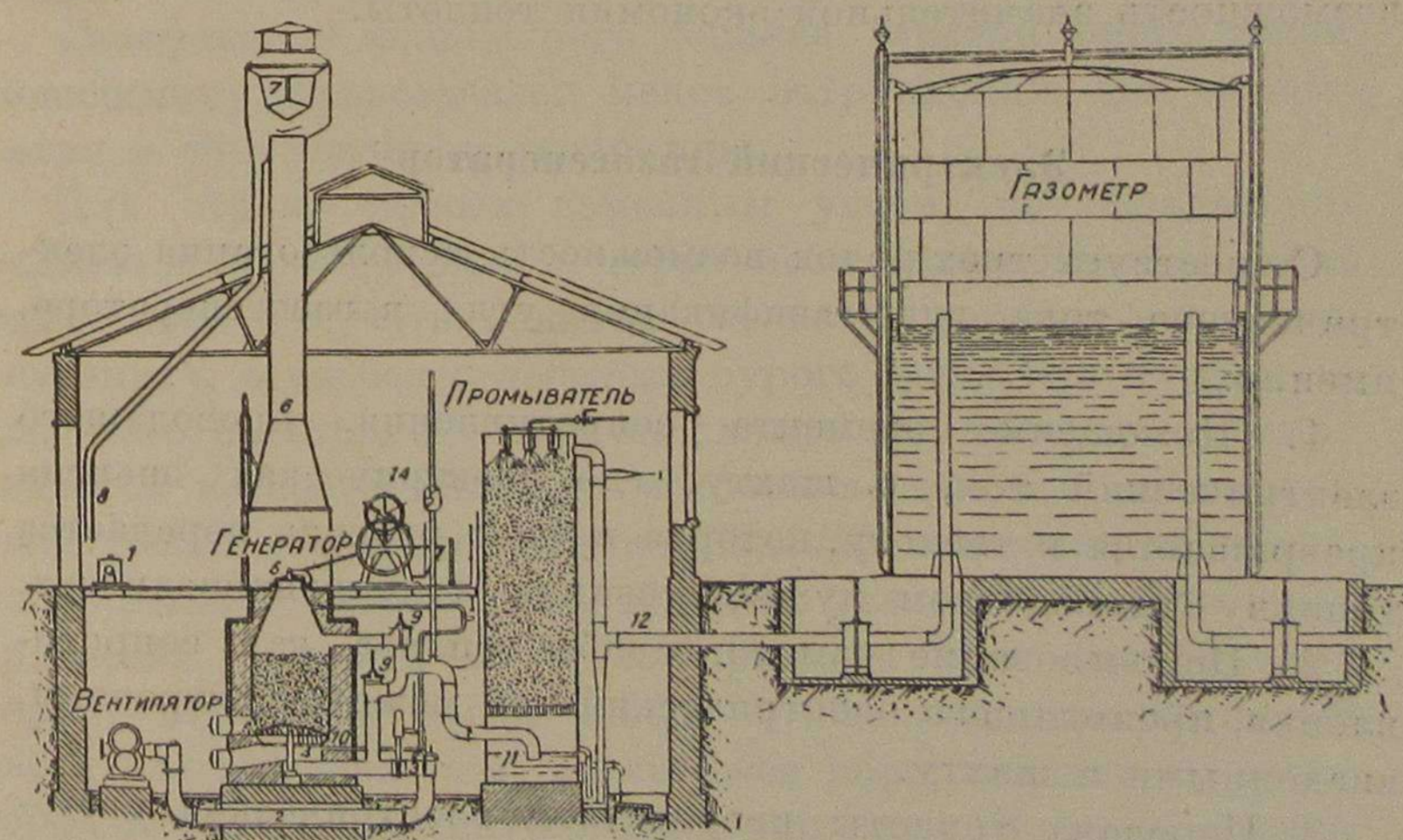


Рис. 32.

вдувается сильно сжатый воздух, то кислород его достигает верхнего слоя топлива. Через короткое время (1,5—2 минуты) масса кокса или антрацита накаливается до бела.

При этом воздушном дутье получается газ, содержащий 17% CO_2 , 8% CO , 75% N_2 . Этот газ выпускается по трубе в атмосферу. Воздух в генератор подводится снизу посредством трубки с многочисленными отверстиями. Когда достигнуто белое каление кокса, приток воздуха прекращается, и начинается продувка паром, которая длится 8—10 минут. Для поддержания равномерной температуры в верхней и нижней части слоя топлива пар продувается попеременно сверху и снизу генератора.

Таким способом получают с 1 кг кокса 2 м³ водяного газа, содержащего 4—5% CO_2 и около 4% N_2 (остальное H_2 и CO). Рисунок 32 дает схему такой установки.

В области производства водяного газа в настоящее время большой интерес приобретает в Соединенных Штатах Северной Америки способ встречного течения (Back-run process). При этом пар вводится в генератор из перегревателя сверху вниз, а горячий газ, идущий из генератора, подводится к перегревателю снизу вверх. Следовательно перегреватель здесь действует как регенератор. Таким образом дается возможность значительной экономии теплоты.

Электрический газогенератор¹

Существует трех родов возможность использования электрического тока для газификации угля в газогенераторе, именно:

1. Помещение элемента сопротивления, проводящего электрический ток, в шахту, где электрическая энергия превращается в теплоту, которая в свою очередь передается топливу посредством лучеиспускания и теплопроводности.

2. Использование самого столба топлива как сопротивления, проводящего электрический ток между электродами, введенными в шахту.

3. Передача теплоты посредством электрической световой дуги, которая производится между угольными электродами, помещенными в шахту газогенератора.

Насколько известно, однако, до сих пор нашел применение только второй из названных способов. Электрический

¹ Braunkohle, 1922, № 14.

ток при этом непосредственно действует на уголь, который служит сопротивлением, проводящим ток; уголь и вообще внутренность шахты нагреваются до высокой температуры, которая повсеместно в шахте может быть установлена одинаковой, независимо от процессов, которые протекают в различных слоях топлива. Таким образом при производстве водяного газа дело обходится без чередования периодов „горячего“ и „холодного“ дутья.

Стасано (E. Stassano в Италии) на основании своих опытов с одним из сконструированных им электро-газогенераторов отмечает следующие его выгодные стороны:

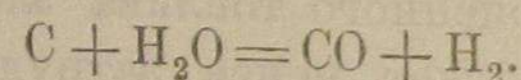
- a) переводение всего углерода топлива в окись углерода;
- b) полное разложение водяного пара с образованием окиси углерода и водорода;
- c) возможность сильного повышения теплосодержания получаемого газа поднятием его физической теплоты.

Водяной газ, получаемый в электро-газогенераторе, несомненно содержит много менее углекислоты и азота, чем получаемый обычно.

Газификация малоценного топлива электрическим током, повидимому, представляет менее затруднений, чем газификация в обыкновенном генераторе.

Для стран, бедных каменным углем, но обладающих залежами бурого угля или торфа, несомненно было бы очень желательно получать водяной газ не из дорогих кокса или антрацита, а из более дешевых бурого угля или торфа. Но для этого необходимо было бы сильно подсушивать топливо теплотой из более дешевого источника, чем сам электрический ток. В настоящее время в Швеции применяется способ непрерывного производства водяного газа при помощи электричества, который особенно пригоден для газификации торфа. Генератор имеет шахту с ответвлением в нижней части для выпуска газа; он снабжен воронкой для загрузки торфа и трубой для впуска пара или воды. В стенки шахты вделаны электроды, соединенные с источником тока. Для затопливания поверх электродов помещается кокс и потом уже загружается торф. Влажность торфа может достигать 50%. После замыкания цепи слой кокса между электродами накаляется. При этом и лежащий над ним торф нагревается посредством лучеиспускания и теплопроводности. Торф под-

сушивается и коксуется, а получившийся торфяной кокс газифицируется потом водяным паром. Водяной пар и продукты сухой перегонки принуждены протекать чрез раскаленный слой кокса, при чем пар переводится в водяной газ. Смолистые части продуктов сухой перегонки в большей части разлагаются на газы. Газы дестилляционный и водяной выходят по газоотводу в нижней части шахты и текут по газопроводу. Слой кокса при этом постепенно расходуется, но вместе с тем сверху постепенно опускается в зону газификации образующийся при сухой перегонке торфяной кокс, который и подвергается действию водяного пара. Таким образом водяной пар и газы топливной колонны текут из более холодных в слой более горячие, следовательно, сверху вниз. Стасано дает следующий тепловой расчет для производства электрическим путем 1 м^3 водяного газа при полном, практически, разложении водяного пара и переведении его в CO и H_2 : 1 м^3 водяного газа содержит 500 л CO и 500 л H_2 , предполагая, что образование водяного газа протекает по уравнению



Если считать объем грамм-молекулы при 0° и 760 мм равным $22,32 \text{ л}$ то для CO и H_2 придется по

$$\frac{500}{22,32} = 22,4 \text{ молекулярных объема.}$$

Для образования их необходимо

$$22,4 \times 18 = 403,2 \text{ г воды}$$

и

$$22,4 \times 12 = 268,8 \text{ г углерода.}$$

Но $268,8 \text{ г}$ углерода соответствуют

$$\frac{268,8}{0,84} = 320 \text{ г кокса,}$$

содержащего 84% C .

Для переведения $22,4$ грамм-молекул воды в пар необходимо затратить

$$22,4 \times 10,8 = 242 \text{ кал.}$$

Для нагревания $22,4$ грамм-молекул водяного пара до 1000° (температура реакции) требуется

$$22,4 \times 10,98 = 247 \text{ кал.}$$

Для нагревания 320 г кокса до 1000° необходимо подвести

$$0,320 \times 0,4 \times 1000 = 128 \text{ кал.}$$

Для разложения $22,4$ грамм-молекул водяного пара и образования $22,4$ молекулярных объема H_2 и $22,4$ молекулярных объема CO надо дать

$$(58,2 - 29,45) \times 22,4 = 644 \text{ кал.}$$

Итак, для 1 м^3 водяного газа расходуют 1261 кал .

Так как теоретически нагревательное действие 1 kWh соответствует 864 кал , то для покрытия расхода теплоты для производства 1 м^3 водяного газа следует израсходовать электрической энергии

$$\frac{1261}{864 \times 0,80} = 1842 \text{ kWh,}$$

если считать коэффициент полезного действия динамомашин равным 80% .

При сжигании газа у выхода из газогенератора, следовательно при температуре газа 1000° , при температуре воздуха 0° , получают 3163 кал , именно:

теплота горения	}	CO $22,4 \times 68,2 = 1527 \text{ кал}$
		H_2 $22,4 \times 58,2 = 1303 \text{ "}$
физическая теплота газа (при 1000°)		$44,8 \times 7,43 = 332,86 \text{ "}$
		<hr/>
		Итого 3163 кал.

Отсюда теоретическая температура горения оказывается равной 2070° .

При прямом сжигании 320 кг кокса с 50% избытком воздуха получили бы 2187 кал и температуру горения 1500°.

При переведении кокса в воздушный газ с температурой при выходе 650° и сжигании с 10% избытком воздуха получают теоретическую температуру горения 1660°, при теплотворной способности газа 2114 кал.

Электрическая газификация топлива дает значительные выгоды при отоплении печей, идущих очень горячо, но, конечно, при низкой стоимости электрического тока. Следовательно электро-газогенератор применим только там, где имеется большой запас энергии падающей и текущей воды.

Генератор двойного газа

Генератор двойного газа Штрахе (Strache) состоит из двух частей. В верхней части, которая представляет из себя внутреннюю реторту, уголь подвергается сухой перегонке. Образовавшийся здесь кокс опускается в нижнюю часть, на колосниковую решетку. Здесь кокс действием водяного пара переводится в водяной газ. С этой целью в нижнюю часть генератора попеременно вдуваются воздух (горячее дутье) и пар (холодное дутье). При вдувании воздуха происходят отходящие газы, которые еще горючи, так как содержат окись углерода. Их применяют для обогрева внутренней реторты, сжигая в отопительных каналах, которые окружают эту реторту. Но при вдувании водяного пара выпуск отходящих газов прекращается. Образующийся здесь горячий водяной газ проходит сквозь слой угля во внутренней реторте и способствует полной сухой перегонке этого угля. Таким образом образуется газ, который состоит из газов сухой перегонки и водяного газа. Его называют двойным газом.

Теплотворная способность двойного газа значительно выше теплотворной способности водяного газа.

Производство двойного газа имеет ту выгоду, что дает возможность самое разнообразное топливо превращать в газ с теплотворной способностью от 3200 до 3500 кал. Этот поразительный факт объясняется тем обстоятельством, что главной составной частью двойного газа является водяной газ, происходящий из твердого углерода топлива.

Если сравнить, например, каменный уголь, который содержит 55% твердого углерода и при сухой перегонке дает из 100 кг 30 м³ светильного газа с теплотворной способностью 5000 кал/м³, с бурым углем, который содержит 35% твердого углерода и дает из 100 кг 25 м³ светильного газа с теплотворной способностью 4500 кал/м³, то окажется для каждой 100 кг:

$$\begin{array}{r} 55 \times 2 = 110 \text{ м}^3 \text{ водяного газа с } 2700 \text{ кал/м}^3 = 297\,000 \text{ кал.} \\ 30 \text{ „ светильного „ „ } 5\,000 \text{ кал/м}^3 = 150\,000 \text{ „} \\ \hline \text{вместе } 140 \text{ м}^3 \text{ двойного газа с } 447\,000 \text{ кал.} \end{array}$$

Следовательно 1 м³ двойного газа из этого каменного угля содержит

$$\frac{447\,000}{140} = 3\,193 \text{ кал.}$$

$$\begin{array}{r} 35 \times 2 = 70 \text{ м}^3 \text{ водяного газа с } 2700 \text{ кал/м}^3 = 189\,000 \text{ кал} \\ 25 \text{ „ светильного „ „ } 4\,500 \text{ кал/м}^3 = 112\,500 \text{ „} \\ \hline \text{вместе } 95 \text{ м}^3 \text{ двойного газа с } 301\,500 \text{ кал.} \end{array}$$

Следовательно 1 м³ двойного газа из этого бурого угля содержит

$$\frac{301\,500}{95} = 3\,173 \text{ кал}^1.$$

Генератор двойного газа представлен на рис. 33.

Процесс водяного газа происходит здесь в нижней части А собственно генератора. Это пространство перед пуском генератора наполняют коксом и продувают воздухом, который входит через дутьевой вентиль. Происходящий генераторный газ отводится между стенками шахты и стенками внутренней реторты, наполненной битуминозным топливом. Его физическая теплота служит для обогрева этой перегонной реторты и способствует сухой перегонке топлива. В конструкции генератора двойного газа, которая первоначально была дана профессором Г. Штрахе, получаемый в период горячего дутья генераторный газ сжигался здесь

¹ А. Breisig. Gas- und Wasserfach, 1922, тетрадь 32, а также Strache. Montanistische Rundschau, 1918, №№ 8 и 9.

и таким образом служил для обогрева перегонной реторты не только своей физической, но и связанной теплотой. Из промежуточного пространства воздушный газ через открытый промежуточный клапан проводится в перегреватель. Здесь он сжигается со вторичным воздухом, который вдувается сюда по трубе без особого клапана из главной дутьевой трубы, и продукты горения уходят через клапан в дымовую трубу. Между перегревателем и клапаном для

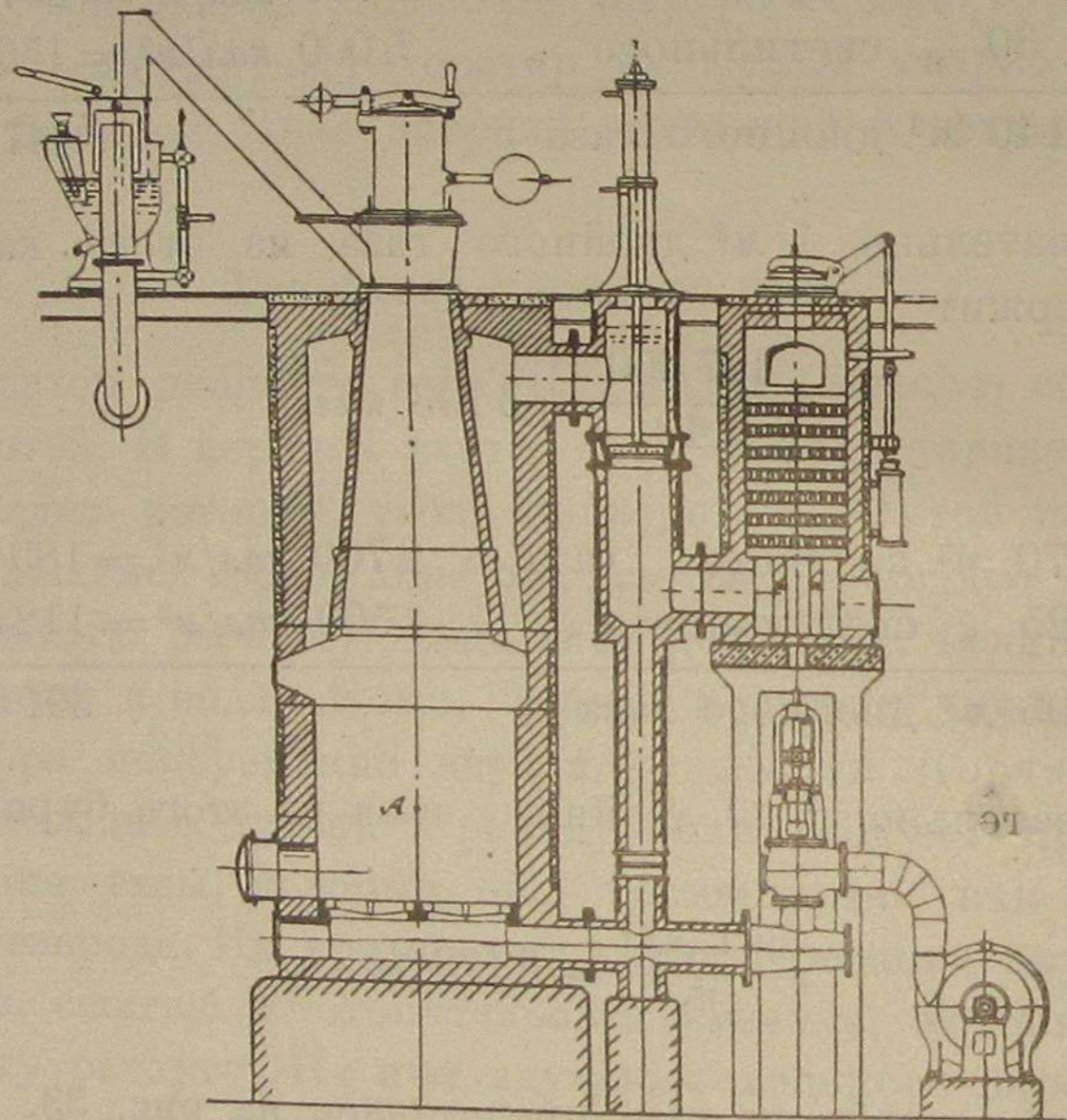


Рис. 33.

отходящего газа можно поместить парообразователь для производства водяного пара, необходимого для процесса водяного газа. При воздушном дутье соответствующий клапан держат закрытым, чтобы не пропускать воздушный газ через зону сухой перегонки в трубу для двойного газа. Но есть патентное приспособление, которое позволяет этот клапан держать открытым настолько, чтобы получать продукты сухой перегонки, происходящие в перегонной реторте в период горячего дутья. Правильная установка этого приспособления контролируется пробой пламени.

В период продувания паром общие клапаны переставляются, и пар вводится в перегреватель. Когда он по

трубе достигает в нижнюю часть генератора, то образуется водяной газ, который горячим поднимается отсюда в зону сухой перегонки, где перегоняется битуминозное топливо. Кокс из перегонной реторты опускается в реакционную зону А, смесь водяного газа с продуктами сухой перегонки, называемая двойным газом, проходит в сборную трубу. При этом она должна испытать погружение.

Перестановка всех клапанов обыкновенно производится гидравлически одной рукояткой.

В последние десятилетия минувшего века в газовой промышленности произошло под натиском электрического света оживление. Гениальное изобретение Ауера (Auer) сделало ее независимой от светящей силы газа. Теперь стали каменноугольный газ смешивать с водяным газом. В короткое время почти все большие газовые заводы воспользовались выгодой, которую дает добавочная генераторная установка водяного газа. Но голубой водяной газ стоил, если отнести к 1000 кал, обыкновенно дороже, чем каменноугольный газ современной установки, если не падали цены на кокс. Поэтому применение на газовом заводе установки двойного газа, повидимому, сильно удешевило производство, так как дало возможность смешивать каменноугольный газ с высокоценным двойным газом, получаемым путем газификации малоценного топлива.

Генератор с получением смолы

Посмотрим теперь, каким образом приспособить уже имеющийся газогенератор к работе с отъемом первичной смолы. Известно, что смола низкой температуры получается сухой перегонкой топлива при температуре не выше 500°. Это требование выполняет сначала всякий генератор, но только продукты, полученные при температуре до 500° идут потом в горячие зоны и подвергаются там вторичным изменениям. Чтобы сохранить продукты сухой перегонки от разрушения, необходимо повысить слой топлива так, чтобы сухая перегонка происходила в верхнем поясе топливной колонны, достаточно удаленной от пояса газификации. При этом продукты сухой перегонки следует отводить из верхнего пояса топлива таким образом, чтобы они

не подвергались действию всей массы горячего генераторного газа. Естественно, что необходимое количество горячего генераторного газа колеблется в зависимости от влажности топлива. Если газифицируют каменный уголь с небольшим содержанием воды, то для сухой перегонки необходимо провести только около $\frac{1}{4}$ производимого горячего газа сквозь зону сухой перегонки. При более высоком содержании воды используют для этой цели около $\frac{1}{3}$ всего генераторного газа. Только при влажности топлива в 30% и более необходимо применять весь горячий генераторный газ¹.

Из сказанного легко видеть, что при работе с малоценным топливом, например с торфом, никакого изменения в устройстве генератора не требуется, так как для сухой перегонки этого свежего топлива требуется все количество горячего генераторного газа. Большое количество воды, которое должно быть испарено в этом случае в верхнем поясе топливной колонны, настолько понижает здесь температуру, что сами собой создаются условия, вполне благоприятные для получения смолы низкой температуры. Но если газифицируется высокоценное топливо (каменный уголь, торфяной или буроголистый брикет), то переустройство генератора неизбежно, так как здесь для сухой перегонки используется только часть горячего газа. Приспособление генератора может быть выполнено двумя способами; или надставкой в виде перегонной реторты над шахтой генератора или устройством внутренней перегонной реторты. Устройство надставной реторты дешевле и кроме того увеличивает емкость генератора, но оно имеет и свои неудобства, именно требует вторых мостков под бункером. Работа с двумя мостками в свою очередь затрудняет подачу топлива и вообще делает ход генератора менее надежным. Поэтому устройство внутренней перегонной реторты, пожалуй, целесообразнее. Иногда внутри этой реторты устраивают еще особого рода мешалку. Вращением мешалки куски топлива медленно двигаются и поворачиваются. Это в свою очередь устраняет местные перегревания и способствует хорошему выходу первичной смолы. Подача топлива при

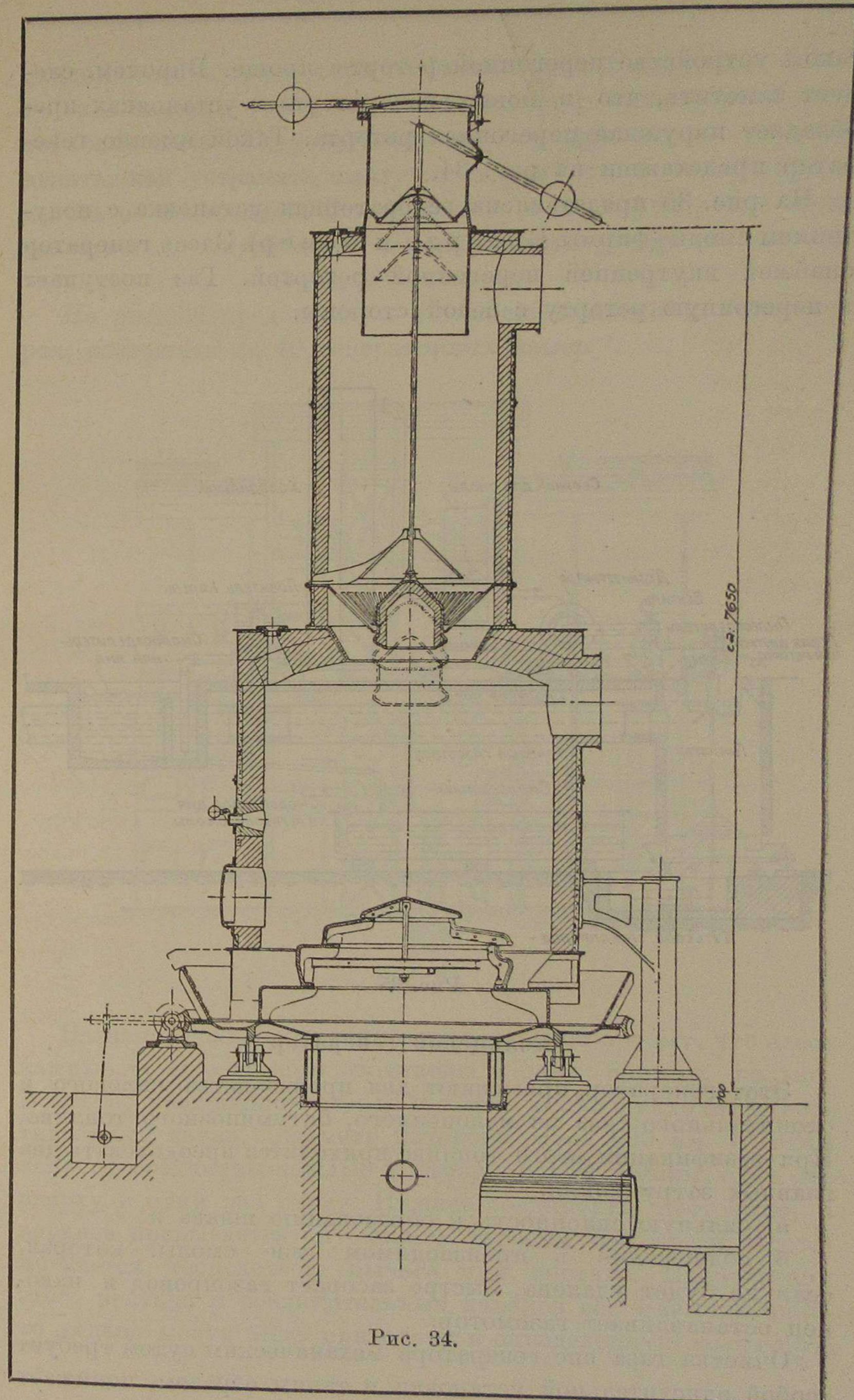


Рис. 34.

¹ А. Finkenmeier. Feuerungstechnik, 11, 187 (1923).

связь. Каждая из камер генератора вмещает 4 т топлива. Лежащий под камерой зольник в состоянии вместить около $\frac{3}{4}$ этого количества, ввиду того, что газифицируется топливо с большим содержанием золы. Колосниковая решетка между камерой и зольником совершенно отсутствует. Зольник устроен так высоко, что зола по подду, наклоненному под углом 45° , может непосредственно высыпаться в подставленную вагонетку. На высоте 250 мм над подом зольника и параллельно этому поду помещается колосниковая решетка с прозорами от 25 до 30 мм. В середине крышки камеры устроен „глазок“, закрывающийся шариком. Сквозь него можно наблюдать явления, происходящие в камере. Отверстие для отвода газа находится под крышкой генератора. Оно может закрываться газовой задвижкой. Против нижнего соединения камер со средним каналом устроены 2 шуровочных отверстия, чтобы иметь возможность удалять шлак, образующийся в зольнике при удалении золы. Под этими шуровочными отверстиями находятся 3 канала, каждый диаметром 30 мм, которые расположены рядом. Эти каналы дают возможность увлажнять все поперечное сечение камеры из паропровода.

Снаружи стенки генераторной установки окружены кожухом из листового железа, а также изолированы слоем воздуха и слоем дурного проводника теплоты. Внутри эти стенки сложены из огнеупорного материала.

Так как установка предназначена для производства отопительного и силового газа, то вдоль стены установки проводят два железных трубопровода. По одному из них идет отопительный газ для котельной установки, расположенной в расстоянии около 15 м; по другому — силовой газ к газомотору, находящемуся в стороне на расстоянии около 70 м. Каждая камера генератора может быть соединена, смотря по надобности, то с тем, то с другим трубопроводом.

Работа кольцевого генератора распадается на две стадии: на сухую перегонку и газификацию. Нагревание и воспламенение топлива в камере генератора производится теплотой из трех источников:

а) теплотой раскаленных стенок камеры, вследствие происшедшего в ней перед загрузкой топлива процесса газификации;

в) теплотой раскаленной золы, еще находящейся в зольнике;

с) теплотой соседних камер.

В крышку среднего канала вделано паровое сопло. Водяной пар, вдуваемый в камеру, где происходит сухая перегонка, создает в ней разрежение до 30 мм водяного столба. Продукты сухой перегонки, вода и легко летучие смолы, поступают, смешавшись с водяным паром из парового дутья, по среднему каналу вниз и отводятся в нижнюю часть зоны горения трех других камер, уже находящихся в процессе газификации. Здесь они вместе с воздушным и газовым потоком проходят зону горения, переводятся в постоянные газы и входят в состав производимого генераторного газа, который из этих камер отсасывается. Вдуваемый пар, с одной стороны, облегчает процесс сухой перегонки, а с другой — участвует в процессе водяного газа. Добавление водяного пара выгодно еще в том отношении, что часть теплоты, которая освобождается в зоне горения, переводится в связанную энергию водяного газа. В результате понижается физическая теплота отходящего генераторного газа. Это обстоятельство особенно важно для того случая, когда генераторный газ используется в холодном состоянии, например в газомоторе, следовательно когда большая часть его физической теплоты теряется. Газификация производится воздухом, который поступает под колосниковую решетку. Проходя слой золы, этот воздух способствует выгоранию горючих частей золы и входит в зону горения в подогретом состоянии. Все это вместе способствует более совершенному использованию топлива.

Продолжительность обработки одной загрузки в камеру колеблется в пределах от 24 до 50 часов. Время сухой перегонки составляет около $\frac{1}{4}$ всего времени. При правильной работе окончание сухой перегонки совпадает с окончанием газификации в самой „старой“ камере. Таким образом в процессе газификации находятся в одном кольце всегда три камеры, а четвертая всегда работает на сухую перегонку. Но при уменьшении расхода газа можно одну или две камеры из находящихся в газификации перевести на сухую перегонку и поставить перед четвертой, которая будет находиться в процессе газификации. Как видим, генераторная установка

может приспособляться к меняющимся требованиям производства.

Состав топлива бывает очень разнообразен: это топливные битуминозные отбросы, битуминозный сланец, бурый уголь и т. п. Большое содержание в таком топливе легкоплавкой золы, которое делает невозможным его сжигание на колосниковой решетке, образует затруднение и при его газификации, которое преодолевает кольцевой генератор.

Относительно образования шлака вообще следует заметить, что оно должно регулироваться постольку, поскольку это необходимо, чтобы иметь правильный ход генератора и равномерный состав производимого газа.

Поэтому в кольцевом генераторе назначенная для устранения шлака камера внизу открыта, вверху находится под разрежением и во время опораживания вообще не используется для производства газа.

Кроме того температуру в генераторе приспособляют к устранению образования шлака впрыскиванием в камеру воды, введением в нее пара по среднему каналу и поддержанием разрежения в трубе, отводящей газ. Так как шлак имеет довольно низкую температуру плавления ($900-950^{\circ}$), которая несколько ниже температуры, самой благоприятной для генераторного процесса (1000°), то эту температуру следует выбирать таким образом, чтобы сделать возможным устранение шлака без больших затруднений.

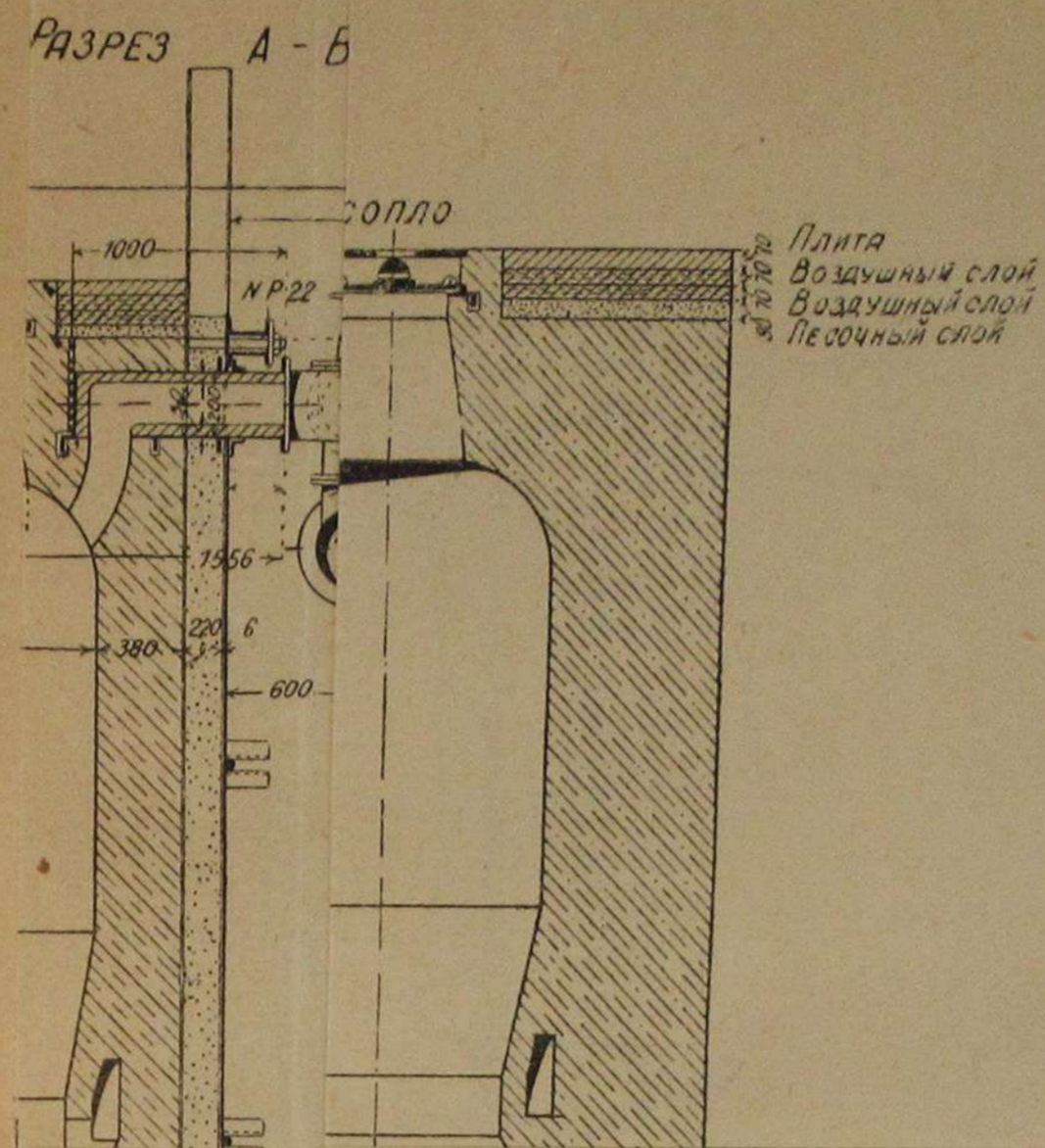
Средний состав газа, производимого в кольцевом генераторе, можно принять следующим:

$11-12\%$ CO_2 ; $0,2-0,3\%$ O_2 ; $9-10\%$ CO ; $2-3\%$ CH_4 ; $18-22\%$ H_2 и $53-56\%$ N_2 .

Теплотворная способность его составляет около $1000-1100$ кал.

Отопительный газ при выходе из камеры генератора имеет температуру около 500° . Температура в камерах газификации составляет $1200-1500^{\circ}$.

Уход за установкой удобен и всегда возможен, так как генератор во всех стадиях работы находится под разрежением. Необходимые работы, именно, загрузка топлива, удаление золы и т. д., производятся без всякого влияния на ход генератора.



Зольниковая задвижка, колосниковые отверстия, засыпные отверстия могут быть раскрыты, как требуется ходом работы. Газ и воздух, входящие в средний канал во время загрузки топлива и удаления шлака, не имеют никакого вредного влияния на камеры, находящиеся в газификации.

Опытами был установлен состав газа из камер одного кольца в таком виде:

ПРИ НОРМАЛЬНОМ ПОТРЕБЛЕНИИ ПАРА

Камера N	Время работы в часах	CO ₂ %	O ₂ %	CO %	CH ₄ %	H ₂ %	N ₂ %	Кал.
I Сухая перегонка . . .	2	10	3,2	9,2	3,7	21,9	52,0	—
II Газификация	10	13,1	0,2	8,7	4,3	24,1	49,6	1 250
III „	19	13,1	0,4	7,3	4,1	16,7	58,4	1 001
IV „	26	14,6	—	8,6	2,3	25,0	49,5	1 101
Средний II, III и IV		13,6	0,2	8,2	3,6	21,9	52,5	1 117

ПРИ УМЕНЬШЕННОМ ПОТРЕБЛЕНИИ ПАРА

Камера N	Время работы в часах	CO ₂ %	O ₂ %	CO %	CH ₄ %	H ₂ %	N ₂ %	Кал.
I Сухая перегонка . . .	4	9,2	1,1	8,4	3,3	19,0	59,0	—
II Газификация	11	10,0	0,1	15,8	2,2	12,3	59,6	985
III „	21	8,9	—	15,1	3,2	16,1	56,7	1 147
IV „	23	5,8	—	23,7	1,6	14,9	54,0	1 242
Средний II, III и IV		8,2	—	18,2	2,3	14,4	56,7	1 124

ПРИ УВЕЛИЧЕННОМ ПОТРЕБЛЕНИИ ПАРА

Камера N	Время работы в часах	CO ₂ %	O ₂ %	CO %	CH ₄ %	H ₂ %	N ₂ %	Кал
I Сухая перегонка . . .	4	10,2	1,2	10,6	2,8	19,2	56	—
II газификация	8	14,6	0,7	7,1	3,2	21,8	52,6	1 049
III „	20	16,6	0,2	4,8	6,1	20,1	52,2	1 182
IV „	29	15,0	0,3	8,7	2,6	18,8	54,6	970
Средний II, III и IV		15,4	0,4	5,9	4,0	20,2	53,1	1 067

Различие газа трех камер газификации одного кольца находит объяснение в различном содержании углерода в топливе и в различной плотности топлива. Видим, что при уменьшенном потреблении пара содержание углекислоты в газе уменьшается. Но замечено, что образование шлака в этом случае увеличивается. При увеличенном потреблении пара содержание углекислоты в газе увеличивается. Но образования шлака при этом почти не наблюдается.

Вопрос о газификации малоценного битуминозного топлива особенно важен для Москвы, так как подмосковный уголь обладает, как известно, неприятными свойствами, именно большим содержанием воды и золы. Применение кольцевого генератора для газификации этого угля могло бы дать, по видимому, хорошие результаты.

Описанный выше кольцевой генератор представлен на рис. 37.

III. ТЕОРИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА ¹

Общие соображения

В сущности известны два пути для экономического использования топлива, дающего твердый углерод (каменные и бурые угли, торф, дерево). Одним путем используется только теплота, которая содержится в топливе, сжигаемом по возможности без остатка до золы. Другим путем из топлива получают ценные сами по себе продукты, каковы смола, аммиак и др., а для целей теплового хозяйства пользуются только остатком. Следовательно второй путь возможен только для битуминозного топлива, которое при нагревании выделяет большое количество летучих составных частей, состоящих из паров и газов.

Переведение твердого топлива в газообразную форму выполняется двумя способами: сухой перегонкой и газификацией. Под сухой перегонкой подразумевают разложение топлива при нагревании без доступа воздуха. Она производится в ретортах и камерных печах посредством нагревания снаружи, как это в большом масштабе наблюдаем на газовых заводах и коксовальнях. Под газификацией топлива, напротив, понимают неполное сжигание топлива, следовательно сжигание топлива при недостатке воздуха. При этом получается газ, который в свою очередь может быть использован как топливо.

Сухой перегонке могут подвергаться самые разнообразные органические вещества. Под действием теплоты они разрушаются с выделением паров и газов, при чем в остатке получают кокс, смешанный с золой. Из газов и паров, получаемых при сухой перегонке, добывают посредством охла-

¹ Н. v. Jüptner, Feuerungstechnik, 1924, тетради 3 и 4.

ждения, промывания и очистки известный всем светильный газ, далее смолу, аммиак и некоторые другие вещества. В ретортах и печах остается твердый углерод и зола. Этот твердый остаток известен под именем газового кокса. Газ, кокс и смола в свою очередь являются источниками теплоты и следовательно могут применяться в качестве топлива. Получаемый при сухой перегонке топлива аммиак находит применение для различных целей. Впрочем, как топливо он совершенно непригоден. Сернистый аммоний находит применение как удобрительное средство в сельском хозяйстве. Но в последнее время получение аммиака при сухой перегонке топлива потеряло прежнее значение, так как аммиак стали изготовлять на специальных заводах синтетически, из составных элементов. Поэтому при экономическом использовании топлива главное значение имеет получение горючих газов, кокса и смолы.

Количество теплоты, которое содержится в этих продуктах, может быть названо полезной теплотой сухой перегонки, дальнейшее использование которой связано с новыми потерями. Теплотворную способность каменного угля прием равной 7 200 кал на кг, теплотворную способность каменноугольного газа — 5 700 кал на м³, кокса 7 000 кал на кг и смолы 8 700 кал на кг. Из 100 кг каменного угля получают при сухой перегонке 28 м³ каменноугольного газа, 56 кг кокса и 5 кг смолы. Поэтому $100 \times 7\,200 = 720\,000$ кал, которые содержатся в 100 кг данного угля, распределяются так: в газе $28 \times 5\,700 = 159\,600$ кал, или 22,2%; в коксе $56 \times 7\,000 = 392\,000$ кал, или 54,4% и в смоле $5 \times 8\,700 = 43\,500$ кал, или 5,9%. Видим, что в продуктах сухой перегонки содержится только 595 100 кал, или около 82,6%. Так что при сухой перегонке угля теряется в самом процессе около 17% теплоты, содержащейся в угле.

При переведении твердого топлива в газообразное состояние путем сухой перегонки в газ переходит только меньшая часть углерода топлива, а большая часть получается в виде кокса. Поэтому сухая перегонка топлива уместна только там, где для получаемого кокса имеется выгодный сбыт. Использование топлива посредством газификации отличается тем, что при этом весь углерод его без остатка переводится в газ. В остатке получают только золу и шлак. Превращение кокса

в горючий газ производят или действием кислорода воздуха, или действием водяного пара, или одновременным действием воздуха и водяного пара. В настоящее время в одном и том же аппарате топливо подсушивают, потом подвергают сухой перегонке и наконец газифицируют образовавшийся кокс. Такая газификация производится в газогенераторах, в которых твердое топливо, опускаясь сверху, достигает постепенно более горячих слоев и подвергается сухой перегонке, в то время как снизу вдувается воздух или водяной пар или оба вместе, которые производят превращение кокса в окись углерода и водород. Горячие газы в этом случае проходят по генератору снизу вверх и выполняют таким образом постепенное нагревание топлива и его медленную сухую перегонку.

Работами различных исследователей, прежде всего А. Пикте, а в последнее время исследованиями, выполненными под руководством Франца Фишера в Германии, выяснено, что смола, которую получают очень медленным и умеренным нагреванием топлива, существенно отличается по составу от смолы, получаемой на газовых заводах и коксовальнях. Ее стали называть первичной смолой, или смолой низкой температуры. Найдено было, что из первичной смолы можно получить ряд ценных веществ, которых нельзя получить из обыкновенной каменноугольной смолы. Обнаружен был нефтеподобный характер этих веществ. Поэтому их стали применять для тех же целей, как и производные нефти. Кроме того выход смолы, получаемой при так называемой низкой температуре (не выше 500°), раза в 2—3 превышает выход газовой или коксовой смолы.

Уже довольно давно получил практическое значение факт, что в присутствии избыточного водяного пара и при не слишком высокой температуре азот угля может быть получен почти сполна в форме аммиака, в то время как при обычной сухой перегонке угля на газовых заводах и коксовальнях азот угля извлекают не вполне, так как значительная часть его остается в коксе.

Первая газогенераторная установка с получением аммиака была устроена инженером Мондом в Англии. Монд исходил из того основания, что аммиак может быть получен вполне только тогда, когда температура в генераторе низка,

потому что иначе аммиак разрушается. Поддержание низкой температуры требует введения в генератор большого количества пара. Для понижения температуры воздух вдувают в генератор навстречу горячему газу. Остаток физической теплоты газа воспринимается промывной водой в промывателе. Промывная вода потом служит для увлажнения воздушного дутья. Окончательно аммиак извлекается из газа серной кислотой в последней промывной башне. Недостатком установки Монда является то, что она сложна. Кроме того низкая температура и большой избыток водяного пара способствуют развитию большого количества углекислоты, которая понижает теплотворную способность газа и увеличивает его балласт. Кроме способа Монда в последнее время появился ряд других способов получения побочных продуктов при газификации. Однако все эти генераторы с получением побочных продуктов не нашли пока широкого применения в практике.

Нельзя не упомянуть при этом, что хотя побочные продукты генераторного процесса производятся более совершенным образом, чем при обыкновенной сухой перегонке в газовых ретортах или коксовых печах, но извлечение их из генераторного газа значительно труднее, чем из дестилляционных газов. Дело в том, что из 100 кг угля получают от 250 до 350 м³ генераторного газа, смотря по качеству угля. Весь аммиак и смоляные пары находятся в этом большом количестве газа, при чем смоляные пары отчасти взвешены в форме капелек, отчасти растворены в газе в форме паров. Следовательно для выделения смолы необходимы большие аппараты и сильное охлаждение генераторного газа, если только намерены получить из такого большого объема самые легкие составные части смолы, которые являются самыми ценными.

Газификация кислородом воздуха (воздушный газ)

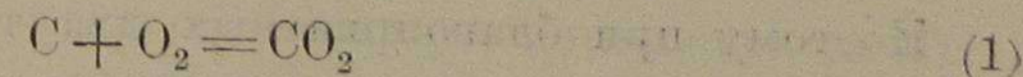
Процесс горения в генераторе протекает в таком порядке. Углерод сгорает с кислородом вдуваемого воздуха в углекислоту с выделением большого количества теплоты. Чем выше потом будет лежать слой топлива в топливной колонне, тем выше становится температура и тем богаче будет газ

углекислотою и беднее кислородом. Наконец будет такой пояс, в котором господствует самая высокая температура и находится газ, совершенно не содержащий кислорода. Ле Шателье называет его „поясом совершенного горения углерода“. Поднимаясь выше этого пояса, углекислота вступает в реакцию восстановления в окись углерода, а количество ее в газе убывает. Вместе с тем температура в топливной колонне понижается. Наконец, в некотором поясе последние молекулы углекислоты восстановятся в окись углерода. С этого места прекращаются всякие химические изменения и обусловленные ими колебания температуры. Зона, лежащая между этой конечной плоскостью реакции и упомянутой выше начальной плоскостью реакции, называется „зоной горения“. Зона горения разделяется плоскостью совершенного сгорания на нижнюю часть с окислительной атмосферой и на верхнюю часть с атмосферой восстановительной. Высота зоны горения бывает очень различна и зависит в главных чертах от следующих причин:

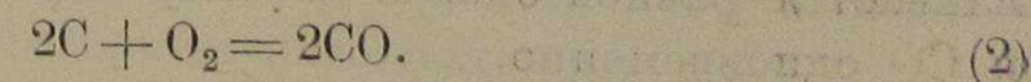
- 1) от размеров и конструкции генератора, а также от свойства строительного материала;
- 2) от скорости течения воздуха в топливном столбе, от его температуры, влажности и от содержания в нем кислорода (если воздух обогащен);
- 3) от реакционной способности¹ кокса, его пористости и величины кусков.

Должна быть возможность получать в генераторе определенную температуру с наименьшей затратой кокса.

Самым простым случаем газификации является газификация чистого углерода свободным кислородом. При этом могут быть две реакции:



и



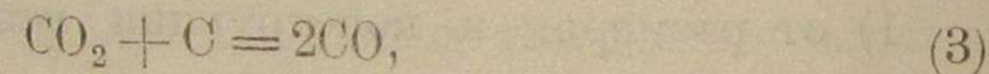
В обоих случаях освобождается теплота, т.-е. процесс сопровождается повышением температуры, но количество освобождающейся теплоты бывает различно, смотря по тому,

¹ Реакционной способностью кокса называют его способность восстанавливать действующую на углекислоту. См. подробно А. Согевааг. Stahl und Eisen, 1923 г. стр. 430 и 948.

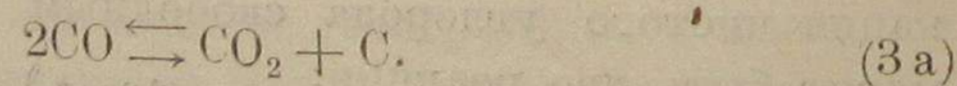
какая из модификаций углерода сжигается. Именно, оно равняется при сгорании в CO_2 :

	1 грамм-атом (12 г) С		1 кг С	
Алмаз	94,3	кал	7 859	кал
Графит	94,8	"	7 900	"
Аморфный углерод . .	97,6	"	8 080	"

Необходимо отметить, что при сгорании углерода в свободном кислороде при всяких обстоятельствах, следовательно и при высокой температуре, сначала образуется углекислота, потому что этот процесс совершается простым приложением молекулы O_2 к одному атому С. Окись же углерода может произойти только при расщеплении O_2 , следовательно при затрате работы и в определенный промежуток времени¹. Вследствие этого на месте горения происходит высокая температура. Но если образовавшаяся таким образом углекислота соприкасается при достаточно высокой температуре с углеродом, то наступает реакция



в которой для каждой молекулы CO_2 — 68,3 кал или для каждого килограмма твердого углерода, вступающего в действие, потребляется 5 655 кал теплоты, следовательно должно произойти значительное охлаждение. Таким образом в генераторе при встрече кислорода с углем сначала образуется CO_2 , по (1). Углекислота, поднимаясь в угольном слое, превращается в CO по (3). Но реакция (3) обратима, т.-е. она при подходящих условиях может протекать в обратном смысле:



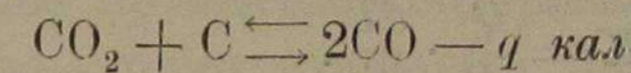
Поэтому при благоприятных для того условиях устанавливается равновесие, т.-е. генераторный газ содержит CO_2 и CO одновременно.

Так как углекислота представляет собою газ, сгоревший вполне, то при газификации необходимо вести процесс таким образом, чтобы получать как можно более CO и как можно менее CO_2 . Хотя равновесие между С, CO и CO_2

¹ Н. v. Jüptner. Technik und Reaktionsgeschwindigkeit, Feuerungstechnik, 1924.

практически никогда вполне не достигается, однако необходимо научиться узнавать те условия, которые соответствуют составу равновесия, потому что эти условия представляют собой идеальный предельный случай. Они дают возможность правильно судить о ходе генератора.

Прежде всего уравнение



учит нас, что образованию окиси углерода благоприятствуют уменьшающееся давление и повышающаяся температура. Следовательно генераторный газ будет содержать тем более CO , чем ниже давление и чем выше температура в генераторе¹.

Скорости приведенной выше реакции при течении слева направо V_1 и справа налево V_2 выражаются уравнениями:

$$\begin{aligned} V_1 &= K_1 \cdot (C_{\text{CO}_2}), \\ V_2 &= K_2 \cdot (C_{\text{CO}})^2, \end{aligned}$$

где K_1 и K_2 — соответствующие скоростные коэффициенты, C_{CO_2} и C_{CO} — концентрации углекислоты и окиси углерода.

Равновесие наступает, если V_1 становится равной V_2 , т.-е. если становится

$$\frac{(C_{\text{CO}})^2}{(C_{\text{CO}_2})} = \frac{K_2}{K_1} = K. \quad (4)$$

Так как K_1 и K_2 для данной температуры имеют постоянное значение, то и K , так называемая константа равновесия, должно быть при тех же условиях постоянной величиной. Тогда уравнение (4) даст возможность найти вычислением состав газа в состоянии равновесия. Если это уравнение логарифмировать и обе части его помножить на RT , где R газовая константа уравнения состояния, а T соответствующая абсолютная температура, то получим, что

$$RT \cdot \ln K = RT \cdot (2 \ln C_{\text{CO}} - \ln C_{\text{CO}_2}). \quad (5)$$

Это уравнение выражает не что иное как внешнюю работу расширения или сжатия, которая производится при газифи-

¹ Так как реакция протекает с увеличением объема и поглощением теплоты.

кации, если процесс протекает изотермически, и очевидно должна покрываться тепловым эффектом реакции. Вместе с тем имеем по второму закону термодинамики, что

$$\frac{Q \cdot dT}{T} = RT \cdot d \sum n \cdot \ln C = RT \cdot d \ln K, \quad (6)$$

или

$$d \ln K = \frac{Q}{R} \cdot \frac{dT}{T^2}. \quad (6a)$$

Последнее уравнение представляет собою известное уравнение Вант-Гофа. Чтобы вычислить из него K , надо подставить в него тепловой эффект $Q = f(T)^1$, найденный по закону Киргофа при постоянном объеме или при постоянном давлении, смотря по тому, выражаем ли мы концентрации в молекулярных объемах (C) или в парциальных давлениях (p). Для равновесия системы CO_2 , CO и C (аморфный углерод) получим следующий состав газа, если будем производить газификацию только посредством кислорода:

Давление дутья	1 атм		2 атм		4 атм	
	CO	CO ₂	CO	CO ₂	CO	CO ₂
Температура	Объемные проценты					
227° = 500° <i>abc</i> . . .	0,004	99,996	0,0 028	99,9972	0,002	99,998
327° = 600° " . . .	0,123	99,877	0,0 870	99,9130	0,001	99,939
427° = 700° " . . .	1,427	98,573	1,0 110	98,9890	0,716	99,284
527° = 800° " . . .	8,794	91,206	6,3 030	96,6970	4,499	95,595
657° = 900° " . . .	32,542	67,458	28,8 090	79,1910	17,945	82,055
727° = 1 000° " . . .	70,350	29,650	58,7 050	42,2950	47,017	52,983
827° = 1 100° " . . .	92,750	7,250	87,1 980	12,820	78,897	21,013
927° = 1 200° " . . .	98,445	1,555	97,0 001	3,0000	94,315	5,685
1 027° = 1 300° " . . .	99,500	0,500	99,0 000	1,0000	98,67	1,330

¹ $Q = Q_0 + T(m \cdot c \text{ исч.} - m \cdot c \text{ происход.})$, где означают: Q_0 — тепловой эффект при абсолютном нуле, $m \cdot c$ — среднюю молекулярную теплоту между абсолютным нулем и T^0 для исчезающих и происходящих веществ. Для постоянного давления берут Q_p и $m \cdot c_p$, для постоянного объема Q_v и $m \cdot c_v$.

Эта таблица показывает, что разность давлений обуславливает очень заметные различия в содержании окиси углерода только при температурах от 300 до 800°. Точно так же состав генераторного газа очень незначительно изменяется и с возрастанием температуры, если температура перешла за 900°.

Если K_T константа равновесия при T^0 , а (CO_2) и (CO) означают объемное процентное содержание обоих этих газов в смеси, если сумма присутствующих молекул $\text{CO}_2 + \text{CO} = 1$, число молекул $\text{CO} = x$, общее давление обоих газов = P , то, по Р. Шенку, имеем:

$$K_T = \frac{x^2}{1-x} \cdot P. \quad (7)$$

Отсюда давление при равновесии системы

$$P = K_T \cdot \frac{1-x}{x^2}. \quad (7a)$$

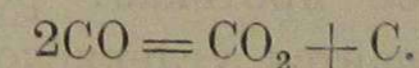
Это уравнение представляет собой кривую, которая для нашего случая имеет значение только в части, лежащей между $x=0$ и $x=1$ ¹.

Касательная к этой кривой выражается уравнением:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{x^2 - 2x}{x^4} \cdot K = \frac{x-2}{x^3} \cdot K, \quad (7b)$$

т.е. угол наклона кривой к оси x делается тем менее, чем более становится содержание CO .

Шенк допускает и распад CO по уравнению:



При этом начальное давление CO (если присутствует только CO) он обозначает P_0 . Если вследствие диссоциации распалось $1-x$ молей, следовательно осталось еще не разложено x молей CO , и если парциальное давление нераз-

¹ Это уравнение даст для различных значений x следующие значения P :

$$\begin{array}{cccccc} x=0 & P=\infty & x=0,3 & P=7,778 K & x=0,6 & P=1,111 \\ =0,1 & =90 K & =0,4 & =3,75 K & =0,7 & =0,682 \\ =0,2 & =20 K & =0,5 & =2,00 K & =0,8 & =0,3125 \end{array}$$

ложенной части CO обозначить p , а общее давление смеси обоих газов обозначить P , то получим, что

$$p = P_0 - 2(P_0 - P) = 2P - P_0.$$

Но так как парциальное давление оставшейся части CO очевидно должно быть $p = xP$, то

$$P_0 = (2 - x)P. \quad (8)$$

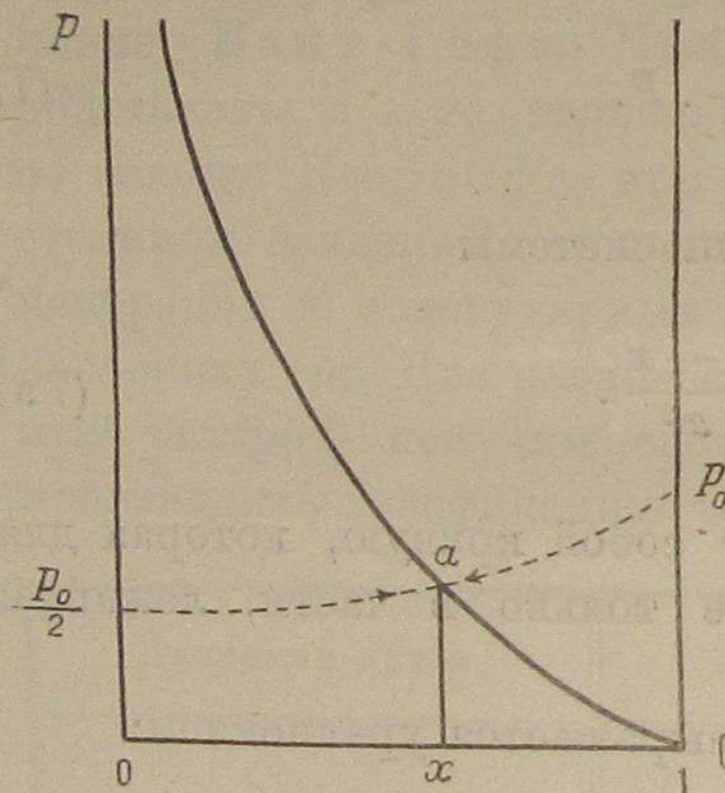


Рис. 38.

Это уравнение Шенк называют путем реакции. Оно выражает гиперболу, пересекающую кривую давления равновесия в точке a , в которой реакция должна остановиться (на рис. 38 путь реакции выражается отрезком $P_0 \frac{P_0}{2}$).

Еще нагляднее получим путь реакции, если будем исходить из CO_2 , которая прежде всего образуется в генераторе под влиянием кислорода и парциальное давление которой P_0 , предполагая, что горение окончено вполне, должно быть так же велико, как и давление кислорода при входе в генератор. Пусть число молей образовавшейся в генераторе $\text{CO}_2 = 1$ и далее протекает реакция $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$, при чем в CO превращается углекислоты $y \leq 1$ моля. Можем написать, следовательно, что

$$\frac{2y \text{ моля } \text{CO} \text{ с давлением } [\text{CO}] = 2y \cdot P_0}{1 - y \text{ " } \text{CO}_2 \text{ " " } [\text{CO}_2] = (1 - y) \cdot P_0} \quad (9)$$

в сумме $1 + y$ моля $\text{CO} + \text{CO}_2$ с давлением $P = (1 + y) \cdot P_0$.

Это уравнение для общего давления представляет (рис. 39) отрезок прямой между точками P_0 и $2P_0$, тогда как прямые $P_0 y$ и $0,2P_0$ дают парциальные давления CO_2 и CO в различных фазах реакции.

После подстановки полученных величин в выражение для константы K найдем, что

$$K = \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]} = \frac{4y^2}{1-y} \cdot P_0 = \frac{4y^2}{1-y} \cdot \frac{P}{1+y} = \frac{4y^2}{1-y^2} \cdot P,$$

или

$$P = \frac{1-y^2}{4y^2} \cdot K. \quad (10)$$

Это также уравнение третьей степени, но кривая, соответствующая этому уравнению, имеет более острое искривление, чем предыдущие¹. Рис. 40 представляет кривые нескольких путей реакции согласно этому уравнению.

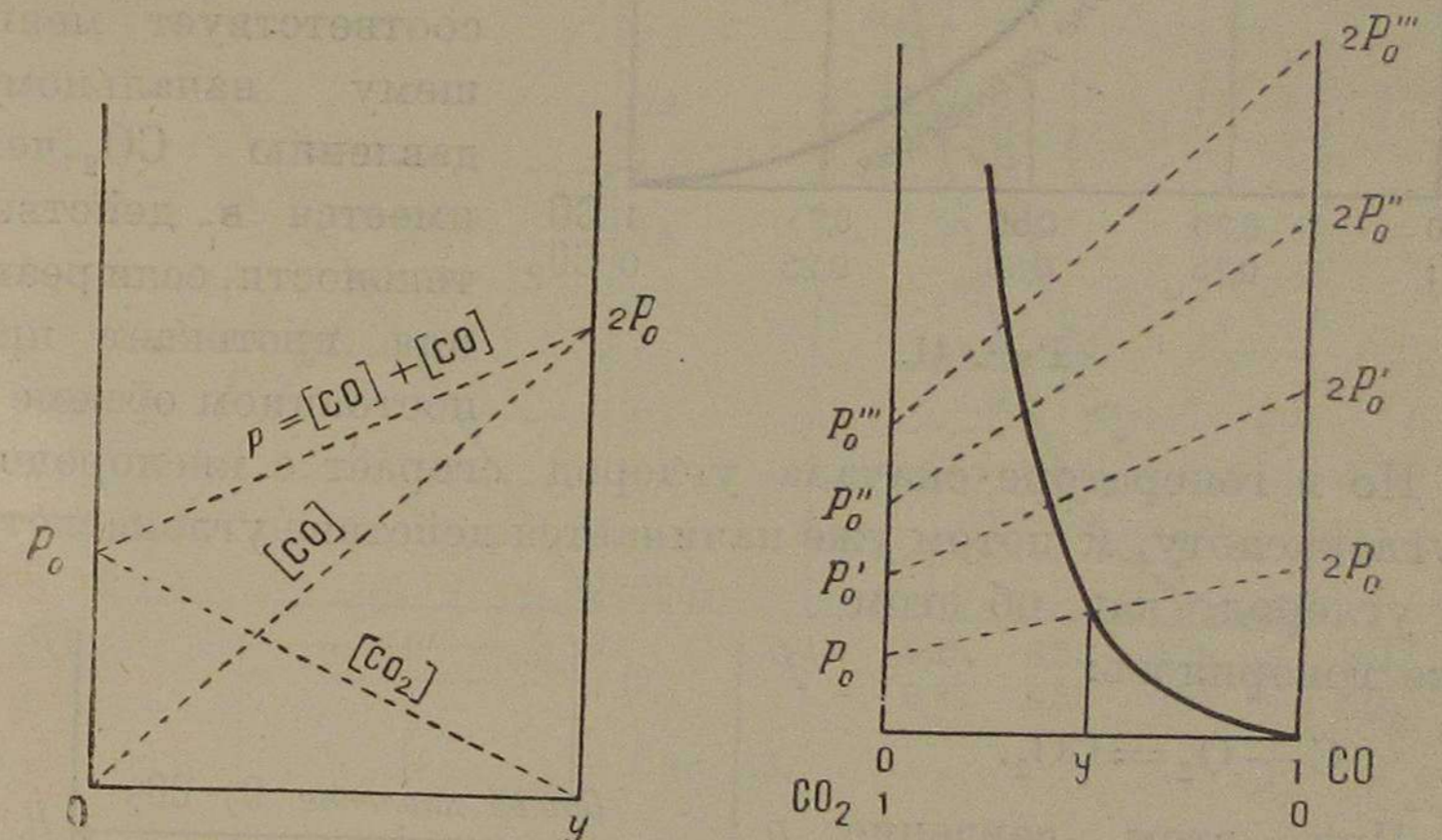


Рис. 39.

Рис. 40.

Но приведенные выше рассуждения имеют значение только для того случая, когда весь процесс газификации проводится при постоянном объеме. В генераторе же, по крайней мере приблизительно, господствует постоянное давление. Поэтому пути нашей реакции необходимо изображать горизонтальными прямыми линиями. Таким образом мы приходим к диаграмме, представленной на рис. 41. На этой диаграмме

¹ Для различных значений y получают следующие значения P :

$$\begin{aligned} y=0 & P=\infty & y=0,3 & P=2,528 K & y=0,6 & P=0,444 K & y=0,9 & P=0,0586 K \\ & =0,1=28,75 K & =0,4 & =1,3125 K & =0,7 & =0,260 K \\ & =0,2=6,0 K & =0,5 & =0,750 K & =0,8 & =0,1406 K & =1,0 & =0. \end{aligned}$$

путь реакции при постоянном объеме пересекает кривую давления равновесия в точке *a*, а путь реакции при постоянном давлении пересекает эту кривую в точке *b*; другими словами, работая при постоянном давлении, получают генераторный газ, более богатый СО, чем при постоянном объеме.

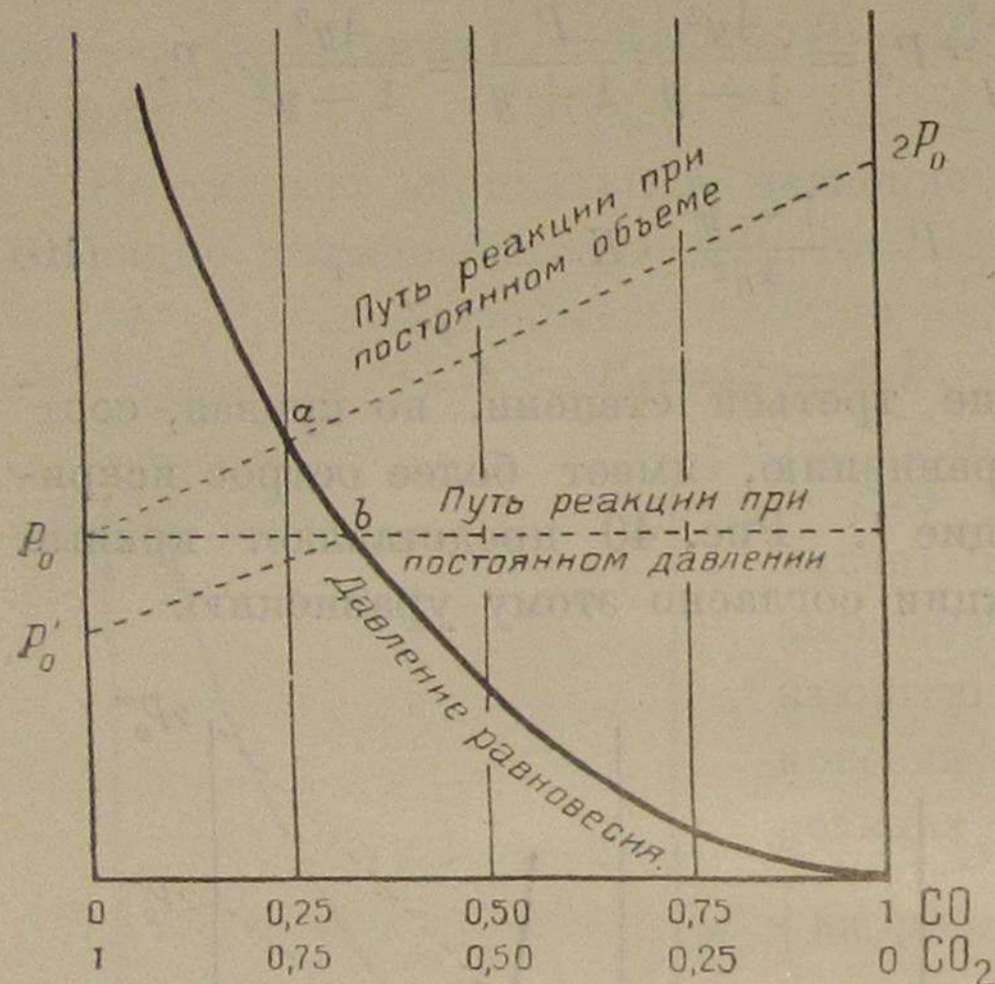
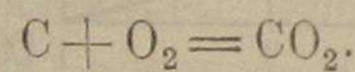


Рис. 41.

Состав генераторного газа при этом соответствует меньшему начальному давлению CO_2 , чем имеется в действительности, если реакция протекает при постоянном объеме¹.

Но в генераторе сначала углерод сгорает с кислородом в углекислоту, и потом уже начинается действие углекислоты на углерод, как об этом уже говорилось:



При этом давление остается без изменения (рис. 42).

С того мгновения, как начинает образовываться CO_2 , она вступает во взаимодействие с углеродом и восстанавливается им до СО.

Этот процесс будет протекать тем быстрее,

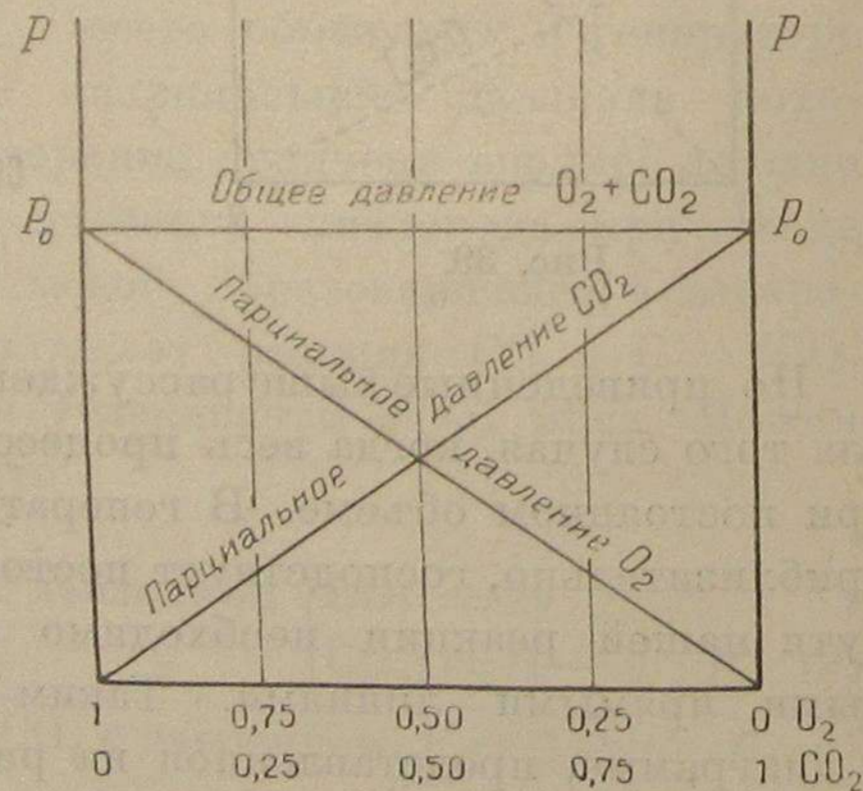


Рис. 42.

¹ Здесь следует иметь в виду, что все пути реакции при постоянном объеме должны пересекаться в одной точке, лежащей на оси абсцисс.

чем более углекислоты образуется при первичном сгорании, так что количество углекислоты и свободного углерода в газовой смеси непрерывно будет уменьшаться, а количество СО увеличиваться. И если скорость горения угля в CO_2 более, чем скорость восстановления CO_2 , то процесс протекает нормально, именно, так как здесь описано. Наоборот, если скорость восстановления CO_2 более, чем скорость первичного горения, то и СО будет сжигаться свободным кислородом:

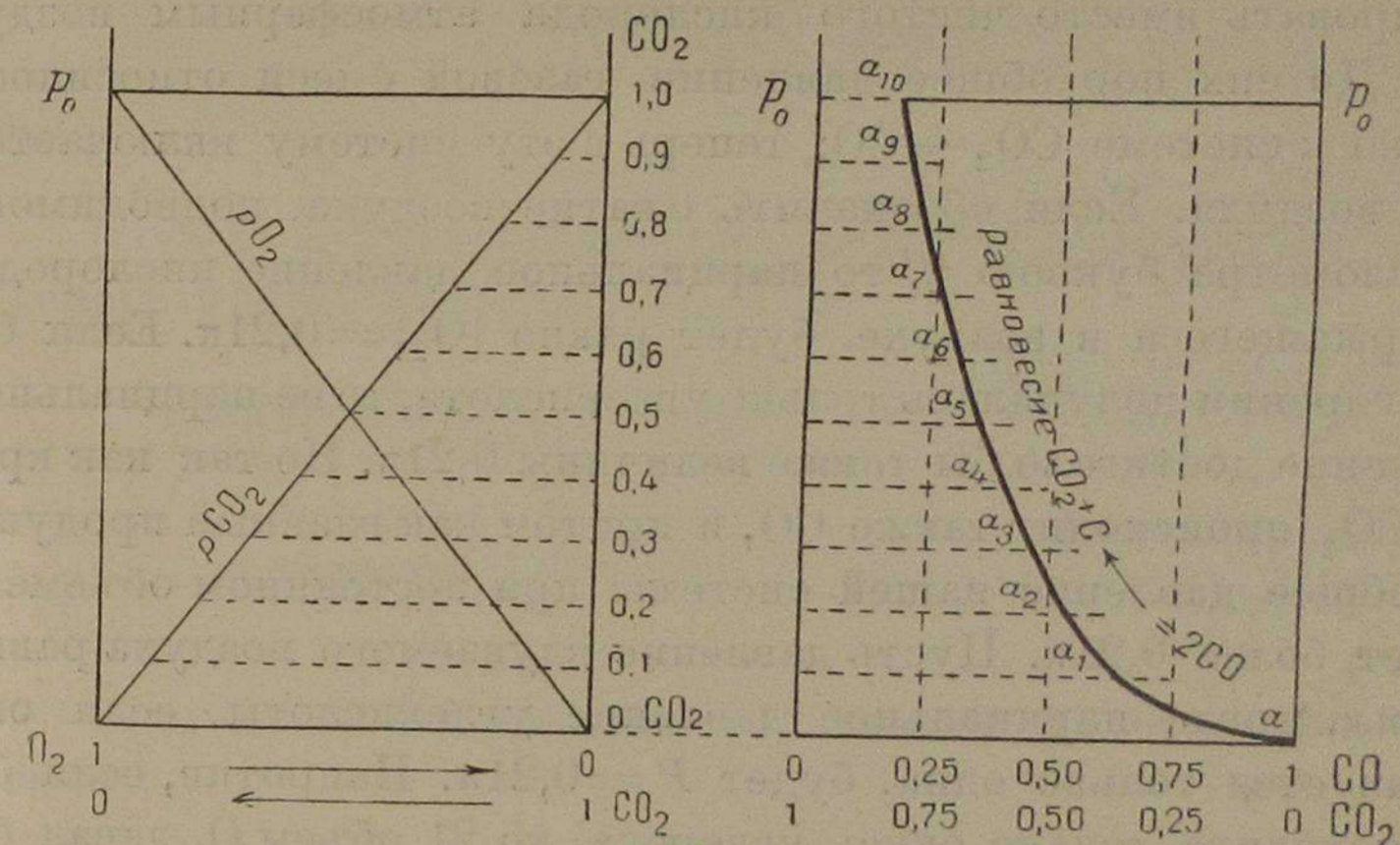
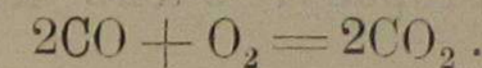


Рис. 43.

Образовавшаяся таким образом CO_2 в свою очередь служит для сжигания С¹. Так как в первой стадии процесса газификации парциальное давление CO_2 вначале очень мало, то уже сначала установится² равновесие системы CO_2, CO, C (присутствие кислорода не принимается в расчет), соответствующее парциальному давлению имеющейся CO_2 . С увеличением содержания CO_2 и с возрастанием парциального

¹ СО, образовавшаяся восстановлением CO_2 , вновь окисляется до тех пор, пока имеется свободный кислород; но этот процесс не играет значительной роли.

² Если CO_2 отсутствует, то имеем, что $P_{CO_2} = 0$ и $P_{CO} = 0$, а поэтому $\frac{P_{CO_2}}{P_{CO}} = \frac{0}{0}$ представляет собою некоторое неопределенное число или $P = 0$, так что этому соответствует на диаграмме точка 0.

давления $\text{CO}_2 + \text{CO}$ это равновесие будет увеличиваться в направлении стрелки вдоль кривой равновесия (рис. 43).

Преыдушие рассуждения имеют значение, конечно, только при допущении, что температура газификации во всех частях генератора одинакова. Этого в действительности понятно не бывает, потому что эндотермическая реакция $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ должна вызывать понижение температуры в верхних слоях угольного столба, отчего равновесие сдвигается и при том в сторону, очень неблагоприятную для образования CO .

Не так просто складываются условия, если уголь газифицировать вместо чистого кислорода атмосферным воздухом. До сих пор общее давление газовой смеси относилось только к системе $\text{CO}_2 + \text{CO}$; теперь в эту систему включается азот воздуха. Если обозначить сжатие воздуха, подводимого из газометра буквою π , то парциальное давление кислорода, содержащегося в воздухе, будет равно $[\text{O}_2] = 0,21\pi$. Если бы при горении получалась только углекислота, то ее парциальное давление достигало бы также величины $0,21\pi$. Но так как кроме CO_2 происходит также CO , и притом как главный продукт, то общее давление нашей системы при постоянном объеме P будет более $0,21\pi$. Пусть давление вдуваемого воздуха равно 1 атм , тогда парциальное давление углекислоты, если она образуется только одна, будет $P = 0,21\pi$. Напротив, если бы происходила только окись углерода, то 21 объем O_2 давал бы 42 объема CO и кроме того еще 79 объемов N_2 . Так как общее давление генераторного газа должно быть $\pi = 1 \text{ атм}$, то давление смеси $\text{CO}_2 + \text{CO}$ (если все количество CO_2 переводится в CO) $P = \frac{42}{42 + 79} = 0,3471 \text{ атм}$. Поэтому сумма парциальных давлений $\text{CO}_2 + \text{CO}$ колеблется между пределами $0,21$ и $0,3471 \text{ атм}$.

Чтобы рассчитать состав газа для всякой величины P , следует исходить из состава сухого воздуха (21 объемный процент кислорода и 79 объемных процента азота). Если из 100 объемов воздуха с раскаленным углем образуется x объемов CO_2 , то оставшиеся $(0,21 - x)$ объема кислорода дают с углем $2(0,21 - x) = (0,42 - 2x)$ объема CO . Следовательно имеем после наступления равновесия:

Углекислоты	x объемов
Окиси углерода	$0,42 - 2x$ объемов
Азота	$0,79$ "
<hr/>	
Вместе	$(1,21 - x)$ объемов

Поэтому, если общее давление генераторного газа π , как предположили, равно 1 атм , то

$$P = \frac{x + 0,42 - 2x}{1,21 - x} = \frac{0,42 - x}{1,21 - x},$$

или

$$x = \frac{0,42 - 1,21 P}{1 - P}.$$

Отсюда легко определяется объемный процентный состав генераторного газа:

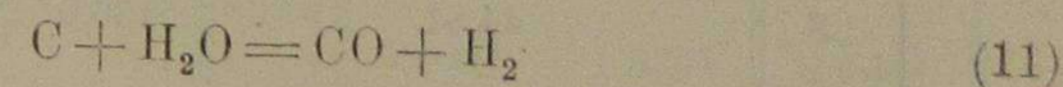
$$\text{количество } \text{CO}_2 = \frac{x}{1,21 - x} = \frac{0,42 - 1,21 P}{79},$$

$$\text{количество } \text{CO} = P - \frac{x}{1,21 - x} = \frac{2P - 0,42}{0,79}.$$

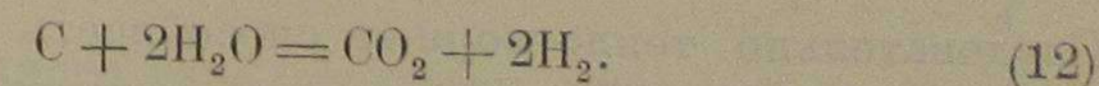
Практически состояния равновесия никогда не достигают.

Газификация водяным паром (водяной газ)

Как и при газификации кислородом воздуха, здесь также наблюдают две реакции одна возле другой:



и



Первая из них имеет перевес при высоких температурах, вторая при более низких. Таким образом получают газ, который в первом случае содержит 50% CO и 50% H_2 (следовательно 100% горючего газа), во втором случае $33,33\%$ CO_2 и $66,67\%$ H_2 (следовательно $66,67\%$ горючего газа). Теплотворная способность первого газа равна 68 кал на 1 моль ($22,42$ литра при 0° и 1 атм давления), второго

45,4 кал на 1 моль. Сравнивая оба эти предельные состава с предельным составом воздушного газа, видим:

№	Процесс	Состав газа в объемных процентах				Теплотворная способность газовой смеси (кал на 1 моль) при постоянном	
		H ₂	CO	CO ₂	N ₂	объеме	давлении
1	$C + \frac{1}{2} O_2 + 2N_2 = CO + 2N_2$ †	—	33 $\frac{1}{3}$	—	66 $\frac{2}{3}$	22,6	22,9
2	$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$. . .	66 $\frac{2}{3}$	—	33 $\frac{1}{3}$	—	46,4	45,5
3	$C + H_2O = CO + H_2$	50	50	—	—	68,0	68,5

Эта таблица особенно пригодна для сравнения качеств газов, потому что они относятся к равным газовым объемам. Поэтому, если намерены судить об использовании угля, то также должны относить свое суждение к одинаковым количествам газифицируемого угля (следовательно к одинаковым объемам CO + CO₂):

№	12 г углерода дают литров газа	Теплота горения газов при постоянном	
		объеме	давлении
1	67,26	67,8 кал	68,7 кал
2	67,26	136,2 „	139,5 „
3	44,84	136,0 „	137,9 „

Следовательно теплотворная способность водяного газа будет во всяком случае много выше теплотворной способности идеального воздушного газа. При том же водяной газ содержит негорючих составных частей много менее, чем идеальный воздушный газ.

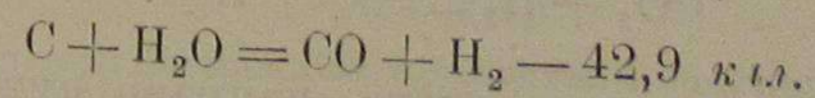
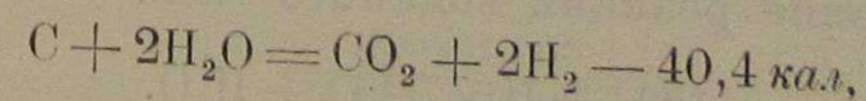
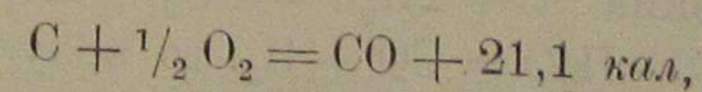
Чтобы дополнить сделанное выше сравнение, укажем еще для этих трех газов теоретическое количество воздуха

† Для простоты примем в составе воздуха 20% (вместо 20,8) кислорода и 80% (вместо 79,2) азота.

для каждых 22,42 литра и теоретическую температуру горения, т.-е. ту температуру, которая была бы достигнута при совершенном сгорании с теоретическим количеством воздуха:

	1	2	3	
Состав газа в объемных процентах	H ₂	—	66 $\frac{2}{3}$	50
	CO	33 $\frac{1}{3}$	—	50
	CO ₂	—	33 $\frac{1}{3}$	—
	N ₂	66 $\frac{2}{3}$	—	—
Теоретическое количество воздуха	O ₂	16 $\frac{1}{3}$	33 $\frac{1}{3}$	50
	N ₂	64 $\frac{2}{3}$	133 $\frac{2}{3}$	200
В сумме	71	167	250	
Горючие газы	33 $\frac{1}{3}$	66 $\frac{2}{3}$	100	
Индиферентные газы	131 $\frac{1}{3}$	166 $\frac{2}{3}$	200	
Продукты горения	H ₂ O	—	50	
	CO ₂	33 $\frac{1}{3}$	50	
	N ₂	133 $\frac{1}{3}$	200	
Теоретическая температура горения при постоянном давлении †	1500°	1873°	2040°	

Производство водяного газа по обоим уравнениям требует подведения теплоты, именно:



† Удельные теплоты газов взяты по Ле Шателье (Le Chatelier).

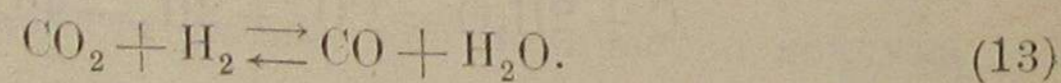
Таким образом имеем:

№	Процесс	Теплотворная способность газа в кал на 1 моль = 12 г С	Подводимое количество теплоты		Получаемое количество теплоты	
			в кал	в % теплотворной способности С (97,6 кал)	в кал	в % теплотворной способности С (97,6 кал)
1	$C + \frac{1}{2} O_2 + 2N_2 = CO + 2N_2$	+ 68,7 кал	- 21,1 кал	89,8 кал		
2	$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$	+ 139,5 „	+ 40,4 „	99,1 „		
3	$C + H_2O = CO + H_2$	+ 137,0 „	+ 42 „	94,1 „		

Но абсолютное получение теплоты в водяном газе, в противоположность генераторному газу, не велико и становится еще менее, если принять во внимание потери теплоты, которые неизбежно связаны с подведением в генератор необходимого количества теплоты. И преимущество водяного газа состоит не в получаемом количестве теплоты, а в том, что этот газ содержит меньшее количество негорючих частей (балласта), обладает более высокой теплотворной способностью и более высокой температурой горения. Поэтому он лучше может быть использован.

№	Процесс	Теплотворная способность газа на 1 моль С	
		в кал	в % теплотворной способности С (97,6 кал)
1	$C + \frac{1}{2} O_2 + 2N_2 = CO + 2N_2$	68,7	70,38
2	$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$	139,5	142,99
3	$C + H_2O = CO + H_2$	137	140,37

Если из уравнения $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$ отнять почленно уравнение $C + H_2O = CO + H_2$, то получим так называемое уравнение реакции водяного газа:

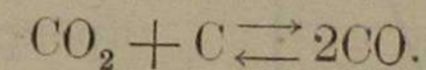


Эта реакция при течении слева направо нуждается в подведении теплоты, но она независима от давления, потому

что число молекул в обеих частях уравнения одно и то же. Константа K_1 равновесия этой реакции равна

$$K_1 = \frac{C_{CO} \cdot C_{H_2O}}{C_{CO_2} \cdot C_{H_2}}$$

Она показывает, что для каждой данной температуры отношению $\frac{CO}{CO_2}$ соответствует другое отношение $\frac{H_2O}{H_2}$, иными словами, что при каждой данной температуре возможно бесконечное число состояний равновесия. Но в действительности никак нельзя сказать, что состав равновесия не зависит от давления, потому что при производстве водяного газа исходят не из CO - и H_2O -пар, но из твердого углерода и водяного пара. Чтобы определить это влияние давления, рассмотрим реакцию, в которой принимает участие и твердый углерод. Таковую реакцию представляет из себя реакция равновесия генераторного газа:



С помощью константы равновесия этой реакции получают потом константу равновесия реакции водяного газа, относящуюся к объемным концентрациям, так как здесь речь идет об объемных отношениях:

t	k_I	t	k_I
400	0,066 098	1 200	2,5 246
600	0,32 418	1 400	3,4 761
800	0,85 381	1 600	4,3 943
1 000	1,6 183		

С помощью этих чисел находят потом состав водяного газа, соответствующий реакции водяного газа ¹. При этом

¹ Уравнение $CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$ имеет константу равновесия $k_I = \frac{(CO)^2}{(CO_2)}$; уравнение $H_2O + C \rightleftharpoons CO + H_2$ имеет константу равновесия $k_{II} = \frac{(CO)(H_2)}{(H_2O)}$, и уравнение $2H_2O + C \rightleftharpoons CO_2 + 2H_2$ имеет константу

$$k_{III} = \frac{(CO_2)(H_2)^2}{(H_2O)^2}. \text{ Интересно, что } \frac{k_I}{k_{II}} = \frac{(CO)(H_2O)}{(CO_2)(H_2)} = k_1, \frac{k_{II}}{k_{III}} = \frac{(CO)(H_2O)}{(CO_2)(H_2)} = k_1.$$

Следовательно все возможные процессы в генераторе в случае равновесия выражаются константами k_I и k_1 .

оказывается, что при более низкой температуре или при более высоком давлении пара содержание неразложенного водяного пара увеличивается в водяном газе. И естественно, что теплотворная способность его существенно повышается, если неразложенный пар конденсировать. При этом, конечно, теряется часть теплоты (физической) водяного газа, если она не будет использована для каких-нибудь целей, например для производства или перегрева пара.

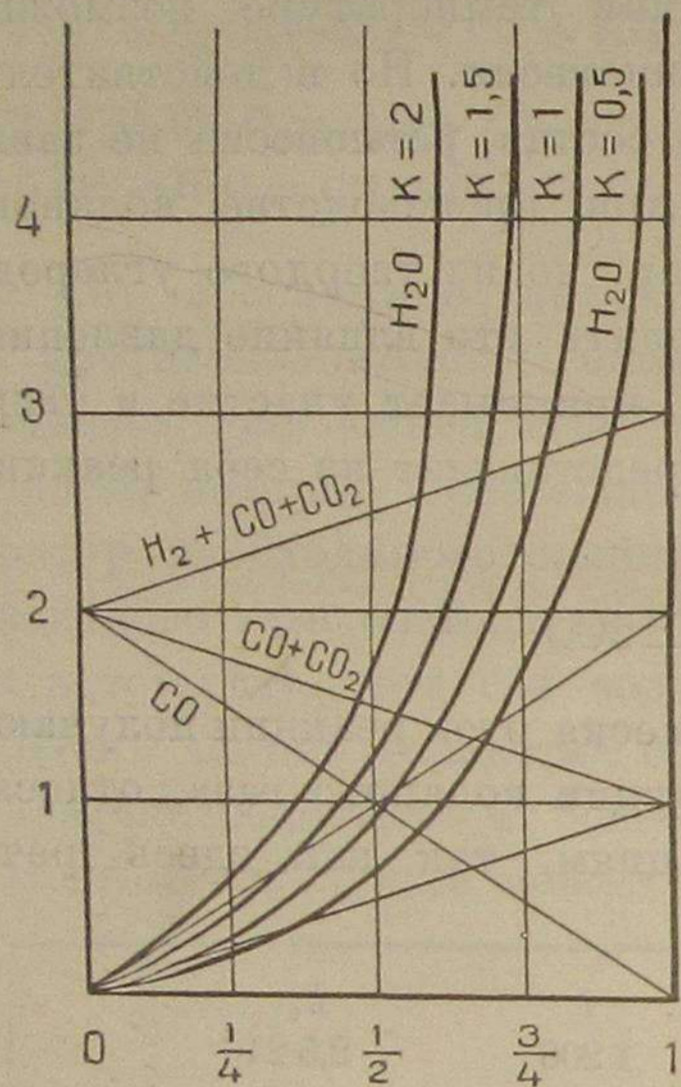
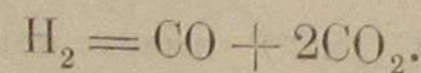


Рис. 44.

Отношение между давлением пара и составом водяного газа представлено графически на рис. 44. Здесь изображены кривые давления, соответствующего равновесию реакции $2\text{CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C}$. По оси абсцисс откладываются части превращающейся СО и образующейся CO_2 . Эти части отнесены к количеству CO_2 , которое происходит при полном превращении СО. По оси ординат отложены числа грамм-молекул (или парциальные давления и общее давление).

Так как при образовании водяного газа весь кислород берется из водяного пара, то должно быть равенство:



Количество (и парциальное давление) водорода, если образуется только СО, равняется количеству (и парциальному давлению) СО. Но если образуется только CO_2 , то оно вдвое более, чем количество (и парциальное давление) CO_2 . Вообще оно таково, как если бы первоначально образовывалась только СО и действовала на водяной пар, восстанавливая его. Количество неразложенного водяного пара,

находящееся после установления равновесия, получается из равновесия водяного газа:

$$K_1 = \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2} \cdot \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2} = \eta \cdot \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2},$$

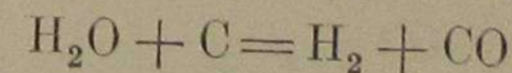
$$\text{H}_2\text{O} = K_1 \cdot \frac{\text{CO}_2}{\text{CO}} (\text{CO} + 2\text{CO}_2) = K_1 \left(\text{CO}_2 + \frac{2(\text{CO}_2)^2}{\text{CO}} \right).$$

Если допустить, что $\text{CO} + \text{CO}_2 = 1$, $K_1 = 0,5 = 1,0 = 1,5 = 2,0$, то получим следующие величины, обозначаемые на диаграмме кривой линией (рис. 44):

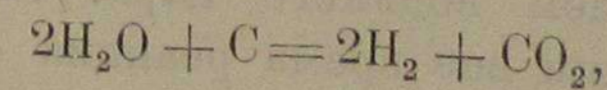
CO ₂	CO	$\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}} \cdot (\text{CO} + 2\text{CO}_2)$	H ₂ O, если K ₁ =			
			0,5	1,0	1,5	2,0
0	2	0	0	0	0	0
$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{5}{6}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	3
$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{21}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{4}$	8	$10\frac{1}{2}$
1	0	∞	∞	∞	∞	∞

Приведенные выше соображения относятся лишь к равновесию, обусловленному реакцией $\text{H}_2\text{O} + \text{CO} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{CO}_2$. О реакциях же, вообще протекающих при производстве водяного газа, имеется возможность заключить следующее:

Реакция

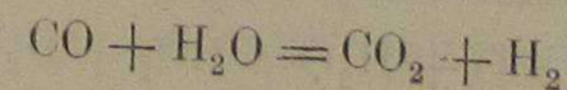


требует только встречи 1 молекулы водяного пара с 1 атомом углерода. Следовательно она совершается быстрее, чем реакция



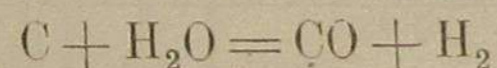
при которой должны встретиться с 1 атомом углерода две молекулы пара.

Реакция

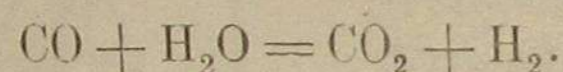


протекает точно также быстро, так как она обусловлена только встречей двух разнородных молекул. Как газовая реакция, она во всяком случае совершается быстрее, чем обе первые реакции, которые происходят между газом и твердым телом.

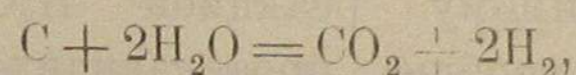
Эти заключения подтверждаются известными опытами Клемента и Адамса (J. K. Clement и L. H. Adams), хотя величины, найденные ими при более низких температурах, заметно колеблются. Именно, если вычислить на основании их опытов для различных температур и скоростей газа величины отношения $\eta = \frac{CO}{CO_2}$, то наблюдаемое уменьшение этих величин с возрастанием скорости газа будет говорить за предположение, что сначала образуется окись углерода по уравнению



и после превращается далее согласно реакции

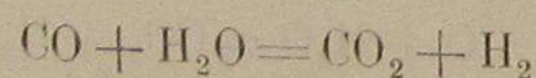


Наоборот, если наблюдается противоположный случай — η увеличивается с уменьшением скорости течения газа (как это, например, бывает при древесном угле и температуре 1200°), то несомненно правильна мысль, что первоначально образуется углекислота по уравнению



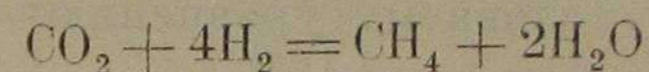
которая впоследствии должна снова превратиться с H_2 в $CO + H_2O$.

Но если кажется сомнительным, что газовая реакция $CO + H_2O = CO_2 + H_2$ протекает очень быстро, то вполне мыслимо, что CO , образуемая первично, немедленно превращается действием водяного пара. И при дальнейшем течении газификации все время реакция $H_2O + C = H_2 + CO$ совершается первично, только концентрация водяного пара теперь уже так сильно уменьшается (по крайней мере при достаточно высокой температуре), что реакция

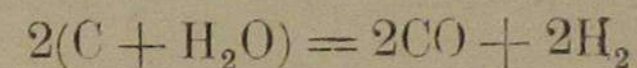


все более замедляется, так что величина отношения η снова поднимается.

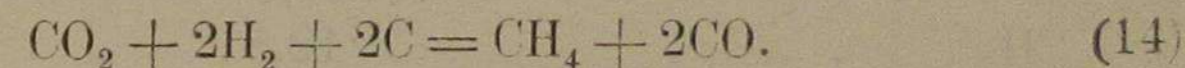
Кроме того опыты названных американских исследователей показывают, что вместе с водяным газом получается также метан, и тем в большем количестве, чем медленнее движется газовый поток. При этом возможно или одновременное появление двух реакций:



и



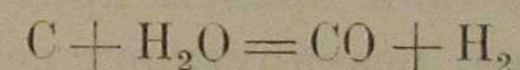
или одной реакции



Смешанный газ (газ Довсона)

В основании производства этого газа лежат следующие теоретические соображения.

Реакция

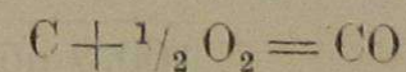


потребляет для каждого 12 г газифицируемого углерода 42,9 кал; вторая реакция

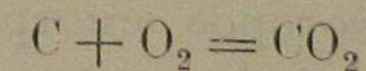


потребляет 40,4 кал.

Напротив, процесс



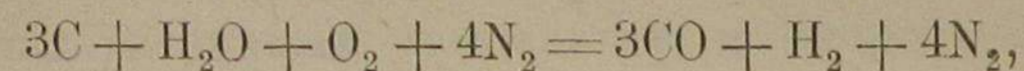
производит на каждые 12 г газифицируемого углерода 26,1 кал, а процесс



производит 94,8 кал.

Так как при производстве смешанного газа имеется в виду получать такой газ, который содержал бы как можно менее CO_2 , то из двух реакций водяного газа здесь имеет

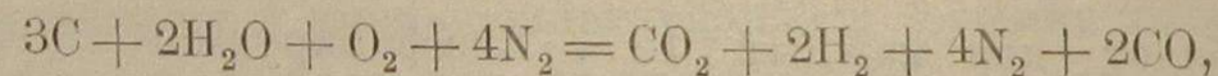
значение только первая. Точно так же из обоих уравнений воздушного газа сохраняет значение только первое, а второе теряет значение, так как угольная колонна в генераторе имеет большую высоту. Если не принимать в расчет потерь теплоты, то, чтобы поддерживать в генераторе постоянную температуру, мы должны будем на каждый грамм-атом С, который газифицируется водяным паром, газифицировать два грамм-атома С воздухом. Таким образом приходим к идеальному условному уравнению:



которое давало бы газ, содержащий

CO	37,5	объемных	процента
H ₂	12,5	"	"
N ₂	50,0	"	"
	<hr/>		
	100,0	объемных процента.	

Но даже если мы примем в расчет второе уравнение для образования водяного газа $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$, менее благоприятное, то все-таки придем приблизительно к тому же самому распределению реагирующих веществ:



которое дает газ, содержащий

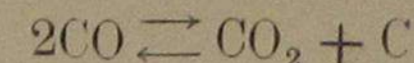
CO ₂	11,1	объемных	процента
CO	22,2	"	"
H ₂	22,2	"	"
N ₂	45,5	"	"
	<hr/>		
	100,0	объемных процента.	

Но к этому прибавляется еще вследствие равновесия $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$ определенное количество неразложенного водяного пара, которое смотря по обстоятельствам может быть очень значительно.

На практике, чтобы покрывать потери теплоты в отходящих газах и лучеиспусканием, без сомнения должны газифицировать углерода воздухом много более, чем паром (в 3—5 раз). От этого значительно увеличивается содержа-

ние азота в газе и уменьшается теплотворная способность его.

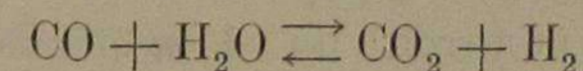
Здесь также имеется возможность рассчитать условия равновесия, если представить себе, что реакция



имеет константу равновесия

$$K_1 = \frac{[CO]^2}{[CO_2]} = \frac{p^2}{P-p}^1,$$

а реакция



имеет константу равновесия

$$K_2 = \frac{[CO]}{[CO_2]} \cdot \frac{[H_2O]}{[H_2]}$$

и, что в обоих случаях отношение

$$\frac{[CO]}{[CO_2]} = \eta = \frac{p}{P-p}$$

должно иметь одну и ту же величину. Но следует помнить, что отношения здесь довольно сложны, потому что с одной стороны расчет затрудняется присутствием азота первичного воздуха (как и при воздушном газе), а с другой стороны тем, что газификация угля производится не только кислородом воздуха, но и кислородом водяного пара.

¹ p — парциальное давление CO₂, P — давление CO + CO₂.

IV. РАСЧЕТ ГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА

Пусть газифицируют бурогоольный брикет. Расчет процесса газификации ведется на 1 т газифицируемого угля. В основание расчета кладутся числа, полученные на практике:

- количество смолы, получаемое на 1 т угля 115 кг
- количество сухой генераторной золы на 1 т угля 180 „
- точка росы для пара, насыщающего генераторный воздух 82,5°

Результаты исследования проб и перечисление найденных величин на 1 т угля:

Составные части	А н а л и з			Перечисление на 1 т угля		
	Брикет (вес в ‰)	Смола (вес в ‰)	Зола (вес в ‰)	Брикет (кг)	Смола (кг)	Зола (кг)
Влажность	16,00	0,00	0,00	160	—	—
C	50,30	84,50	42,70	503,00	97,18	76,86
H ₂	4,70	11,00	0,20	47,00	12,65	0,36
S (летучей)	0,85	1,00	0,25	8,50	1,15	0,45
N ₂ + O ₂	17,80	3,10	4,90	178,00	3,57	8,82
Зола	10,35	0,40	51,95	103,50	0,45	93,51
	100,00	100,00	100,00	1 000,00	115,00	180,00

При сухой перегонке получено:

	Проценты	кг
Дистилляционной воды	16,00	160
Химически образовавшейся воды	8,10	81
Смолы	11,80	118
Кокса	46,20	462
Газа и потерь	17,90	179
	100,00	1 000

Генераторный газ составляется из продуктов сухой перегонки и продуктов газификации. Промыванием газа и последующим титрованием для данного случая найдено было: сероводорода 5 г/м³ газа } при 0° и 760 мм
летучего аммиака 1 г/м³ газа } (сухого)

При большом содержании углекислоты в генераторном газе можно с уверенностью допустить, что ниже 45° летучий аммиак находится в газе в виде кислого углекислого аммония. При взятии газовой пробы посредством склянки, наполненной водой, легко извлечь аммиак, который связан с углекислотой. Для этого предлагают предварительно наполнять газосборную склянку 0,5% раствором серной кислоты.

Пусть состав газа, который соответствует составу данного брикета, будет таков:

Объемный состав без NH ₃ и H ₂ S в ‰	C NH ₃ и H ₂ S в ‰	1 м ³ газа содержит, включая NH ₃ и H ₂ S	
		м ³	кг
CO ₂ = 17,00	CO ₂ = 16,93	CO ₂ = 0,16 930	0,33 267
C ₂ H ₄ = 0,6	C ₂ H ₄ = 0,60	C ₂ H ₄ = 0,00 600	0,00 751
O ₂ = 0,4	O ₂ = 0,40	O ₂ = 0,0 040	0,00 572
CO = 16,0	CO = 15,93	CO = 0,1 593	0,19 922
H ₂ = 25,4	H ₂ = 25,29	H ₂ = 0,2 529	0,02 277
CH ₄ = 5,6	CH ₄ = 5,57	CH ₄ = 0,0 557	0,03 968
N ₂ = 35,00	N ₂ = 34,82	N ₂ = 0,3 482	0,43 574
100,00			
+ NH ₃ = 0,13	H ₂ S = 0,33	H ₂ S = 0,0 033	0,00 500
H ₂ S = 0,33	NH ₃ = 0,13	NH ₃ = 0,0 013	0,00 100
100,43	100,00	1,0 000	1,04 931

Распределение элементарных составных частей в 1 м³ газа представлено на следующей таблице:

Составные части газа кг/м ³	Элементарные составные части газа			
	С кг/м ³	H ₂ кг/м ³	O ₂ кг/м ³	N ₂ кг/м ³
CO ₂ = 0,33 267	0,090 730	—	0,24 194	—
C ₂ H ₄ = 0,00 751	0,001 072	0,006 438	—	—
O ₂ = 0,00 572	—	—	0,00 572	—
CO = 0,19 922	0,085 380	—	0,11 384	—
H ₂ = 0,02 277	—	0,022 770	—	—
CH ₄ = 0,03 968	0,029 760	0,009 920	—	—
N ₂ = 0,43 574	—	—	—	0,435 740
H ₂ S = 0,00 500	—	0,000 296	—	—
NH ₃ = 0,00 100	—	0,000 177	—	0,000 823
1,04 931	0,206 942	0,039 601	0,36 150	0,436 563
		O ₂ + N ₂ = 0,798 063		

Вычисление элементарных составных частей (С, H₂, N₂ и O₂), перешедших в газ из 1 т угля.

Углерод:

$$503 - (97,18 + 76,86) = 328,96 \text{ кг С.}$$

Водород:

$$47 - \left(\frac{81}{9} + 12,65 + 0,36\right) = 24,99 \text{ кг H}_2$$

Кислород + азот:

$$178 - \left(\frac{81}{9} \times 8 + 3,57 + 8,82\right) = 93,61 \text{ кг (O}_2 + \text{N}_2).$$

1. Вычисление количества газа:

а) Так как 1 м³ генераторного газа содержит 0,206 942 кг С, то из 1 т угля получим $\frac{328,96}{0,206 942} \text{ м}^3 \approx 1590 \text{ м}^3$ генераторного газа.

б) 1590 м³ генераторного газа весят $1590 \times 1,04 931 = 1668 \text{ кг.}$

2. Вычисление количества водяного пара, разложенного в зоне газификации.

Генераторный газ из 1 т угля содержит $1590 \times 0,039601 = 62,95 \text{ кг H}_2$
 в том числе из угля (1 т) $= 24,99 \text{ кг H}_2$
 поэтому из разложенного водяного пара происходят $39,76 \text{ кг H}_2$
 это количество водорода соответствует количеству водяного пара $39,76 \times 9 = 341,64 \text{ кг}$

3. Вычисление количества воздуха, подводимого в газогенератор. Это выполняется двумя путями.

а) Из 1 т угля получаем:

генераторного газа	1 668 кг
смоли	115 "
дестилляционной воды	241 "
зола	180 "
	<hr/>
	2 204 кг
загрузка угля	1 000 кг
на это количество угля подведено воздуха и разложенного водяного пара	1 204 "
подведено разложенного водяного пара	341,64 кг
подведено воздуха	862,36 кг

б) Вычисление количества воздуха по содержанию азота и кислорода в генераторном газе.

1590 м³ генераторного газа содержат:

$$1590 \times 0,79 806 = 1 269 \text{ кг (N}_2 + \text{O}_2).$$

Использовано для газификации из 1 т угля (N₂ + O₂) $93,6 \text{ кг}$
 Из разложенного водяного пара получено O₂ $303,7 \text{ кг}$
 Из угля и водяного пара вместе получено (N₂ + O₂) $397,3 \text{ кг}$

Следовательно количество азота и кислорода из воздуха составляет $1\,269 \times 397,3 = 871,7$ кг

Если сравнить обе величины (а) и (б), то окажется, что разность между ними равна $+9,3$ кг и составляет $1,07\%$ наибольшей величины. Поэтому можно взять среднее значение как действительное количество подведенного воздуха 867 кг
или при 0° и 760 мм (сухого) 671 м³

4. Общее количество водяного пара, которое подводится в генератор.

Из практики известно, что 1 м³ генераторного газа при 0° и 760 мм содержит 863 г водяного пара. Этой степени насыщения соответствует точка росы $82,5^\circ$ (как можно видеть из таблицы о насыщенном паре). Поэтому на 1 м³ угля требуется водяного пара в генераторе:

$$671 \times 0,863 = 579 \text{ кг.}$$

5. Как уже видно было, в процессе образования генераторного газа участвует $341,64$ кг водяного пара. Это составит:

$$\frac{341,64 \times 100}{579} = \approx 59\%.$$

Следовательно остается неразложенного пара $41,0\%$, или $237,36$ кг.

6. Для вычисления скрытой теплоты неразложенного пара необходимо определить точку росы для газа, выходящего из генератора.

На $1\,590$ м³ генераторного газа в нормальном состоянии и сухого приходится:

дистилляционной воды	241,00 кг
неразложенного пара	237,36 "
вместе	478,36 кг

Это составит на 1 м³ сухого генераторного газа в нормальном состоянии около 300 г. Такому насыщению соответствует точка росы 67° .

При 67° теплота парообразования 1 кг воды будет:

$$W_{i_{67^\circ}} = 607 - 0,708 \times 67 = 559,6 \text{ кал.}$$

Из 1 кг угля происходят $1,59$ м³ генераторного газа и $0,2374$ кг неразложенного пара. Следовательно скрытая теплота неразложенного пара от газификации 1 кг угля составит:

$$a) 0,2374 \times 559,6 = 132,8 \text{ кг.}$$

Теплотворная способность бурого угля брикета (по формуле О-ва немецких инженеров) равна $4,717$ кал. Поэтому скрытая теплота неразложенного водяного пара от газификации 1 кг такого брикета составит:

$$b) \frac{132,8 \times 100}{4717} = 2,82\% \text{ теплотворной способности угля.}$$

Все количество теплоты, вводимое в генератор, составляет сумму:

$$W_k + W_i + W_a.$$

Здесь W_k = теплотворной способности + физической теплоте угля;

W_i = физической теплоте воздуха;

W_a = всему теплосодержанию пара, вводимого в генератор с воздухом.

Если примем, что температура брикета 20° , температура дутья, насыщенного паром, $82,5^\circ$, то количество теплоты которое подводится на 1 кг топлива, будет представлять из себя сумму:

$$4717 + 20 \times 0,4 + 82,5 \times 0,867 \times 0,235 + 0,579(82,5 \times 0,447 + 548,6) = \approx 5\,081 \text{ кал.}$$

с) Видим, что количество неразложенного пара от газификации 1 кг угля по отношению ко всему количеству теплоты, которое приходится на 1 кг этого угля, составляет:

$$\frac{132,8 \times 100}{5\,081} = 2,6\%.$$

Способ Кнелдаля, как известно, не дает точного определения азота в угле. Например для угля данного состава,

по Кнелдалю, получили бы азота только около 0,58%. Поэтому предлагают определять содержание азота и кислорода в угле путем вычисления по содержанию азота и кислорода в генераторном газе.

Содержание азота в генераторной золе при газификации воздухом и водяным паром будет очень мало. Точно так же невелико количество азота в смоле. Поэтому можно предположить, что весь азот данного угля переходит в генераторный газ. Этого нельзя сказать о кислороде угля. При газификации угля этот кислород распределяется в золе, смоле, в газе и в дистилляционной воде. Следует помнить, что азот аммиака, содержащегося в дистилляционной воде, уже рассматривался как составная часть газа.

Произведем расчет на 100 весовых частей. Обозначим:

N_g — содержание азота в газе;

N_l — содержание азота в воздухе (76,71 весовых процента);

N_k — содержание азота в той части угля, которая переходит в газ.

Тогда получим, что $N_k = N_g - N_l$,

или

$$159 \times 0,436\ 563 - \frac{86,7 \times 76,71}{100} = 2,907.$$

Так как выше сумму $N_2 + O_2$ мы определили равной 17,8%, то содержание этих частей в отдельности будет:

кислорода	14,893%
азота	2,907%

Обозначим теперь:

O_g — содержание кислорода в генераторном газе;

O_l — содержание кислорода в воздухе (23,29 весовых процента);

O_d — содержание кислорода в той части водяного пара, которая принимает участие в процессе;

O_k — количество кислорода, который переходит в газ из угля.

Тогда будем иметь, что $O_k = O_g - (O_l + O_d)$,

или

$$159 \times 0,3\ 615 - (86,7 \times 23,29 + 30,37) = 6,016 \text{ кг.}$$

Ранее было найдено, что количество $N_2 + O_2$, перешедшее из угля в газ, составляет 9,36% (принимая во внимание

содержание этих веществ в золе, смоле и дистилляционной воде). Теперь оказывается, что количество $N_2 + O_2 = 8,923\%$ (2,907% N_2 и 6,016% O_2). Разность между обеими величинами равна 0,437%. По отношению к найденному количеству кислорода в угле ошибка составляет

$$\frac{0,437 \times 100}{14,80} = 2,9\%,$$

т.-е. настолько мала, что может быть оставлена без внимания.

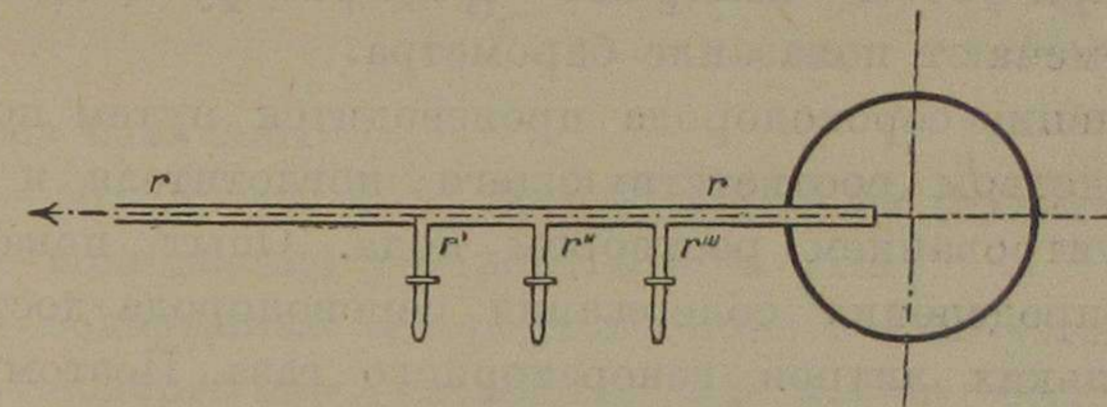


Рис. 45.

При расчете генераторного процесса предполагают, что:

- 1) производственные величины, которые кладутся в его основание, безупречны,
- 2) отдельные пробы взяты целесообразно,
- 3) исследование проб произведено просто и научно.

Все эти предположения выполняются при известной осмотрительности с достаточным совершенством.

Особенное внимание рекомендуют обращать на взятие проб газифицируемого угля и генераторной золы. Среднюю пробу получаемой смолы берут обычным способом.

Объемный состав генераторного газа необходимо исследовать с этой целью по крайней мере каждый час. Вместо того, чтобы испытывать газовую смесь, протекающую по газопроводу в момент взятия пробы, рекомендуют поступать таким образом (рис. 45). Трубка r входит в газопровод генератора на $1/3$ его диаметра. Наружный конец этой трубки соединен или с водоструйным насосом или с таким местом в производстве, которое обладает разрежением, достаточным для того, чтобы создать непрерывный газовый поток по трубке в направлении от газопровода к наружному концу.

От трубки r идут три отростка — r' , r'' , r''' , соединенных с аппаратами для определения летучих аммиака и сероводорода, а также для взятия газовой пробы. Для газовой пробы пользуются склянкой, предварительно наполненной 0,5% раствором серной кислоты. Емкость склянки составляет около 500 см³.

Трубки r' , r'' и r''' соединены с каучуковыми трубками, которые снабжены зажимами у нижнего конца. Таким образом дается возможность взятия газовой пробы в течение продолжительного времени.

При измерении летучего аммиака пользуются газовыми часами. При этом измеряют температуру и давление, а также отмечают показание барометра.

Определение сероводорода производится путем поглощения посредством соответствующего поглотителя и последующим титрованием раствором иода. Опыт показывает, что для определения содержания сероводорода достаточно уже нескольких литров генераторного газа. Поэтому здесь можно обойтись без применения газовых часов, но воспользоваться склянкой аспиратора. О количестве сероводорода судят по количеству вылившейся воды, которую после опыта взвешивают. Объем сероводорода определяют, принимая во внимание температуру и давление. Величину, найденную при титровании, перечисляют потом на 1 м³ сухого генераторного газа (при 0° и 760 мм).

Общий газовый анализ производится известным способом. Здесь уместно будет указать только на некоторые пункты, которые особенно следует иметь в виду¹.

Прежде всего необходимо помнить, что поглощение окиси углерода следует выполнять без остатка. Поэтому для поглощения СО применяют три поглотительных сосуда, причем вторым и третьим сосудом только тогда пользуются, когда первый или второй уже не обнаруживают уменьшения объема газа. Как только первый сосуд начинает заметно замедлять поглощение, тотчас наполняют его свежим поглотителем. Затем берут второй сосуд для первого поглощения, третий для второго и наполненный свежим поглотителем для окончательного поглощения.

¹ Brennstoff- und Wärmewirtschaft, 1926, №№ 7 и 8, стр. 107 и 127.

Далее, рекомендуют пользоваться с осторожностью сжатым кислородом для сжигания. Опыт показывает, что в нем всегда содержатся более или менее значительные количества СО₂. Поэтому кислород, переводимый в измерительную бюретку, перед его точным объемным определением несколько раз вводится в пипетку с калийной щелочью до полного поглощения СО₂.

Для расчета генераторного процесса можно пользоваться следующими формулами.

1. Количество генераторного газа:

$$а) V_g = \frac{C_k - (C_t + C_a)}{C_g} \text{ и в) } P_g = V_g \cdot S_g.$$

Здесь означают:

V_g — объем газа в м³ при 0° и 760 мм (сухого),

C_k — содержание углерода в кг/т угля,

C_t — содержание углерода в смоле в кг/т угля,

C_a — содержание углерода в золе в кг/т угля,

C_g — содержание углерода в кг/м³ газа,

P_g — весовое количество газа в кг/т угля,

S_g — удельный вес газа в кг/м³ при 0° и 760 мм.

2. Количество разложенного водяного пара, подведенного в генератор:

$$D_{rl} = \left\{ V_g \cdot H_g - \left[H_k - \left(\frac{H_2O}{9} + H_t + H_a \right) \right] \right\} \times 9.$$

Здесь означают:

D_{rl} — реагирующее количество водяного пара в смеси воздуха с паром в кг/т угля,

H_g — содержание водорода в газе в кг/м³,

H_k — содержание водорода в угле в кг/т,

H_2O — количество воды, образовавшейся химически, в кг/т угля,

H_t — водород в смоле в кг/т угля,

H_a — водород в золе в кг/т угля.

3. Количество воздуха, необходимое для газификации 1 т угля:

$$А) P'_l = P_g + P_t + W_k + H_2O + P_a - (P_k + D_{rl}).$$

$$б) V_g \cdot (O_g + N_g) - \left[R_k + \frac{8 D_{r1}}{9} - \left(\frac{8 H_2 O}{9} + R_t + R_a \right) \right] = P_i''.$$

$$а) P_i = \frac{P_i' + P_i''}{2}, \quad б) V_i = \frac{P_i}{1,293}.$$

Здесь означают:

P_i — количество смолы, получаемое из 1 т угля, в кг,

P_a — количество золы, приходящееся на 1 т угля,

P_k — количество угля, использованное из 1 т угля,

W_k — влажность угля в кг/т угля,

D_{r1} — количество водяного пара из смеси воздуха с паром,

которое участвует в процессе,

P_i' — количество воздуха, подводимое для газификации 1 т угля, в кг = А,

P_i'' — количество воздуха, подводимое для газификации 1 т угля, в кг = В,

P_i — количество воздуха, подводимое для газификации 1 т угля, в кг = $\frac{A+B}{2}$.

O_g — количество кислорода в кг/м³ газа,

N_g — количество азота в кг/м³ газа,

$R_k = (N_2 + O_2)$ в кг/т угля,

$R_t = (N_2 + O_2)$ в смоле, получаемой из 1 т угля, в кг,

$R_a = (N_2 + O_2)$ в генераторной золе из 1 т угля, в кг,

O_{ar} — содержание кислорода в водяном паре, принимающем участие в процессе, в кг = $\frac{8}{9} D_{r1}$,

V_i — количество воздуха, подводимое для газификации, в м³/т угля.

4. Количество водяного пара, подводимое в генератор (общее):

$$P_D = V_i \cdot P_a.$$

В этом уравнении означают:

P_D — общее количество водяного пара в кг,

P_a — количество водяного пара, которое содержится в 1 м³ воздуха при 0° и 760 мм (сухого), в кг.

5. Отношение количества воды, принимающего участие в процессе, к количеству воды, участия в процессе не принимающему.

Разлагается воды при газификации:

$$\frac{D_{r1} \times 100}{P_D} = \% dr.$$

Остается неразложившейся воды:

$$100 - dr = \% di.$$

При этом означают:

dr — количество (в процентах) активного пара,

di — количество (в процентах) не активного пара.

6. Количество скрытой теплоты водяного пара, остающегося неразложившимся:

$$\frac{H_2 O + Di_L}{V_g} = d_g,$$

с точкой росы T^0 .

Поэтому скрытая теплота неразложившегося водяного пара составит на 1 кг угля в генераторе:

$$а) \frac{(607 - 0,708 \cdot T^0) \cdot Di_L}{1000} = di_{we1}.$$

Di_L — здесь означает общее количество неразложившегося водяного пара на каждую тонну угля,

d_g — дает общее количество водяного пара, находящееся в 1 м³ генераторного газа при 0° и 760 мм,

di_{we1} — представляет скрытую теплоту неразложившегося водяного пара, происходящего из смеси воздуха и пара и находящегося в генераторном газе из 1 кг угля,

б) Процентное отношение этой скрытой теплоты к теплотворной способности угля:

$$\frac{di_{we1} \times 100}{кал_k},$$

$кал_k$ — теплотворная способность угля.

с) Процентное отношение этой скрытой теплоты ко всей теплоте, вводимой на 1 кг угля:

$$\frac{di_{we1} \times 100}{кал_k + 0,4 \times t_k^0 + \frac{P_i \cdot L_i \cdot L_{cp}}{1000} + P_D \frac{(L_i \cdot D_{cp} + D_{we1})}{1000}}$$

В этом уравнении означают:

t_k^0 — температуру угля,

P_l — вес воздуха,

L_t^0 — температуру смеси пара и воздуха,

L_{cp} — среднюю удельную теплоту воздуха,

P_D — вес водяного пара, подводимого вместе с воздухом,

D_{cp} — среднюю удельную теплоту водяного пара при температуре L_t ,

D_{we} — скрытую теплоту водяного пара при температуре L_t^0 .

V. ОЧИСТКА ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

Применение слова очистка к генераторному газу недостаточно ясно и наводит даже на мысль, что генераторный газ для его использования особенно нуждается в очистке. На самом деле это не так. Сам по себе генераторный газ очистки не требует; очистка необходима только для генераторного газа определенного рода и для определенной цели. Например генераторный газ, производимый из очень влажного топлива, нуждается в очистке, если при сжигании его намерены получить высокую температуру. Но в этом случае очистка будет равнозначна сушению и может не сопровождаться удалением из газа паров смолы. Но так как точки росы водяного пара и паров смолы приблизительно совпадают, то нельзя сушение генераторного газа практически резко отделить от удаления из него смолы. И если при некоторых обстоятельствах удаление паров смолы может быть необходимо, то с экономической точки зрения оно далеко не всегда желательно. Удаление паров смолы вполне целесообразно тогда, когда газ должен проходить по трубопроводу на большом расстоянии, иначе смоляные пары будут осаждаться на стенках труб и засорять трубопровод. По этой же причине рекомендуют удалять смолу из генераторного газа в том случае, если он проводится по разветвленному трубопроводу, с небольшим диаметром труб. Очищенным от смолы газом пользуются также и в том случае, когда сжигают его в аппаратах с тонкими, чувствительными горелками.

Таким образом очистка генераторного газа сводится в главных чертах к удалению из него водяного пара и паров смолы. Согласно с этим и строятся аппараты для очистки газа, имея в виду или сушение газа, или удаление паров

смолы из него, или то и другое одновременно. Аппараты для очистки генераторного газа сообразуются в их конструкции и в их применении с теми результатами, которых намерены достигнуть. Одно дело, когда имеют целью получение смолы, по возможности чистой от воды, и другое дело, когда получению смолы не придают никакого значения. На достоинство смолы оказывает сильное влияние качество газифицируемого топлива и способ ведения генератора. Газификация каменного угля производится обыкновенно при такой высокой температуре, что получаемая при этом смола оказывается сильно разрушенной и пригодной в главной части только как топливо или как исходной продукт для производства пека. Эта смола практически не содержит воды. Более высоким достоинством обладает буроугольная смола, которая производится при более низкой температуре и поэтому менее разрушена. Эту смолу перерабатывают на смазочные масла, парафин и другие продукты, а также используют как топливо двигателей. Но, к сожалению, получение такой смолы без примеси воды сопряжено с большими трудностями. Самые лучшие очистительные аппараты для генераторного газа не дают смолы, совершенно не содержащей воды.

Необходимо отметить, что хотя смола, получаемая из генераторного газа, представляет собою довольно ценный продукт, но получение ее обходится довольно дорого. Поэтому возникает вопрос, окупается ли получение побочной смолы, покрывает ли доход от продуктов, получаемых из генераторной смолы, расходы, связанные с получением и переработкой смолы. Ответить на этот вопрос в бесспорной форме большею частью бывает затруднительно, так как цены на смолу и смоляные продукты сильно колеблются. Для небольших генераторных установок экономичность получения смолы обыкновенно более чем сомнительна. Выход смолы невелик, и получение ее в значительном количестве возможно только в течение более или менее продолжительного промежутка времени. При этом неизбежна потеря некоторой части выхода смолы. Кроме того смола подвергается загрязнению. Хранение ее также связано с заметным расходом. Но для генераторных установок средней величины и больших получение побочной смолы при известных условиях может быть выгодно.

Самый простой способ очистки генераторного газа состоит в охлаждении его до температуры, которая ниже точки росы смоляных паров. Буроугольный газ никакого затруднения при охлаждении не доставляет, так как он выходит из генератора при температуре, которая немногим превышает точку росы смоляных паров. При достаточно длинных трубах или каналах смола и водяной пар осаждаются на их стенках и легко могут собираться в особые ямы или мешки.

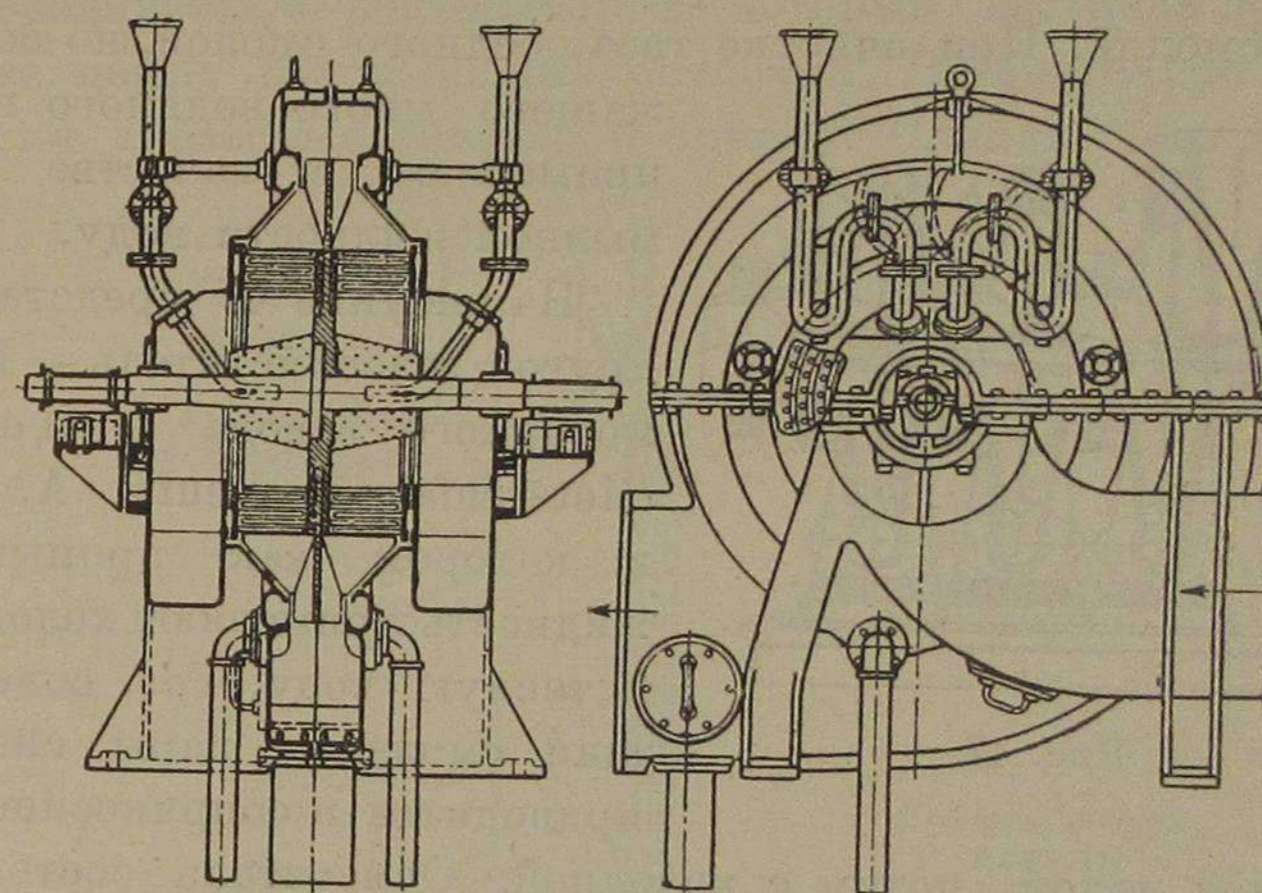


Рис. 46.

Для механической очистки генераторного газа от паров смолы пользуются дезинтегратором-промывателем. Этот аппарат действует подобно вентилятору, сообщая очищаемому газу большую скорость. При этом смола вместе с жидкостью, которая служит для связывания смолы, осаждается на поверхностях, о которые она ударяется. Очень распространен дезинтегратор-промыватель Тейзена (Eduard Theisen), показанный на рисунке 46.

На этом рисунке даны его поперечный разрез и вид сбоку. Очищаемый газ входит в коробку прибора с обеих сторон, в то время как промывная жидкость вводится по сифонным трубкам в двойной конусообразный ящик и бросается по цилиндрам дезинтегратора, действующим как крылья центрофуги, на отражательные поверхности неподвижных цилиндров. Распыленная до формы пара жид-

кость хорошо смешивается с газом, который всасывается крыльями вентилятора и бросается на промывную поверхность. При этом промывная жидкость выделяется и отводится особо, тогда как очищенный газ нагнетается в улиткообразную коробку вентилятора, а из нее к месту потребления. Выделяющаяся смола физической теплотой газа поддерживается в жидком состоянии и течет в сборный ящик. Если желают получить высокоценную, почти не содержащую воды смолу, то в качестве промывной жидкости пользуются теплой смолой. При очистке газа, бедного смолой, но содержащего много водяного пара, применяют в качестве промывной жидкости воду.

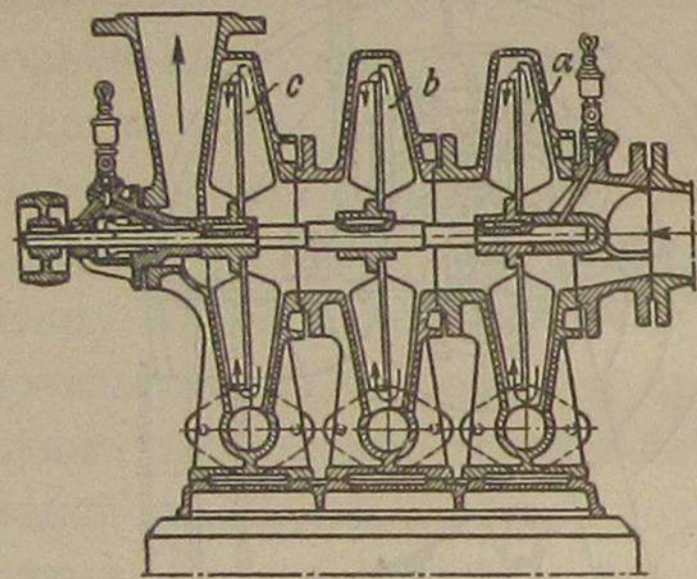


Рис. 47.

На рисунке 47 представлен другой газоочиститель — Газомоторного завода в Дейце (Motorenfabrik Deutz A. G.), в котором как промывную жидкость применяют холодную и теплую воду. Газ, содержащий смоляные пары, сначала приводится в соприкосновение с теплой водой, потом с холодной. Очиститель состоит из двух очищающих и одного охлаждающего центробежных промывателей.

Сначала газ поступает в центробежные промыватели *a* и *b*, содержащие теплую воду, и затем переходит в третий центробежный промыватель *c*, в котором происходит охлаждение газа.

Каждый промыватель имеет перегородку, к обеим сторонам которой прикреплены крылья, так что притекающий газ сначала кружится и потом снова подводится к середине, откуда направляется в ближайший промыватель.

Важное значение очистка генераторного газа имеет в том случае, если газ получают газификацией дров, так как некоторые составные части такого газа, именно кислоты, разрушительно действуют на металлы.

Очистительная установка, в которой промывной жидкостью служит теплая и холодная вода (Газомоторный завод в Дейце), именно рекомендуется для очистки генераторного

газа, как силового, так и отопительного, получаемого из древесных отбросов.

На рисунке 48 дается схематическое представление о генераторной установке для производства силового газа из дерева.

Установка состоит из генератора, двух силосов, которые впадают в одну и ту же засыпную воронку над генератором, и машины для измельчения древесных отбросов. Эта машина соединена с вентилятором, который вставлен в промежутке между ней и обоими силосами. В генераторе газифицируют древесные остатки и опилки. Опилки отсасываются

с помощью эксгаусторов от места, где работают пилы, и нагнетаются в один из силосов, а древесные остатки измельчаются в резальной машине и вентилятором подаются во второй силос. Древесные остатки и опилки механически смешиваются посредством вращающейся тарелки в отношении один к одному (1:1). Размеры силосов соображаются с количеством древесных отбросов в течение дня, если установка работает на лесопильном заводе.

На рисунке 49 показаны генератор для газификации дерева и установка для очистки получаемого генераторного газа.

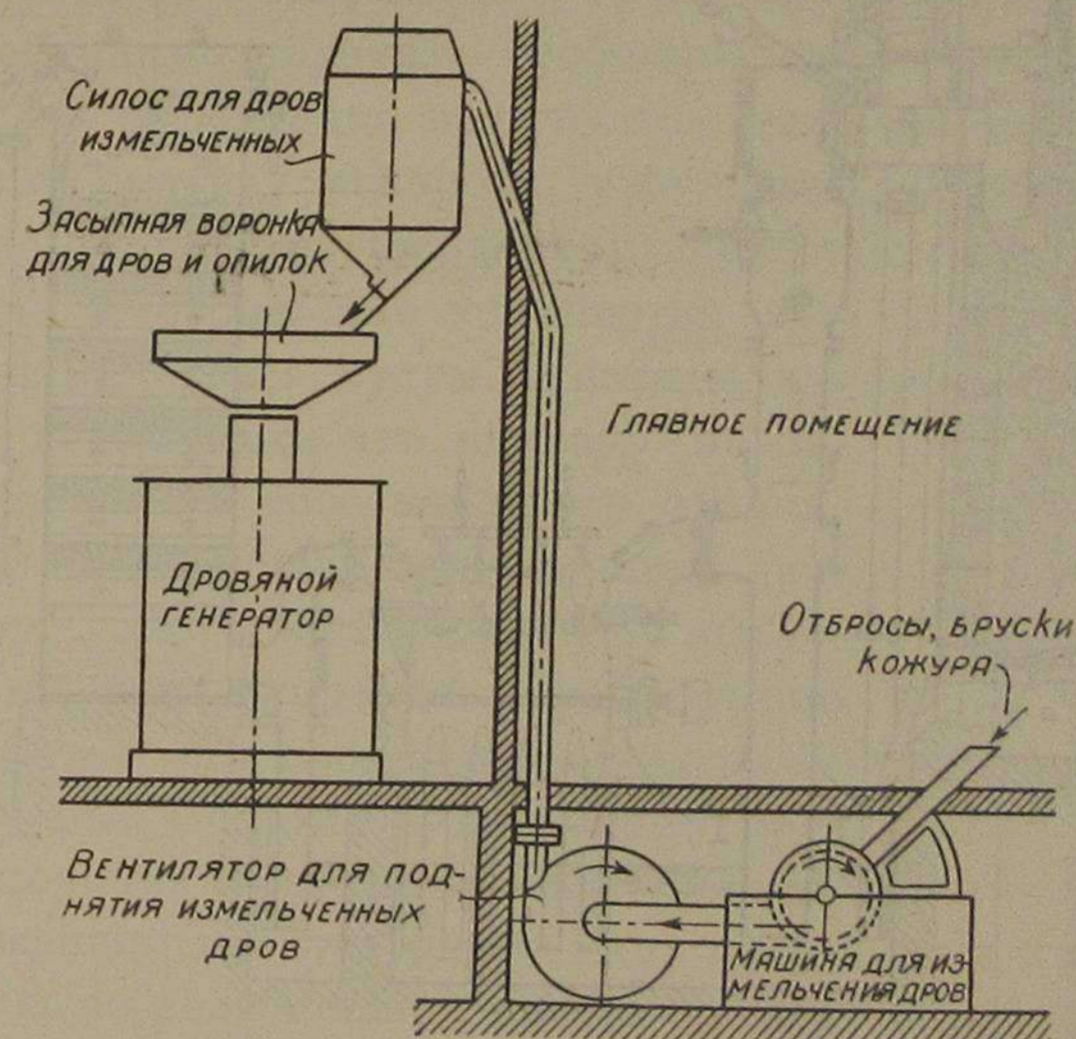


Рис. 48.

посредством эксгаусторов от места, где работают пилы, и нагнетаются в один из силосов, а древесные остатки измельчаются в резальной машине и вентилятором подаются во второй силос. Древесные остатки и опилки механически смешиваются посредством вращающейся тарелки в отношении один к одному (1:1). Размеры силосов соображаются с количеством древесных отбросов в течение дня, если установка работает на лесопильном заводе.

Это шахтный генератор, одетый кожухом. Он снабжен плоской горизонтальной решеткой *a*, которая может прочищаться через закрывающееся отверстие *b*. Внутри шахты его помещена висячая перегонная реторта *c*, которая омывается горячим отходящим генераторным газом. Засыпная воронка *d* снабжена двумя клапанами *e* и *f*. Генераторный газ по выходе из генератора поступает в пылеотделитель *g* с брызгалкой *h*, в котором из него выделяются более

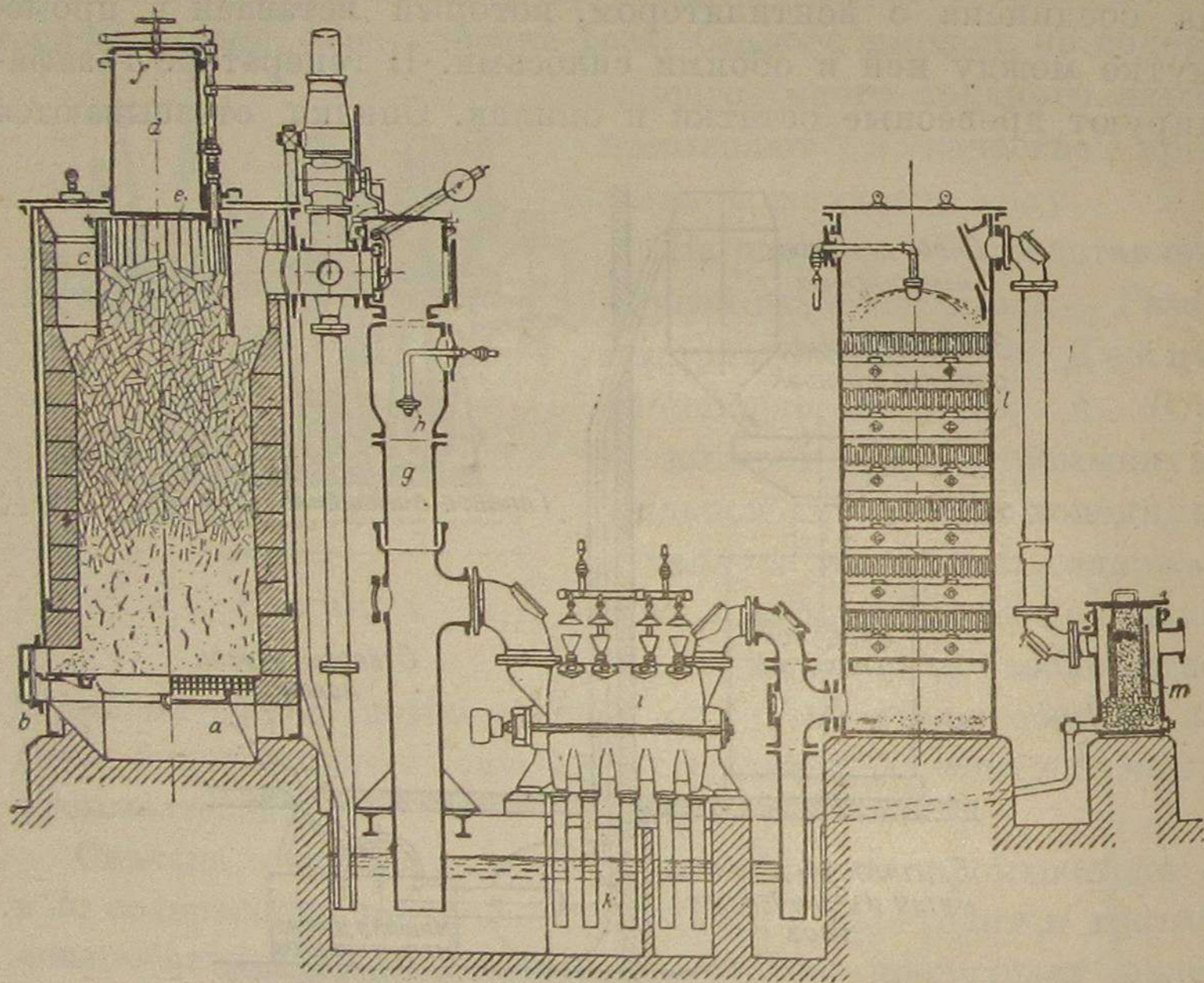


Рис. 49.

крупные частицы пыли. Отсюда газ проводится в смолоотделитель *i*, где конденсируются водяной пар и смоляные пары. Смола и вода стекают из него в яму *k* и удаляются отсюда по мере надобности. Из смолоотделителя газ направляется в холодильник *l*, который представляет собою цилиндрический сосуд, наполненный деревянными плетеными перегородками. Здесь газ охлаждается до температуры, которая определяется целью применения его. За холодильником устроен еще конденсатор *m*, который наполнен известью и служит для выделения из газа уксусной кислоты.

VI. ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

Так как генераторный газ представляет собою главный продукт процесса газификации, то на определение его количества необходимо обратить особенное внимание.

О том, как определить количество генераторного газа вычислением по балансу углерода, уже сказано было выше. Теперь ознакомимся в кратких чертах со способом его измерения.

Известно, что большие количества газа можно измерять только динамическим путем. Местные измерения оказались настолько неточными, что ни разу не давали для одного и того же места сравнимых значений, особенно при больших диаметрах труб. Это обстоятельство объясняется тем, что скорости неравномерно распределяются по площади поперечного сечения трубы. Поэтому в последнее время для измерения количества газа обыкновенно применяют тонкую диафрагму, представляющую из себя кольцо, диаметр которого менее диаметра трубы. Эта диафрагма вставляется между флянцами трубы. Она создает разность давлений газа, которая определяется и дает возможность находить вычислением количество газа, протекающее в единицу времени через поперечное сечение трубы (рис. 50)¹.

Вычисление производится по формуле:

$$V_{\text{час}} = 3600 \cdot K \cdot \sqrt{2g \frac{P}{\gamma}}$$

в которой означают:

¹ Wenzel u. Schwarz, Zeit. d. V. deutscher Ing., 1922, 51/52, стр. 1130—34.

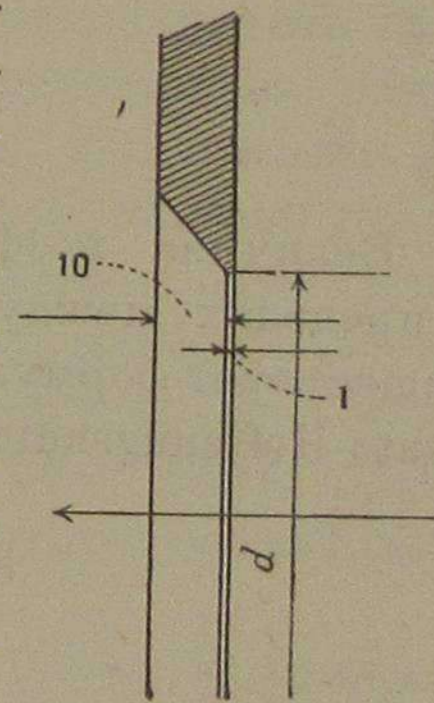


Рис. 50.

$V_{\text{час}}$ — количество газа, проходящее в час, в м^3 ,

g — ускорение силы тяжести = $9,81 \text{ м/сек}$,

p — разность давления у диафрагмы в $\text{кг/м}^2 = \text{мм}$ водяного столба,

γ — вес 1 м^3 газа,

K — множитель сжатия.

$V_{\text{час}}$ и γ относятся к газу при соответствующих опыту условиях. Следовательно при определении их приняты во внимание давление (барометрическое + избыточное), температура, влажность. Их вместе необходимо наблюдать во время опыта.

Множитель K , как до сих пор установлено, зависит только от величины отношения площади отверстия диафрагмы к площади сечения трубы $m = \frac{d^2}{D^2}$. Здесь d означает диаметр отверстия диафрагмы и D — диаметр поперечного сечения трубы. Для давления непосредственно у диафрагмы принимают:

$$K = \frac{\mu}{\sqrt{1 - m^2 \mu^2}}$$

Величина коэффициента сжатия μ в общем находится в пределах между 0,6 и 0,7. Для определения величины μ существует формула (по опытам) Гуте-Гоффнунгсгютте (Gute-Hoffnungshütte):

$$\mu = 1 - 0,395 \sqrt{1 - \frac{m^2}{1,15}}$$

По опытам Якоба и Кречмера (Jakob и Kretschmer) значение μ получается несколько большее. К сожалению, для труб большого диаметра (от 300 до 800 мм) до сих пор еще не было надежных опытов для определения величины этого коэффициента.

Отношение диаметров диафрагмы и трубы $\frac{d}{D} = \sqrt{m}$ рекомендуется ¹ брать в пределах от 0,4 до 0,7. Разность давлений желательна от 15 до 20 мм.

¹ F. Plenz. Das Gas- und Wasserfach, 1926, стр. 211.

Давление следует брать по возможности у самой диафрагмы. Величина подпора у диафрагмы регистрируется особым прибором, который прямо показывает величину \sqrt{p} , следовательно, дает планиметрическую диаграмму. Необходим многократный контроль посредством микроманометра.

Необходимы часовые записи давления, температуры у диафрагмы и состояния барометра.

Площадь поперечного сечения трубы должна оставаться неизменной по крайней мере на расстоянии 8 диаметров трубы перед диафрагмой и 6 диаметров позади диафрагмы. Некоторые авторы рекомендуют брать толщину диафрагмы от 3 до 5 мм, с отверстием, которое просверлено под углом в 45° . Острый край отверстия направляется навстречу газовому потоку.

Так измеряют количества нормального генераторного газа. Но для высокоценных газов газового завода (водяной газ, двойной газ и другие) необходим более точный способ. Там рекомендуют применять стационарный газомер, подвергая газ предварительной очистке, чтобы предохранить газомер от порчи. Стационарный газомер представляет самый надежный измерительный прибор, но он неприменим для измерения нормального генераторного газа, так как дорог.

Нельзя, впрочем, не упомянуть об интересном опыте измерения высокоценного газа, именно, коксовального, поставленном на большой коксовальне в Баргоде, в Южном Уэльсе, и показавшем, что диафрагма может быть применяема с успехом и к измерению таких продуктов газификации, как водяной или двойной газ¹.

Измерение здесь производили, измеряя разность давлений посредством микроманометра, наполненного спиртом (10:1). Давления записывали каждые три минуты в продолжение всего опыта. Нулевая точка поверялась каждые полчаса. Собиравшийся в главных и соединительных трубах конденсат выпускали по мере накопления. Температуры газа, наружного воздуха и помещения с приборами наблюдали каждый час. Диафрагмы были изготовлены из листа толщиной в 3,1 мм ($\frac{1}{8}$ дюйма) и таких размеров, что квадрат чистого диаметра трубы был вдвое более квадрата чистого

¹ Das Gas- und Wasserfach, 1926, № 1, стр. 9 и 10.

диаметра дроссельной шайбы. Внутреннее округление этой шайбы было заострено против течения газа. Диафрагмы были размещены одна за другой по длине трубы. Небольшие трубки для измерения давления располагались как можно ближе к ним и на одинаковом расстоянии от них. Размеры диафрагм были следующие.

Трубопровод для отопительного газа:

внутренний диаметр трубы 449,5 мм (D)

диаметр отверстия шайбы 318,0 мм (d)

Трубопровод для избыточного газа:

внутренний диаметр трубы 508,0 мм (D)

диаметр отверстия шайбы 360,0 мм (d),

поэтому

$$D^2 = 2d^2 \left(\text{или } \frac{\pi d^2}{4} : \frac{\pi D^2}{4} = 0,5 \right).$$

Расчет здесь производили по формуле, которую приводит в своей книге Л. Литинский¹:

$$V = C + K \cdot f \sqrt{2g \frac{h}{\gamma}},$$

в которой означают:

V — объем газа в $\text{м}^3/\text{сек}$

C — константу (взята по особой таблице)

K " " " " "

g — ускорение силы тяжести ($9,81 \text{ м/сек}^2$)

f — площадь поперечного сечения отверстия диафрагмы в м^2 ,

h — разность давлений в мм водяного столба,

γ — вес газа в кг/м^3 при условиях, наблюдаемых в газопроводе.

Отопительный газ (для отопления печей):

V_1 — объем,

$D_1 = 449,5 \text{ мм}$,

$d_1 = 318,0 \text{ мм}$,

$C_1 = 0,0056$ (по таблице),

¹ L. Litinsky, Messung grosser Gasmengen, Otto Spamer, Leipzig, 1922.

$K_1 = 0,69$ (по таблице),

$f = 0,07938 \text{ м}^2$,

$$V_1/\text{сек} = 0,0056 + 0,69 \times 0,07938 \times 4,43 \sqrt{\frac{h}{\gamma}},$$

$$V_1/\text{час} = 3600 \left(0,0056 + 0,69 \times 0,07938 \times 4,43 \sqrt{\frac{h}{\gamma}} \right) = 873 \sqrt{\frac{h}{\gamma}} + 20.$$

Избыточный газ:

V_2 — объем,

$D_2 = 508,0 \text{ мм}$,

$d_2 = 360,0 \text{ мм}$,

$C_2 = 0,00695$,

$K_2 = 0,684$,

$f_2 = 0,101736 \text{ м}^2$,

$$V_2/\text{сек} = 0,00695 + 0,684 \times 0,101736 \times 4,43 \sqrt{\frac{h}{\gamma}},$$

$$V_2/\text{час} = 3600 \left(0,00695 + 0,684 \times 0,101736 \times 4,43 \sqrt{\frac{h}{\gamma}} \right) = 1110 \sqrt{\frac{h}{\gamma}} + 25.$$

Пример расчета на основании данных первого дня опыта (опыт продолжался 72 часа).

Отопительный газ:

среднее суточное показание манометра = 46,3 мм спиртового столба 10 : 1;

температура в помещении для манометра = 25°; удельный вес спирта, наполняющего манометр, при этой температуре = 0,788; показание манометра в мм водяного столба = 3,648 мм;

удельный вес газа определяли по методу Бунзена-Шиллинга (Bunsen-Schilling).

Время вытекания для воздуха	186,5 сек
" " " газа	116,5 сек
показание барометра	758 мм
температура	24°
вес 1 м ³ воздуха при 0° и 760 мм	1,293 кг.

Вес 1 м³ газа при 24° и 758 мм будет:

$$\frac{116,5^2}{186,5^2} \times 1,293 \times \frac{758}{760} \times \frac{273}{297} = 0,4625 \text{ кг.}$$

Температура газа в трубе была 32°. Следовательно вес 1 м³ газа, при условиях, которые наблюдались в трубопроводе, был:

$$0,464 \times \frac{775}{758} \times \frac{297}{305} = 0,4625 \text{ кг.}$$

Средний вес 1 м³ газа за весь первый день при 775 мм и 32° составлял 0,461 кг.

Следовательно объем отопительного газа составлял:

$$\begin{aligned} V_1/\text{час} &= 873 \sqrt{\frac{3,648}{0,461} + 20} = \\ &= 873 \times 2,812 + 20 = \\ &= 2474 \text{ м}^3 \text{ влажн. газа.} \end{aligned}$$

Приведение газа к нормальным давлению и температуре и состоянию сухости производится таким расчетом.

Давление пара при 32° = 36 мм ртутного столба; 775 — 36 = 739 мм. Следовательно объем сухого отопительного газа при 0° и 760 мм будет:

$$V_1/\text{час} = 2474 \times \frac{739}{760} \times \frac{273}{305} = 2151 \text{ м}^3.$$

Таким же образом производили вычисление количества избыточного газа.

Измерение количества газа посредством дроссельной шайбы (диафрагмы) при колеблющемся производстве затруднительно и неточно.

Измерение неочищенного газа, особенно содержащего смолу, всегда очень ненадежно.

Качество генераторного газа, именно его теплотворную способность и состав, определяют по одной суточной средней пробе.

Для измерения больших количеств генераторного газа можно применять также измеритель Вентури. Принцип его состоит в том, что в трубопроводе, по которому течет

газ, создают определенную разность давлений, которая находится в известном постоянном отношении к количеству газа, протекающему в данный момент через поперечное сечение трубы, и потом измеряют эту разность в единицах объема или веса. Современная конструкция измерителя Вентури состоит из короткой цилиндрической трубки, в которую втекает измеряемый газ. В эту трубку вставлено

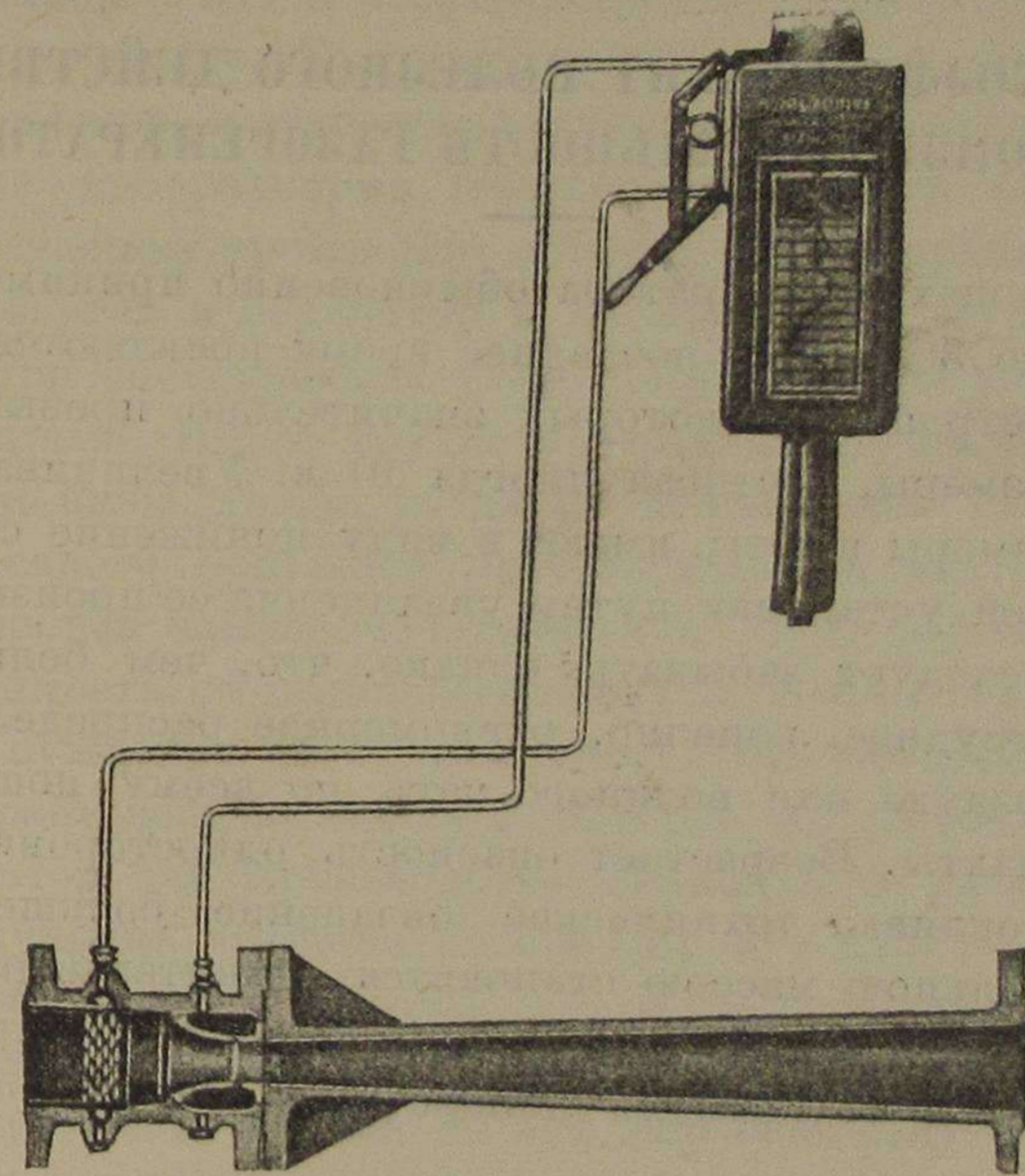


Рис. 51.

сопло, изменяющееся параболически. Измеритель снабжен регистрирующим аппаратом (рис. 51).

Для показания и регистрирования газовых количеств при измерителе имеются приспособления со ртутным наполнением. При разности давлений в 15 мм водяного столба или в 5% нагрузки происходит уже надежное показание инструмента (фирма Вонп и Рейтер, Маннгейм-Вальдгоф) (Vopp & Reuther, Mannheim-Waldhof).

VII. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Диаметр шахты генератора обыкновенно принимают равным от 1 до 3 м. Но в последнее время появляются генераторы, диаметр шахты которых значительно превышает названные размеры, достигая иногда 10 м. Увеличивая таким образом размеры шахты, имеют в виду понижение стоимости генераторной установки путем увеличения ее производительности. Не следует забывать, однако, что, чем больше диаметр, тем труднее, конечно, равномерное распределение топлива и воздуха или водяного пара по всему поперечному сечению шахты. Возрастает опасность одностороннего прогорания топлива; техническое овладение большой раскаленной угольной массой становится сомнительным.

При диаметре шахты от 2000 до 3000 мм пропускная способность 1 м² площади поперечного сечения составляет в час:

мелкий спекающийся каменный уголь	90—110 кг
промытый орешковый уголь	150 кг.

Уголь принимается с содержанием пыли (мельче 10 мм) до 50%.

Для бурого угля средняя нагрузка принимается равной 120 кг.

Таким образом суточная пропускная способность газогенератора с диаметром шахты в 3 м составит от 17 до 40 т. Если принять среднюю теплотворную способность каменного угля 6800 кал и общее потребление теплоты паровой турбиной, включая потери газогенератора, около 7750 кал/kWh, то газогенератор, работая для парового котла, производит приблизительно от 650 до 1030 kW, тогда как

современный паровой котел дает пара приблизительно для 3000—5000 kW¹.

Это сравнение обнаруживает недостаток, который чрезвычайно трудно преодолеть: относительно небольшую производительную способность отдельного газогенератора. Большая стоимость установки, сложность устройства, значительность занимаемого пространства и недоступность для обзора — вот обстоятельства, которые необходимо принимать в расчет. К этому прибавляется стоимость здания, трубопроводов, установок для подачи угля и удаления золы, а также несоразмерно большая стоимость обслуживания. И в настоящее время еще простая, равномерная и надежная засыпка угля в генератор и производство шурования, особенно при спекающемся угле, сопряжены со значительными трудностями. И эти трудности тем более нельзя оценивать слишком низко тогда, когда не исполняется главное требование всякого большого производства, именно по возможности полная замена человеческого труда работой машины и независимость от индивидуальных особенностей рабочих.

При суждении об экономичности газогенератора большую роль играет количество пара, которое искусственно вводится в генератор для производства смешанного газа и особенно при получении аммиака по способу Монда (Mond).

Коэффициент полезного действия газогенератора выражается в литературе самыми разнообразными формулами. И это понятно, так как до сих пор еще отсутствует общепринятое определение понятия его.

В настоящее время более принято такое выражение для коэффициента полезного действия газогенератора.

Пусть означают:

B — количество угля, перерабатываемое в час, в кг;

H_B — теплотворную способность 1 кг угля в кал;

G — количество газа, производимое в час в м³ (0°, 760 мм)

H_G — теплотворную способность 1 м³ газа (0°, 760 мм) в кал;

T — вес смолы, получаемой в час, в кг;

H_T — теплотворную способность 1 кг смолы в кал;

¹ При нагрузке 150 кг на м² в час каменного угля и 120 кг бурого обычная производительность генератора для каменного угля равна 4500 м³ в час, для бурого угля 1500 м³ в час.

D — количество пара, производимое в час генератором, в кг;

I_D — теплоту образования 1 кг пара, производимого генератором, в кал;

Z — количество пара, искусственно вводимое в час, в кг;

I_Z — теплоту образования 1 кг пара, который подводится в генератор искусственно, в кал;

η_{IZ} — коэффициент полезного действия парообразователя, подающего пар в генератор.

Теплотворная способность смолы в среднем равна 8000 кал/кг. Коэффициент полезного действия парообразователя примем равным 75%, а теплоту образования пара, который искусственно вводится в генератор, принимаю равной 600 кал, если точно не указана другая величина. Тогда так называемый термический коэффициент полезного действия выразится формулой:

$$\eta_{it} = \frac{G \cdot H_G + T \cdot H_T + D \cdot I_D}{B \cdot H_B + Z \cdot I_Z \cdot \frac{1}{\eta_{IZ}}}$$

Коэффициент полезного действия генератора показывает, какая часть теплоты, подведенной в генератор с топливом и посторонним паром, используется в газе, смоле и паре, которые образуются в генераторе ¹.

¹ Термическим коэффициентом полезного действия называют также отношение количества теплоты, которое получено в форме горячего газа и в форме смолы и легкого масла за вычетом расхода работы, к теплоте израсходованного топлива. В расчет вводят только высшую теплотворную способность.

Пусть, например, имеем для некоторой генераторной установки средние величины за 24 часа:

произведено газа	7 710 м ³ /час		
израсходовано работы	550 м ³ /час		
в 24 часа	$24 \times 7 710 \text{ м}^3 \times 1 866 \text{ кал} = 320,5$	миллиона	кал
получено смолы	$10,35 \text{ т} \times 9 855 \text{ кал} = 102,3$	"	"
" легкого масла	$0,50 \text{ т} \times 9 940 \text{ кал} = 5,0$	"	"
	всего . . . 427,8	"	"
израсходовано топлива	$95,40 \text{ т} \times 5 215 \text{ кал} = 497,5$	"	"
	$\eta_{it} = 86,0\%$		

Следует заметить, что израсходованная работа выражается в м³ полученного газа.

Теплотворная способность получаемой смолы отпадает от энергии, производимой данным генератором в газе. Чтобы установить простое и наглядное соотношение между количеством газа, необходимым для производства определенного количества работы, и весом топлива, которое необходимо для газификации, вводят еще понятие о коэффициенте полезного действия газификации. Этот коэффициент представляет из себя исключительно расчетную величину и выражается формулой

$$\eta_v = \frac{G \cdot H_G}{B \cdot H_B}$$

Этой величиной пользуются только для определения количества угля, которое необходимо для производства известного количества газа. Она не дает никакого представления о превращении теплоты в генераторе. Количество угля, которое необходимо для образования искусственно вводимого в генератор пара, лучше определять само по себе, так как оно зависит от свойств угля и подвержено другим влияниям.

Чтобы получить наиболее пригодные основы расчета генераторной установки, необходимо сначала определить из соответствующей литературы термический коэффициент полезного действия, коэффициент полезного действия газификации и некоторые другие величины и осветить их критически.

Инженер Тренклер (Trenkler) ¹ приводит следующий расчет газификации на генераторной установке Монда (в Комота):

топливо	богемский бурый уголь
теплотворная способность	от 2 900 до 3 100 кал
влажность	32,2%
содержание азота	0,603%
длительность опыта	31 день
число генераторов	9
количество угля, перерабатываемое в сутки	192,8 т
суточная пропускная способность генератора	21,4 т
количество пара, вводимое искусственно в генераторы в течение суток	117,4 т

¹ Stahl und Eisen, 1913 г., стр. 1730.

Результаты расчета.

Количество полезного газа, производимое в
сутки 255 750 м³
теплотворная способность производимого газа 1 450 кал/м³
суточный выход смолы 18,51 т
термический коэффициент полезного действия
генераторной установки:

$$\eta_{II} = \frac{255\,750 \times 1\,450 + 18\,510 \times 8\,000}{192\,800 \times 3\,000 + \frac{600 \times 117\,400}{0,75}} \times 100 = 57,0\%$$

Коэффициент полезного действия газификации:

$$\eta_{IV} = \frac{255\,750 \times 1\,450}{192\,800 \times 3\,000} \times 100 = 64,3\%$$

На 1 кг газифицируемого угля приходится:

искусственно вводимого пара 0,61 кг
выход газа 1,33 м³
выход смолы 96 г
выход соли 19,6 г
получено азота угля в соли 68,8 %

Перечисляя на сухой уголь, Тренклер (Trenkler) дает искусственно вводимого пара:

на 1 кг бурого угля от 0,9 до 1,7 кг
на 1 кг каменного угля от 1,7 до 2,5 кг.

Получение смолы при работе генераторной установки, связанное с обильным выделением азота топлива в виде сернистого аммония, очень развито в настоящее время в Англии, по крайней мере, если судить по литературным данным. В последнее время здесь приобрел значение способ, который сокращенно обозначается способом „L. R. P.“ Этот способ отличается двумя признаками, именно:

- 1) необыкновенно высоким слоем топлива, который достигает 4 м и более;
- 2) добавлением пара в среднем около 1 кг на 1 кг газифицируемого угля.

Газификация по этому способу производится в генераторе с высокой шахтой, который некоторые конструкторы называют ретортным генератором.

Для характеристики генераторной установки, кроме термического коэффициента полезного действия и коэффициента полезного действия газификации, очень важное значение имеют еще материальный и тепловой балансы. Баланс углерода дает возможность контролировать все измерения, взвешивания и анализы. Углерод, введенный в генераторы с топливом, почти нацело должен быть найден как углерод газа, смолы и легкого масла, шлака и летучей пыли. Все, что способно гореть в шлаке и летучей пыли, принимается за чистый углерод. Ошибка, которая вытекает из такого допущения, не имеет существенного значения.

Баланс водорода и водяного пара важен только для полноты картины. Он может служить для определения степени разложения водяного пара, если этого нельзя определить прямым путем.

В тепловом балансе противопоставляют количество теплоты, поступившей в генераторную установку в форме теплотворной способности, физической и скрытой теплоты, израсходованному количеству теплоты ¹.

¹ Например, тепловой баланс некоторой генераторной установки по средним суточным величинам (в миллионах калорий):

Приход	
топливо	95,4 т × 5 215 кал = 497,5
пар	28,65 т × 626 кал = 17,9
воздух	3 790 т × 24 час × 63° × 0,31 . . . = 1,9
	всего . . . 517,3
Расход:	
газ	7 710 м ³ × 24 час × 1 866 кал = 345,5
смола	10,35 т × 9 865 кал = 102,3
легкое масло	0,50 т × 9 940 кал = 5,0
теплосодержание (физическая теплота) газа, смолы, пара	= 22,9
отдача теплоты в охлаждающую рубашку	= 7,6
несгоревшая часть	6,71 т × 16,7% × 8 000 кал = 9,0
	всего . . . 492,3

Таким образом балансом установлено 95,2% теплоты, которая была введена в газогенератор. Разность 4,8% представляет собою потерю лучеиспусканием и другие потери.

Потеря теплоты лучеиспусканием и теплопроводностью, которая значится в графе расхода теплоты, находится по разности. Определение температуры горячего генераторного

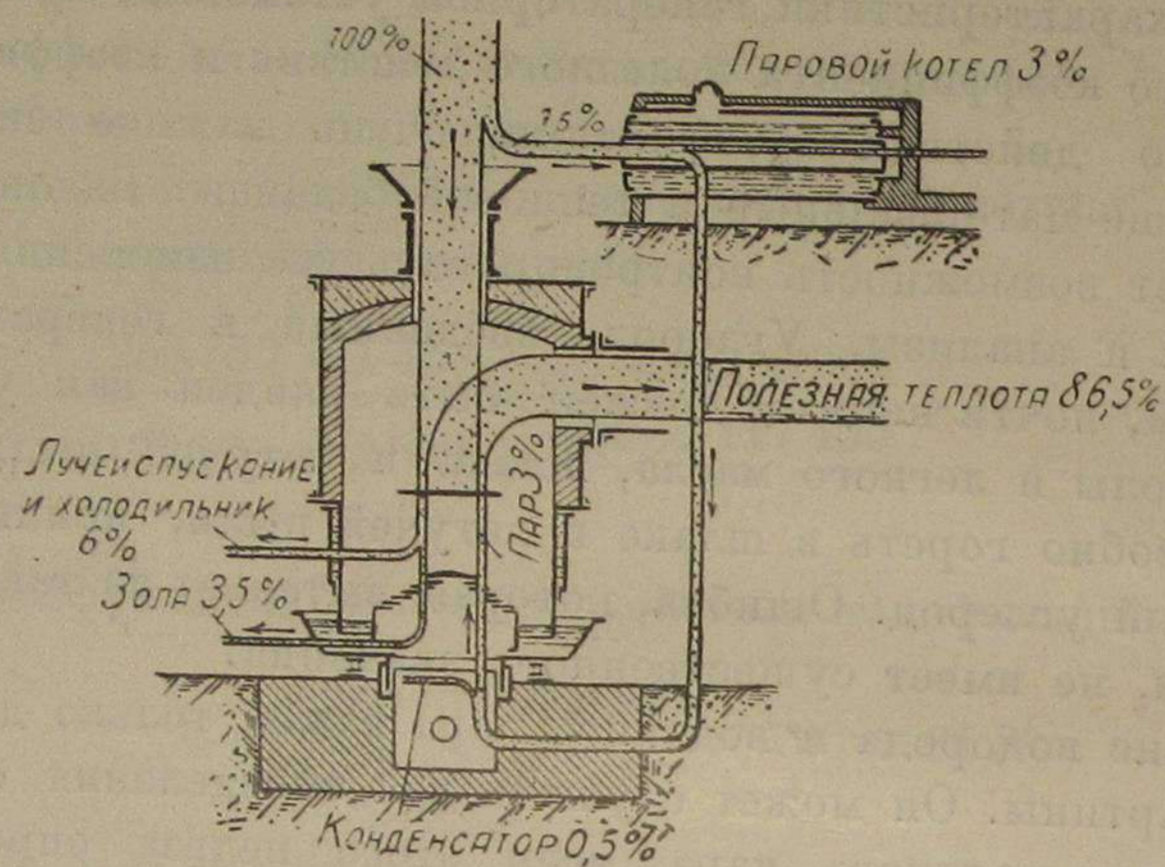


Рис. 52.

газа при выходе из генератора оказывается довольно затруднительным. Прямое измерение термометром или пирометром всегда дает преуменьшенный результат.

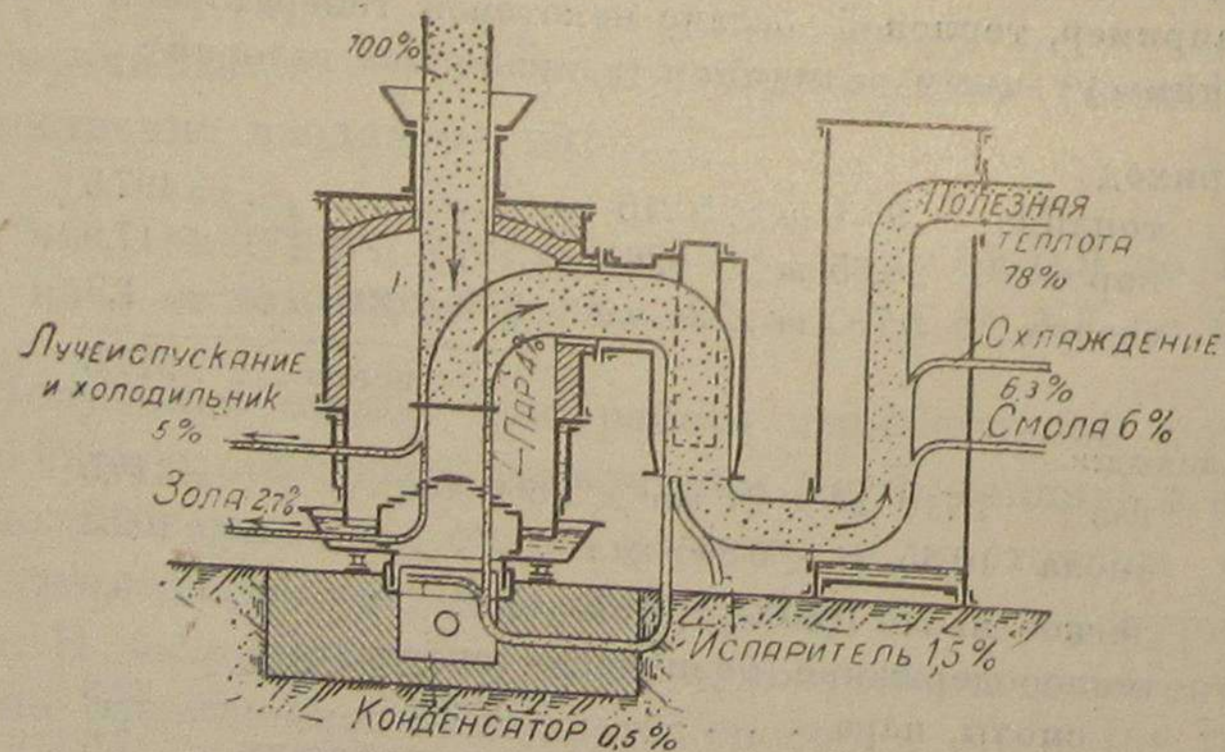


Рис. 53.

Потери теплоты при газификации очень наглядно изображаются диаграммой по способу Занкея. На рис. 52 дается здесь тепловой баланс генератора отопительного газа.

На рис. 53 представлен тепловой баланс генератора силового газа.

Тепловой баланс процесса Дельвик-Флейшера представлен диаграммой на рис. 54.

При вычислении коэффициентов полезного действия и балансов очень неясны условия применения высшей и низшей теплотворной способности. В балансах при точных расчетах

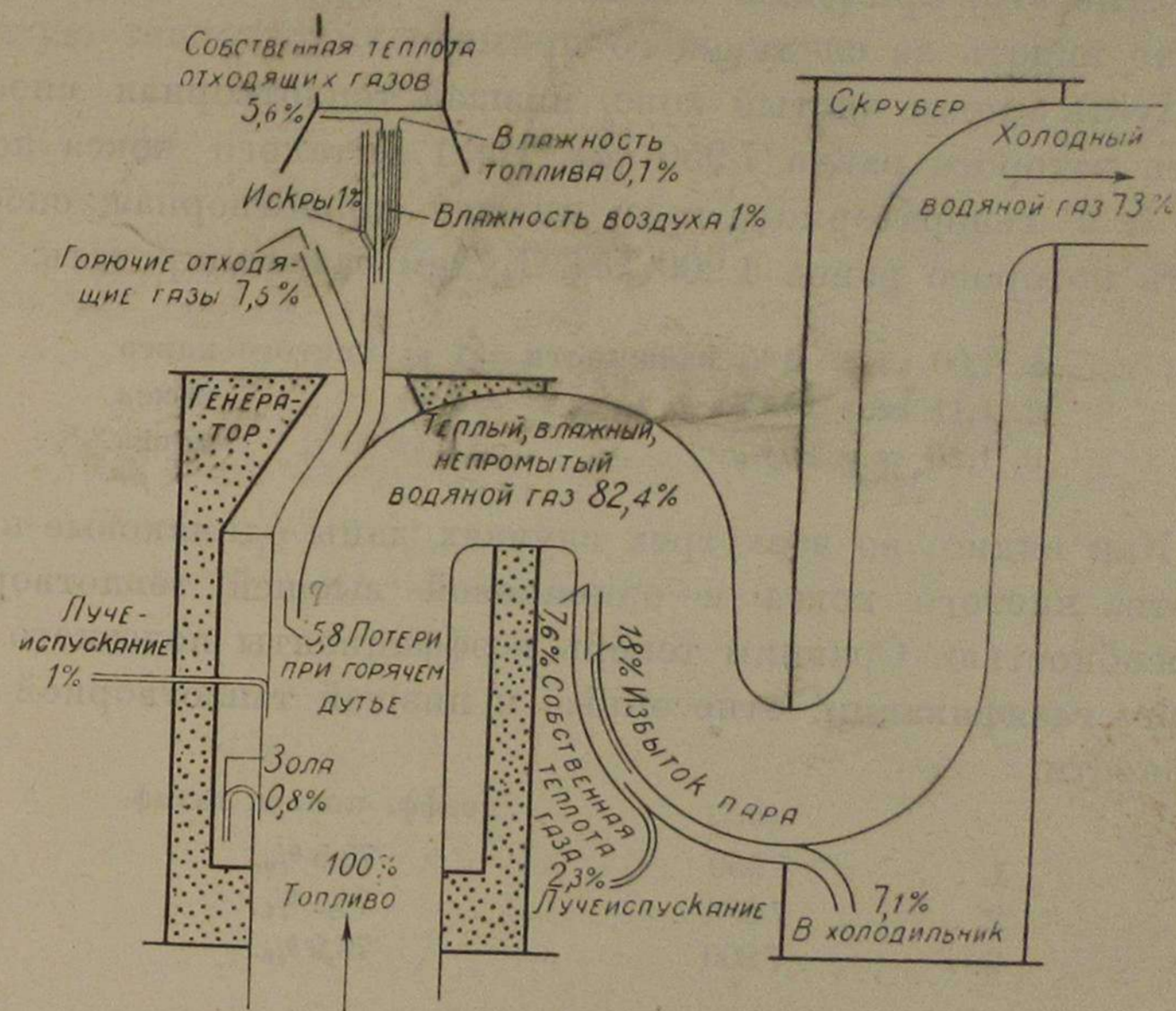


Рис. 54.

в основание кладется 0° ; при сокращенных расчетах — температура помещения или воздуха. Поэтому всегда следует принимать во внимание скрытую теплоту испарения воды и пользоваться высшей теплотворной способностью всех продуктов, как вводимых в процесс, так и выпадающих из него. Так как насыщенный пар обладает только скрытой теплотой, то при вычислении термического коэффициента полезного действия, когда рассматривают превращение пара, правильно принимать в расчет также только высшую теплотворную способность. Но при вычислении коэффициента полезного действия газификации можно усомниться, не правильнее ли будет применение здесь низшей теплотворной способно-

сти. При использовании генераторного газа для отопления печей и паровых котлов вводят в расчеты только низшую теплотворную способность, так как здесь, естественно, скрытая теплота парообразования никогда не может быть использована. Казалось бы поэтому, что при вычислении коэффициента полезного действия газификации также следует пользоваться низшей теплотворной способностью. На самом деле, допустив это, приходим к сомнительным заключениям, как можно видеть из следующего примера.

Пусть имеем чистый кокс, низшая теплотворная способность которого равна 7 950 кал. Из 1 кг такого кокса получим 5 м³ генераторного газа, низшая теплотворная способность которого равна 1 200 кал. Будем газифицировать:

1. 1,00 кг с 0% влажности = 1 кг чистого кокса
2. 1,11 кг с 10% „ = 1 кг „ кокса
3. 1,25 кг с 20% „ = 1 кг „ кокса.

Как видно, во всех трех случаях даны одинаковые количества чистого кокса с одинаковой высшей теплотворной способностью. Сравним теперь коэффициенты полезного действия газификации, отнесенные к низшей теплотворной способности:

	кал	коэфф. пол. д. газиф.
1.	7 950	75,5 %
2.	7 884	76,1 %
3.	7 800	76,9 %

Следовательно выходит, что при низшем пределе теплотворной способности коэффициент полезного действия газификации можно было бы повышать простым увеличением влажности кокса. При этом влажность топлива, в известных пределах, зоны газификации почти не достигает, так как удаляется в самом верхнем поясе, где производится подсушивание топлива.

Спорным также приходится считать способ вычисления полученного количества теплоты по низшей теплотворной способности газифицируемого чистого кокса, так как это может повести к некоторой неясности. Может быть или высшая теплотворная способность технического кокса, следовательно, количество чистого кокса, помноженное на высшую теплотворную способность чистого кокса, или низшая тепло-

творная способность технического кокса, следовательно, количество чистого кокса, помноженное на высшую теплотворную способность чистого кокса, без теплоты парообразования. Низшая теплотворная способность чистого кокса в применении к техническому (влажному) коксу представляет из себя только некоторое теоретическое число¹. Поэтому в интересах простоты следует и при вычислении коэффициента полезного действия газификации вводить в расчет высшую теплотворную способность.

¹ Zeitschrift des Vereines d. Ingenieure, 1925, тетрадь 36, стр. 1164, Vorschlag der Hauptstelle für Wärmewirtschaft.

VIII. ТОПЛИВО ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

Уголь и кокс

Техника производства теплоты очень стара. Она и до сих пор еще покоится главным образом на сжигании имеющихся в природе запасов топлива. Первоначально это было дерево, которое только и делало обитаемым наш суровый север. А в настоящее время это — ископаемый уголь, значение которого непрерывно возрастает.

Уголь, являясь идеальным запасом энергии солнечного света, по справедливости считается основанием современной технической культуры. Естественно, что он является и главным видом топлива газогенераторов.

Главные составные части генераторного газа представляют из себя продукты газификации угля, подвергшегося перед тем сухой перегонке. Мы видели уже, что засыпанный в генератор уголь сначала проходит процесс сухой перегонки и уже в виде кокса поступает в зону газификации. Следовательно процессы в нижней части генератора всегда одни и те же, независимо от того, газифицируется ли кокс или битуминозный уголь. Различие газов состоит только в продуктах сухой перегонки, существенную часть которых составляют H_2 , CH_4 , $C_m H_n$ и смоляные пары.

Если обозначить посредством H_u низшую теплотворную способность газа в $кал/м^3$, W_R теплосодержание отходящих газов, то достоинства различных отопительных газов можно выразить коэффициентом полезного действия газа при 0° , сожженного в воздухе при 0° , принимая температуру отходящих газов равной 1000° . Этот коэффициент полезного действия выразится ¹ формулой:

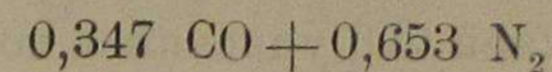
$$\frac{H_u - W_R}{H_u}$$

¹ Feuerungstechnik, 1917, стр. 53—55.

или

$$1 - \frac{W_R}{H_u}$$

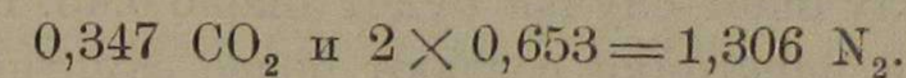
Газификация обыкновенно производится или посредством чистого воздуха или посредством смеси воздуха и пара. В первом случае идеальный состав газа был бы такой:



при

$$H_u = 1057.$$

Дымовой газ в этом случае состоял бы из



Теплосодержание при 1000° дымового газа будет:

$$W_R = 1000 \times (0,501 \times 0,347 + 0,325 \times 1,306) = 598.$$

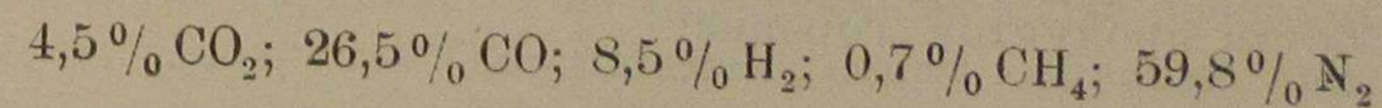
Здесь 0,501 — средняя удельная теплота CO_2 при 1000° и 0,325 — средняя удельная теплота N_2 при 1000° .

Стало бы коэффициент полезного действия газа будет:

$$1 - \frac{W_R}{H_u} = 1 - \frac{598}{1057} = 0,434.$$

Все газы этого рода дают на практике низкий коэффициент полезного действия ввиду значительного количества CO_2 , которое они содержат кроме CO .

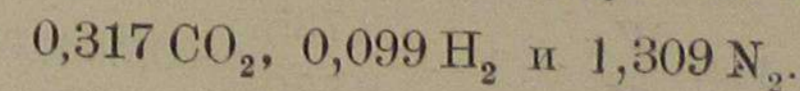
Как известно, прибавлением к воздуху, который вводят в генератор, водяного пара теплотворную способность газа можно до известной степени повысить. Из кокса, например, можно получить смешанный газ такого состава:



при

$$H_u = 1082 \text{ кал/м}^3.$$

Продукты горения этого газа будут иметь состав:



При средней удельной теплоте водяного пара 0,395 при 1000° теплосодержание продуктов горения будет:

$$W_R = 1000 \times (0,317 \times 0,501 + 0,099 \times 0,395 + 1,309 \times 0,325) = 623$$

и

$$1 - \frac{W_R}{H_u} = 1 - \frac{623}{1082} = 0,424.$$

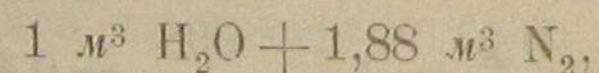
Коэффициент полезного действия этих газов вообще потому невелик, что здесь каждому м^3 CO, происшедшему из кислорода воздуха, соответствует примесь $1,88 \text{ м}^3$ N_2 и каждому м^3 неизбежной CO_2 удвоенное количество N_2 , отчего значительно увеличивается отношение $\frac{W_R}{H_u}$.

При горении в холодном воздухе коэффициент полезного действия в лучшем случае будет около 0,45. Наоборот, продукты сухой перегонки создают более заметное повышение теплотворной способности газа.

1. Коэффициент полезного действия:

$$\text{H}_2 \text{ при } H_u = 2600 \text{ кал/м}^3.$$

Состав продуктов горения:



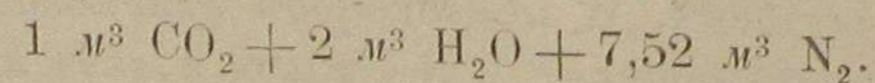
$$W_R = 1000 \times (1 \times 0,395 + 1,88 \times 0,325) = 1006 \text{ кал}$$

$$1 - \frac{W_R}{H_u} = 1 - \frac{1006}{2600} = 0,613.$$

2. Коэффициент полезного действия:

$$\text{CH}_4, \text{ при } H_u = 8570 \text{ кал/м}^3.$$

Состав продуктов горения:



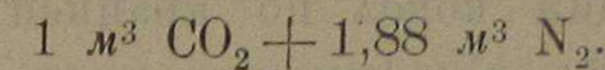
$$W_R = 1000 \times (1 \times 0,501 + 2 \times 0,395 + 7,52 \times 0,325) = 3735 \text{ к. л.}$$

$$1 - \frac{W_R}{H_u} = 1 - \frac{3735}{8570} = 0,564.$$

3. Коэффициент полезного действия CO, образовавшейся из кислорода угля,

$$\text{при } H_u = 3046 \text{ кал/м}^3.$$

Состав продуктов горения:



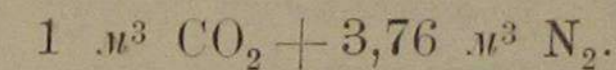
$$W_R = 1000 \times (1 \times 0,501 + 1,88 \times 0,325) = 1112 \text{ кал.}$$

$$1 - \frac{W_R}{H_u} = 1 - \frac{1112}{3046} = 0,635.$$

4. Коэффициент полезного действия

$$\text{C (сажа) при } H_u = 8100 \text{ кал/кг.}$$

0,536 кг C образуют продукты горения:



$$W_R = 1000 \times (1 \times 0,501 + 3,76 \times 0,325) = 1723 \text{ кал.}$$

Теплота образования $1 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$, $H_u = 4341$,

$$1 - \frac{W_R}{H_u} = 1 - \frac{1723}{4341} = 0,603.$$

Из произведенных вычислений прежде всего обнаруживается факт, что при прочих одинаковых условиях коэффициент полезного действия генераторного газа, полученного из угля, всегда больше, чем полученного из кокса.

Так как большее или меньшее значение выражения $1 - \frac{W_R}{H_u}$ равносильно большей или меньшей теоретической температуре горения, то из приведенных выше соображений следует далее, что достигаемая самая высокая часовая производительность на данной топочной установке всегда выше при генераторном газе из угля, чем из кокса. Это объясняется более высокой температурой горения в первом случае. При этом, конечно, предполагается, что все остальные условия одинаковы.

Чтобы получить коэффициент полезного действия теплоты топлива, отнесенный ко всей топочной установке, следует помножить коэффициент полезного действия печи на коэффициент полезного действия газогенератора. И так как последний коэффициент находится в обратном отношении

к потере теплоты газогенератором и эту потерю можно считать при газификации кокса по крайней мере такой же величины, как и при газификации угля, то можно будет высказать правило: тепловое достоинство кокса как генераторного топлива ниже, чем угля.

Рассмотрим теперь еще такой пример.

Пусть при газификации угля получен генераторный газ такого состава:

$$\text{CO}_2 = 3,5\%; \text{CO} = 28\%; \text{H}_2 = 11\%; \text{CH}_4 = 1,5\%; \text{N}_2 = 56\%.$$

Теплотворная способность его $H_u = 1262 \text{ кал/м}^3$.

А при газификации кокса получили генераторный газ следующего состава:

$$\text{CO}_2 = 4,5\%; \text{CO} = 26,5\%; \text{H}_2 = 8,5\%; \text{CH}_4 = 0,7\%; \text{N}_2 = 59,8\%.$$

Теплотворная способность его $H_u = 1082 \text{ кал/м}^3$.

По Ф. Гофману (F. Hoffmann) теплотворная способность генераторного газа из угля повышается вследствие содержания в нем смолы на 5—10%. Если взять среднюю величину, именно 7,5%, то увеличение теплотворной способности от названной причины составит в данном случае 95 кал. Теплотворная способность газа из кокса останется без изменения.

Надо решить вопрос, какой из этих газов окажется выгоднее при сжигании в мартеновской печи.

Механическая теория теплоты дает для передачи теплоты горячим газовым потоком массе, которая находится в покое (как это наблюдается в печи Мартена), такое уравнение:

$$W = \frac{K \cdot F \cdot (T_0 - T_1)}{\ln \frac{T_0 - t}{T_1 - t}},$$

в котором означают:

W — количество теплоты, которое передается в час, в кал,

K — коэффициент передачи теплоты кал/м³/час,

F — поверхность нагрева в м²,

T_0 — теоретическую температуру горения,

T_1 — температуру отходящих газов,

t — температуру массы, воспринимающей теплоту, которая наблюдается незадолго до окончания плавки.

В нашем случае формула передачи теплоты может быть представлена в таком виде:

$$W = C \cdot \frac{T_0 - T_1}{\log \frac{T_0 - t}{T_1 - t}}.$$

Здесь одинаково для генераторного газа из угля и из кокса

$$C = \frac{K \cdot F}{2,303}.$$

Если подставить в формулу $t = 1300^\circ$ и для газа из угля $T_1 = 1600^\circ$, то после вычисления T_0 и W получим величину C . Теперь можно будет вычислить T_1 и для газа из кокса. Тогда из найденных производительностей 1 м³ газа получим массы газа, которые необходимо израсходовать.

1. Вычисление теоретической температуры горения генераторного газа из угля.

Эта температура зависит от количества теплоты, которое приходится на 1 м³ дымового газа. Общее количество теплоты, которое подводится в печь с 1 м³ газа, составляется из теплотворной способности газа, физической теплоты газа и физической теплоты воздуха:

$$H_u + W_G + W_L = 1262 + 95 + W_G + W_L.$$

Пусть газ подогрет до 1200°. Средние удельные теплоемкости газов при этой температуре будут, по Кюрцелю и Вайгтону (C. R. Kurzell и G. Wigton¹), 0,516 для CO₂, 0,493 для CH₄ и 0,329 для остальных газов.

Тогда будет:

$$W_G = 1200 \times (0,516 \times 0,35 + 0,493 \times 0,015 + 0,329 \times 0,95) = 406 \text{ кал.}$$

Количество кислорода, необходимое для сжигания газа, получится как сумма:

$$0,140 + 0,055 + 2 \times 0,015 = 0,225 \text{ м}^3.$$

К этому следует прибавить еще количество кислорода, необходимое для сжигания смоляных паров.

¹ Feuerungstechnik, 1915/16, стр. 191—192.

Смоляные пары при горении образуют CO_2 , H_2O и значительное количество свободного углерода. Допустим, что упомянутые выше 95 кал покрываются образованием одинаковых количеств CO_2 и H_2O . Так как при образовании 1 м³ CO_2 выделяется 4341 кал и 1 м³ H_2O (пара) 2600 кал, то CO_2 и H_2O образуется по 0,0136 м³, для чего расходуется кислорода

$$0,0136 + \frac{0,0136}{2} = 0,0204 \text{ м}^3,$$

а всего потребляется кислорода

$$0,225 + 0,0204 = 0,2454 \text{ м}^3.$$

Отсюда определяем теоретическое количество воздуха:

$$0,2454 \times 4,76 = 1,168 \text{ м}^3.$$

При подогревании воздуха до 1300° и соответствующей средней удельной теплоемкости 0,331 получим, что

$$W_L = 1300 \times 1,168 \times 0,331 = 502 \text{ кал};$$

$$H_u + W_G + W_L = 1357 + 406 + 502 = 2265 \text{ кал.}$$

Количество дымового газа, который воспринимает эту теплоту, составляет из:

CO_2	H_2O	N_2	
0,035	0,110		
0,280	0,030	вторичный	$0,2454 \times 3,76 = 0,9297$
0,015	—	первичный	$= 0,5600$
<u>0,0136</u>	<u>0,0136</u>		
0,3436	0,1536		<u>1,4897</u>

Всего дымового газа будет 1,98 м³. Следовательно на 1 м³ дымового газа приходится теплоты

$$\frac{2265}{1,98} = 1144 \text{ кал.}$$

Если среднюю удельную теплоемкость дымового газа обозначим C_p , то получим, что

$$T_0 \cdot C_p = 1144.$$

Но C_p (по Кюрцелю и Вайгтону) = 0,423, следовательно, $T_0 = 2705^\circ$.

2. Вычисление теоретической температуры горения генераторного газа, полученного из кокса.

$$H_u = 1082 \text{ кал/м}^3;$$

$$W_G, \text{ как в и в 1 случае} = 406.$$

Требуется кислорода для сжигания 1 м³ газа:

$$\frac{0,265 + 0,085}{2} + 2 \times 0,007 = 0,189 \text{ м}^3.$$

Это соответствует количеству воздуха:

$$0,189 \times 4,76 = 0,9 \text{ м}^3.$$

Количество дымового газа будет:

CO_2	H_2O	N_2	
0,045	0,085		
0,265	0,014	вторичный	$0,189 \times 3,76 = 0,711$
0,007	—	первичный	$= 0,598$
<u>0,317</u>	<u>0,099</u>		<u>1,309</u>

Всего дымового газа будет 1,725 м³. Следовательно на 1 м³ дымового газа приходится теплоты

$$\frac{1875}{1,725} = 1087 \text{ кал.}$$

Средняя удельная теплоемкость дымового газа C_p (вычисленная по способу Кюрцеля и Вайгтона) равна 0,414. Стало быть $T_0 \cdot C_p = T_0 \cdot 0,414 = 1087$,

$$T_0 = 2623^\circ.$$

Средние удельные теплоемкости продуктов горения, при температуре отходящих газов для генераторного газа из угля 1600°, будут для CO_2 —0,540; для H_2O —0,438; N_2 —0,338.

Тогда теплосодержание дымового газа W_R будет:

$$W_R = 1600 \times (0,540 \times 0,3436 + 0,438 \times 0,1536 + 0,338 \times 1,4827) = 1206.$$

Следовательно использованная теплота

$$W = 2265 - 1206 = 1059 \text{ кал.}$$

Теперь воспользуемся уравнением для передачи теплоты

$$1059 = C \cdot \frac{2705 - 1600}{\log \frac{2705 - 1300}{1600 - 1300}}$$

откуда

$$C = 0,6426.$$

Это для генераторного газа из угля.

Следовательно и для генераторного газа из кокса можем написать

$$1059 = 0,6426 \times \frac{2623 - T_1}{\log \frac{2623 - 1300}{T_1 - 1300}}$$

или

$$1648 = \frac{2623 - T_1}{3,12156 - \log(T_1 - 1300)}$$

Определяем из этого выражения температуру отходящих газов:

$$T_1 = 1630^\circ.$$

Теплосодержание отходящих газов W_R будет для генераторного газа из кокса:

$$W_R = 1630 \times (0,540 \times 0,317 + 0,438 \times 0,099 + 0,338 \times 1,309) = 1071 \text{ кал.}$$

Использованная теплота для 1 м³ газа из кокса равна:

$$1875 - 1071 = 804 \text{ кал.}$$

Следовательно, чтобы получить ту же производительность, какую обнаруживает 1 м³ генераторного газа из угля, необходимо израсходовать газа из кокса

$$\frac{1059}{804} = 1,32 \text{ м}^3.$$

Но генераторный газ из кокса еще и потому хуже газа из угля, что он не благоприятствует развитию пламени.

Недавно профессор Б. Осани (горная академия в г. Клаустале, в Германии) поставил себе задачу — выяснить на опыте самую благоприятную высоту слоя угля в генераторе, чтобы получить хороший генераторный газ¹. Он пользовался генератором с вращающейся решеткой Ауера. Диаметр шахты был равен 2800 мм. Газифицировали уголь, который имел такой состав:

	C %	H ₂ %	N ₂ %	O ₂ %	S %	A	W	Q
Влажное топливо	75,24	2,86	1,12	8,83	1,86	6,11	3,98	7,559
Сухое топливо	78,40	2,98	1,16	9,20	1,94	6,32	—	7,876
Горючая часть топлива	83,7	3,17	1,24	9,82	2,07	—	—	8,428

A означает золу, W — влажность, Q — теплотворную способность топлива.

Класс угля определялся положением между газовым и короткопламенным. Это был хороший уголь, но склонный к спеканию, так что требовал очень внимательного шурования. Шлак он давал легкоплавкий (1125°).

Результаты исследования сопоставлены на двух таблицах ниже.

Опыт при меняющейся высоте слоя

Высота слоя (в мм)	500	600	700	800	900	1000
Давление воздуха в трубе (в мм вод. столба)	200	200	220	220	230	240
Давление газа в трубе (в мм вод. столба)	70	70	70	70	65	60
Сожжено угля в 24 часа . . . T	13	12,5	12	11,5	10	9,5
Добавление пара на 1 кг угля кг	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Температура воздушного дутья (в град. С)	30	30	30	30	30	30
Температура пара (в град. С)	160	150	160	160	160	160
Температура отходящего генераторного газа (в град. С)	864	820	760	760	166	580
Работа шурования	1 чел.	1 чел.	1 чел.	1 чел.	2 чел.	2 чел.
	напряжен- ная	нормальная	нормальная	напряжен- ная		

¹ Stahl und Eisen, 1925, № 37.

Состав газа в %

H ₂ O (в г/м ³)	85	110	74	95	120	105
CO ₂	5,4	4,6	2,8	2,8	3,4	1,8
C _n H _m	—	—	—	—	—	—
O ₂	0,4	—	0,4	0,6	0,8	1,2
CO	23,2	24,2	28,2	29,4	26,6	28,6
H ₂	10,3	10,8	11,4	11,4	10,6	10,2
CH ₄	2,2	2,1	1,8	2,0	1,4	2,1
N ₂	58,5	58,3	55,4	53,8	57,2	56,1
Горючие части	36,1	37,1	42,2	43,4	39,4	42,1
Теплотворная способность сухого газа (в кал/м ³) . . .	1 157	1 192	1 302	1 355	1 200	1 308
Температ. горения (в град. С)	1 362	1 373	1 481	1 498	1 402	1 471

Опыт при меняющемся добавлении пара
(высота слоя 750 мм)

Давление воздуха в трубе (мм вод. столба)	180	180	200	210	225	240
Давление газа в трубе (мм вод. столба)	60	70	70	70	70	70
Сожжено угля в 24 часа . м	12	12	12	12	12	12
Добавление пара на 1 кг угля (в кг)	0,1	0,2	0,4	0,3	0,5	0,6
Температура отходящего ге- нерат. газа (в град. С) . . .	770	771	728	681	633	580

Состав газа в %

H ₂ O (в г/м ³)	45	37	70	68	123	152
CO ₂	1,8	2,6	2,6	3,4	4,3	5,4
C _n H _m	—	—	—	—	—	—
O ₂	0,6	—	0,3	0,2	—	—
CO	29,8	27,6	28,0	28,4	27,6	25,7
H ₂	8	10,1	10,6	12	12,4	15,4
CH ₄	0,7	0,8	1	1,8	0,8	1,2
N ₂	59,1	58,9	57,5	54,2	55,1	52,3
Горючие части	39,1	38,5	40,0	42,4	40,8	42,3
Теплотворная способ- ность (в кал/м ³)	1 165	1 162	1 206	1 324	1 224	1 281
Температура горения (в гр. С)	1 449	1 450	1 453	1 475	1 369	1 390

Оказалось, что самая благоприятная высота топливной колонны заключается между 700 и 800 мм, считая от горизонтальной линии, которая проходит на 20 см выше вершины конуса решетки, т.-е. которая проходит над поверхностью шлакового слоя. Следует заметить, что шлаковый слой наибольшей высоты достигает у стенок шахты и наименьшей над конусом решетки. Поэтому решетка Ауера была снабжена двумя придатками вроде крыльев. Действием этих придатков создавалась горизонтальная поверхность слоя шлаков.

Подобно решетке Ауера действует фрезерная, правильнее крыльчатая решетка генератора, представленного на рис. 55. Вращающаяся решетка этого генератора (Коллер А. V. G.) устроена центрически. Центрическое действие при небольшом сравнительно весе решетки благотворно отражается на прочности генератора, хотя и не вызывает такого шевеления топлива по всей колонне, какое наблюдается при эксцентрической вращающейся решетке.

Добавление водяного пара в опытах профессора Осанна оказалось самым благоприятным в количестве от 0,3 до 0,4 кг на 1 кг угля.

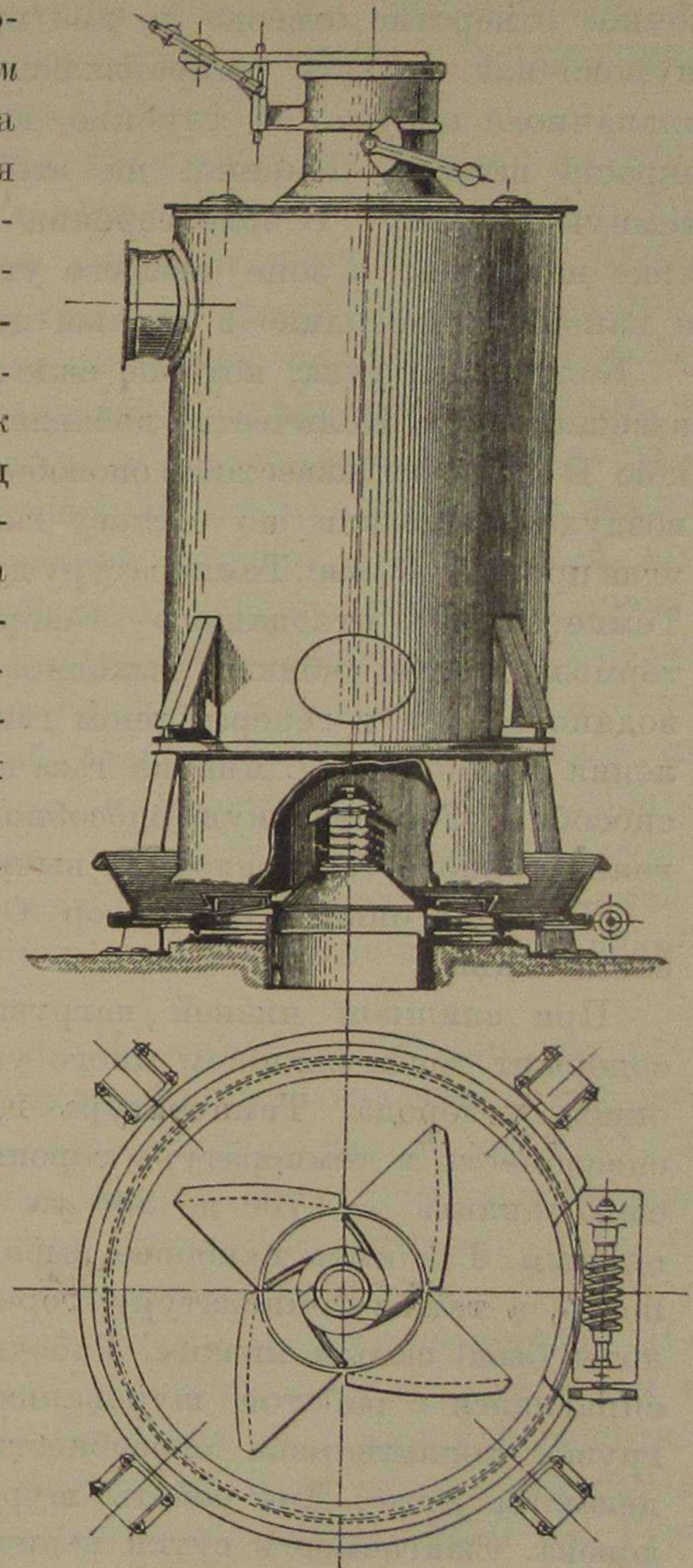


Рис. 55.

Следует упомянуть еще, что высоту слоя топлива измеряли кочегарской штангой, которую вводили сквозь шуровочное отверстие отвесно до дна вращающейся ванны. Одна шуровочная штанга направлялась наклонно к верхушке колпачного конуса. О глубине шлакового слоя судили по окраске штанги. Именно, на этой глубине штанга имела темную окраску. В зоне горения и газификации она была ярко накалена, в зоне свежего угля яркое каление темнело и наконец переходило в черный цвет.

Количество угля, которое сжигали в 24 часа, определяли взвешиванием. Количество добавляемого пара измеряли трубкою Вентури известным способом. Количество подводимого воздуха вычисляли по составу газа (3 м³ воздуха на 1 кг угля при 0° и 760 мм). Температуру дутья принимали равной 30°. Температуру отходящего генераторного газа измеряли термоэлементом вблизи выходного отверстия. Количество водяного пара в генераторном газе находили путем определения точки росы¹. Анализ газа производили обыкновенным способом. Теплотворную способность и температуру горения генераторного газа находили вычислением.

Из своих опытов профессор Осанн делает следующие заключения.

При слишком низкой нагрузке состав газа плох; газ содержит тогда слишком много углекислоты и слишком мало окиси углерода. Температура газа высока — теплотворная способность и температура горения газа низки. При высоте слоя топлива от 700 до 800 мм состав газа был наиболее ценным. Газ имел наиболее высокую теплотворную способность, а также температуру горения. Содержание углекислоты было самым низким. Рабочий без особого напряжения справлялся с работой шурования. При более высокой нагрузке теплотворная способность и температура горения делаются ниже. Для работы шурования уже требуется 2 человека. Сжигаемое в сутки количество угля слишком велико при небольшой высоте слоя и слишком мало при высоком слое.

Что касается количества добавляемого пара, то в этом отношении наблюдали, что если это количество было слишком

¹ Mitteilung der Wärmestelle des Vereins deutscher Eisenhüttenleute, Nr. 26.

мало, то теплотворная способность газа была очень низка, — газ хотя и содержал мало углекислоты, но зато содержал мало водорода. Опыт Осанна подтверждает известное правило, что количество водорода в генераторном газе следует поддерживать около 11%.

К выводам профессора Осанна необходимо добавить еще, что при таком ходе генератора, когда на 1 кг угля добавляют не более 0,5 кг водяного пара нечего и думать об экономичном отъеме побочных продуктов газификации.

Еще не так давно температуре приписывали преобладающее влияние, по сравнению с другими условиями, на восстановление углекислоты и разложение водяного пара. Только со времени исследований Будурда стали выдвигать на первое место влияние фактора времени, т.е. продолжительности взаимодействия твердого топлива и средств газификации (кислорода воздуха и водяного пара). Полезная продолжительность соприкосновения топлива с паром и кислородом воздуха в высокой степени зависит от физических свойств топливной колонны и прежде всего от ее газопроницаемости. Наблюдения последнего времени приводят к мысли, что в слое топлива, который пропускает газ равномерно, хорошее образование газа возможно и при умеренной температуре.

Опыт профессора А. А. Надежина (Москва) показал, что бурообразный подмосковный уголь, известный под именем „курного“, в отношении газификации не представляет исключения. Выполненная им опытная газификация дала вполне удовлетворительный результат. Нельзя, хотя бы вкратце, не коснуться этой интересной работы.

Опытный генератор, на котором работал профессор Надежин, входит в состав газогенераторной установки из девяти генераторов с вращающейся колосниковой решеткой системы Гильгера¹. Чистый диаметр шахты генератора равен 2560 мм, а высота шахты составляет 4650 мм. Генератор Гильгера в отдельности представлен на рис. 56.

Воздух во все генераторы подается одним вентилятором, работающим от электромотора в 100 лошадиных сил. Кроме

¹ На большом московском металлическом заводе, б. Гужона, ныне „Серп и Молот“.

того каждый генератор снабжен аппаратом Кертинга для нагнетания воздуха с помощью парового дутья.

Производимый установкой генераторный газ поступает в общий газопровод, наружный диаметр которого равен 2250 мм. Перед тем он проходит сухую пылеуловительную камеру. Такая камера находится у каждого генератора. Пылеуловительные камеры и газопровод снабжены люками

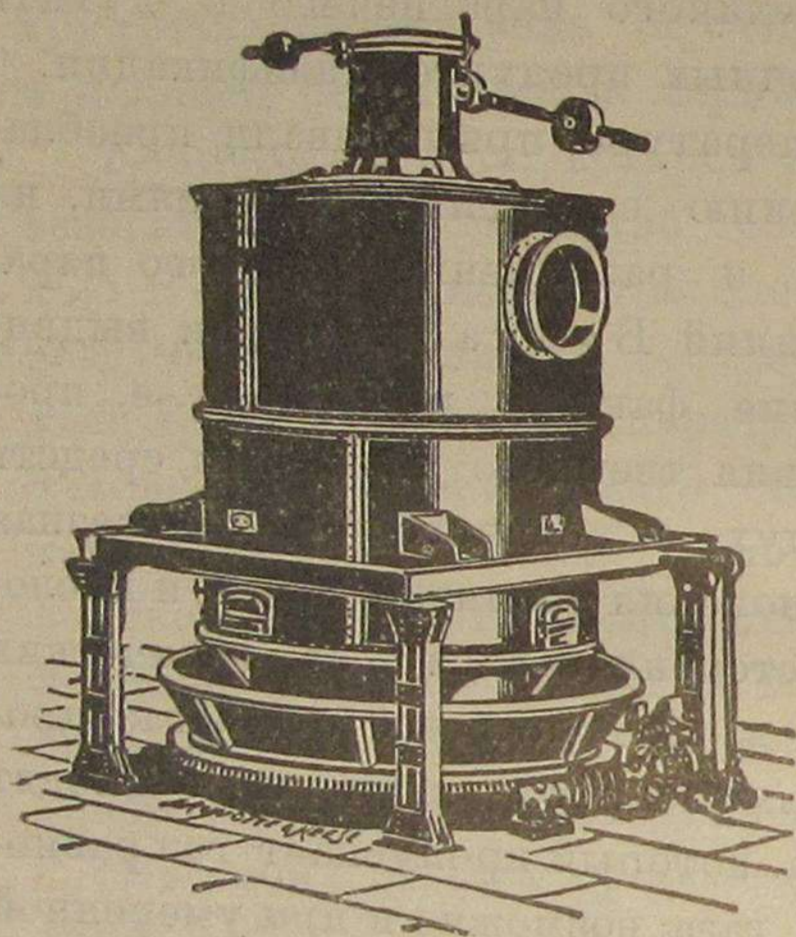


Рис. 56.

для осмотра их и очистки. Три трубы, наружный диаметр которых равен 1150 мм, газ обыкновенно отводится из главного газопровода в мартеновские печи. Генератор, на котором ставил свой опыт профессор Надежин, отличается от других тем, что приспособлен для газификации влажного топлива. Именно, он снабжен особой „юбкой“, благодаря которой топливо, поступившее в шахту из засыпной воронки обычного типа, распределяется по четырем квадрантам. Здесь происходит подсушивание угля и его сухая перегонка. Водяной пар и продукты сухой перегонки направляются отсюда в нижнюю часть шахты и присоединяются к генераторному газу у нижнего края „юбки“. Эта юбка играет роль внутренней перегонной реторты. Она обогревается снаружи генераторным газом, поднимающимся из зоны газификации. Кроме того горячий генераторный газ отчасти протекает таким образом, что омывает плоские стенки внутреннего креста и также подогревает топливо. Четыре круглых отверстия креста (диаметром 100 мм), с одной стороны, служат для протекания генераторного газа по кресту, а с другой стороны, позволяют производить шурование топлива штангой. Газ, получаемый от газификации курного угля, по особому трубопроводу (диаметр 600 мм) отводили в котельную, где сжигали под

для осмотра их и очистки. Три трубы, наружный диаметр которых равен 1150 мм, газ обыкновенно отводится из главного газопровода в мартеновские печи.

Генератор, на котором ставил свой опыт профессор Надежин, отличается от других тем, что приспособлен для газификации влажного топлива. Именно, он снабжен особой „юбкой“, благодаря которой топливо, поступившее в шахту из засып-

батарейными котлами. Колосниковая решетка генератора Гильгера была переделана соответствующим образом.

Перед пуском в генератор загрузили 5600 кг мартеновского шлаку и поверх 2112 кг дров.

24 ноября 1921 года в 12 час. 15 мин. дрова были зажжены; в 12 час. 26 мин. в шахту опустили первую воронку угля, а в 12 час. 36 мин. пустили вентилятор и таким образом начали подачу воздуха под колосники. В 15 час. 40 мин. генератор уже давал вполне удовлетворительный газ. Ниже на таблице приведены средние величины состава газа в объемных процентах за время с 24 по 30 ноября и указана теплотворная способность его на 1 м³.

Согласно данным лабораторного анализа, состав средней пробы угля представляется в таком виде:

C	38,33 %
H ₂	3,13 %
O ₂	7,06 %
N ₂	0,65 %
S	3,53 %
зола	15,75 %
влага	31,50 %

Такому составу рабочего топлива соответствует состав горючей части:

C	77,95 %
H ₂	6,36 %
O ₂	14,37 %
N ₂	1,32 %
	100,00 %

Теплотворная способность горючей части (по формуле Менделеева) составляет 7407 кал/кг.

Теплотворная способность рабочего топлива равна 3500 кал/кг (тоже по формуле Менделеева).

Средняя проба угля (300,5 кг), просеянная на пяти ситах с квадратными отверстиями 58 × 58, 38 × 38, 26 × 26, 11 × 11, 5,5 × 5,5 мм, оказалась такого зернения:

сито 58 × 58 мм	осталось на сите	1 %
„ 38 × 38 „	„ „	14 %
„ 26 × 26 „	„ „	29 %
„ 11 × 11 „	„ „	29 %
„ 5,5 × 5,5 „	„ „	12 %
„ 5,5 × 5,5 „	провалилось	15 %

Таблица состава газа на побединском и товарковском угле

Курной уголь	Товарковский												
	П		О		Б		Е		Д		И		
	24	25	26	27	28	29	30	Среднее значение	От — до	Среднее значение	От — до		
CO . . . %	17,57	20,47	19,05	20,2	22,92	22,07	22,1	22,07	18,9	22,07	22,6	12,1	9,8—15,4
H ₂ . . . %	11,37	11,76	12,32	10,1	11,8	15,0	12,6	15,0	9,7	10,4	16,9	12,6	10,9—13,6
CH ₄ . . . %	1,5	1,07	1,25	1,1	1,29	1,34	2,0	1,34	0,8	0,95	1,64	2,0	1,7—2,3
CO ₂ . . . %	11,47	9,39	13,22	6,2	8,31	8,96	14,86	8,96	6,9	7,9	8,6	14,86	12,9—16,4
O ₂ . . . %	0,53	0,39	0,48	0,2	1,01	0,36	0,5	0,36	0,1	0,0	0,5	0,5	0,3—0,8
N ₂ . . . %	58,01	56,96	53,68	55,59	54,69	53,17	57,94	53,17	—	—	—	—	—
Теплотворная способность сухого газа (в кал/м ³)	963	1025	1011	1100	1119	1182	—	—	—	—	—	—	—

Состав сухого генераторного газа, согласно данным анализа, получен в объемных процентах:

CO	20,32%
H ₂	12,15%
CH ₄	1,38%
H ₂ S	0,80%
CO ₂	8,82%
O ₂	1,15%
N ₂	55,38%
	100%

Теплотворная способность такого газа равна 1100 кал/м³.

Известно, что при нормальных условиях свободный кислород входит в состав газа в едва измеримых следах. Если же все-таки кислород имеется в составе газа, то это означает, что он проник в генераторный газ выше восстановительной части зоны горения или вследствие неплотности верхней части шахты и газопровода или при неосмотрительном взятии газовой пробы. В данном случае количество наружного воздуха составляет 5,47%. Следовательно состав генераторного газа, неразбавленного воздухом, будет такой:

CO	21,48%
H ₂	12,84%
CH ₄	1,46%
H ₂ S	0,85%
CO ₂	9,44%
N ₂	54,33%

И теплотворная способность генераторного газа в действительности будет 1160 кал/м³.

Содержание углерода в шлаке определяли прокаливанием шлака. Оно оказалось равным 2,94%. Эта потеря углерода в шлаке составляет 0,48% веса рабочего топлива.

Коэффициент полезного действия газификации профессором Надежиным вычисляется для горячего газа в 72,9% для холодного газа — в 71,0%.

Анализ четырех проб жидкого осадка из четырех различных мест в газопроводе обнаружил в них значительное количество смолы. Например 4-я проба, из газопровода в котельной, представляла из себя жидкость, разделенную на два слоя: верхний — подвижной — 55,3%; нижний — смо-

лообразный — 44,7%. Верхний слой представляет из себя аммиачную воду. Состав нижнего слоя такой:

вода	35,77%
легкое масло (97—100%)	4,47%
масло (100—170%)	2,23%
выше 170° (нафталин, фенол)	2,23%

(анализ профессора В. Р. Вильямса).

Наличие значительного количества смолы в газопроводных осадках наводит на мысль о возможности газификации подмосковного курного угля с получением смолы. В противном случае необходимы меры к переводению углерода смолы в генераторный газ в шахте генератора.

После 30 ноября опыт продолжался непрерывно с 1 по 12 декабря. При этом первые три дня занимались переработкой товарковского угля, а в последующие дни газифицировали уголь с заводского склада, пролежавший на дворе свыше трех лет. Полученные результаты сопоставлены ниже на таблице.

Состав сухого генераторного газа

Т о в а р к о в с к и й у г о л ь						
Декабрь	1		2		3	
	Среднее	От — до	Среднее	От — до	Среднее	От — до
1921 года						
CO %	25,8	20,8—29,0	20,94	14,9—27,1	21,77	15,7—26,0
H ₂ %	9,55	7,9—11,5	14,54	11,6—17,2	11,25	9,9—13,0
CH ₄ %	1,29	0,54—2,0	1,58	0,9—2,5	1,29	0,59—2,25
CO ₂ %	6,41	3,8—9,7	10,37	6,2—14,8	7,37	5,5—9,9
O ₂ %	0,47	0,1—1,5	0,24	0—0,5	1,62	0,3—3,2
N ₂ %	56,48	—	52,33	—	56,70	—
Теплотворная способность сухого газа (в кал./м ³)	—	1 149	—	1 156	—	1 070

На приводимой далее таблице в составе газа за 4 число отсутствуют значения для H₂, CH₄, потому что в этот день за отсутствием спирта сжигания не производили.

Как уже сказано выше, уголь, взятый со склада, был невысокого качества, весьма мелкий и неоднократно подвергавшийся самовозгоранию. 11 декабря в 13 час. подачу угля в генератор прекратили; генератор был пущен на прогар.

О зрениии угля можно судить по результатам просеивания его на грохотах.

Средняя проба товарковского угля в количестве 151 кг дала следующие значения:

на сите 58 × 58 мм осталось	15,3%
" " 33 × 38 " "	31,2%
" " 26 × 26 " "	23,4%
" " 11 × 11 " "	21,7%
" " 5,5 × 5,5 " "	4,2%
провалилось	4,2%

Средняя проба угля с заводского склада в количестве 339 кг дала такой результат:

на сите 58 × 58 мм осталось	6,9%
" " 38 × 38 " "	8,2%
" " 26 × 26 " "	11,7%
" " 11 × 11 " "	17,2%
" " 5,5 × 5,5 " "	20,4%
провалилось	35,6%

3 декабря в промежуток времени с 8 час. утра до 6 час. 30 м. вечера (10,5 час.) была отобрана проба газифицируемого угля для анализа. Анализ в пересчете на рабочее топливо дает следующий состав угля в весовых процентах:

C	32,05%
H ₂	3,80%
O ₂	5,55%
N ₂	0,66%
S	3,85%
зола	20,33%
влаги	33,76%

Горючая часть угля имеет состав:

C	76,20%
H ₂	9,04%
O ₂	13,20%
N ₂	1,56%

Состав сухого

Уголь с заводского склада, проле-								
Декабрь 1921 года	4		5		6		7	
	Среднее	От — до	Среднее	От — до	Среднее	От — до	Среднее	От — до
CO %	16,45	16,1—16,8	16,55	16,2—16,9	19,56	18,5—21,2	15,72	11,1—18,2
H ₂ %	—	—	11,6	7,4—15,8	9,54	8,8—10,4	12,32	9,5—16,2
CH ₄ %	—	—	2,0	2,0—2,0	1,84	0,6—2,5	1,38	0,5—2,6
CO ₂ %	9,3	8,2—10,4	12,1	11,4—12,8	10,0	8,6—10,6	11,14	8,1—12,0
O ₂ %	0,7	0,4—1,0	0,0	0,0—0,0	0,36	0,2—0,4	2,14	0,2—3,2
N ₂ %	—	—	57,75	—	58,70	—	57,30	—
Теплотворная способность су- хого газа (в кал/м ³)	—	—	981	—	1003	—	921	—

Низшая теплотворная способность угля (по формуле Менделеева) равна 3,371 кал на кг, а низшая теплотворная способность горючей части (считая серу в балласте) составляет (тоже по формуле Менделеева) 8,043 кал на кг.

Средний состав сухого генераторного газа за этот промежуток времени получен (в объемных %):

CO	22,18%
H ₂	10,96%
CH ₄	1,13%
H ₂ S	1,23%
CO ₂	5,74%
O ₂	1,84%
N ₂	56,92%

Теплотворная способность такого газа равна 1135 кал на кг.

генераторного газа

жавший на дворе свыше 3 лет						На прогар			
8		9		10		11		12	
Среднее	От — до	Среднее	От — до	Среднее	От — до	Среднее	От — до	Среднее	От — до
20,36	19,6—21,2	16,07	13,4—19,3	24,05	17,7—26,3	26,55	25,5—27,5	14,82	12,1—21,5
12,06	10,0—13,1	11,5	9,2—13,3	11,4	10,6—13,0	10,15	8,9—10,8	1,8	14,0—19
1,2	1,0—1,5	1,3	0,9—1,6	0,95	0,2—1,9	1,11	0,7—1,4	1,69	1,1—2,3
11,32	10,6—12,0	13,8	11,6—15,6	9,2	7,8—13,2	6,88	5,4—8,0	14,9	13,6—15
0,27	0,2—0,4	0,5	0,2—1,1	0,27	0,2—0,6	0,28	0,1—0,6	0,45	0,1—1
54,79	—	56,83	—	54,13	—	55,03	—	52,39	—
1041	—	903	—	1115	—	1172	—	1010	—

Если из состава газа выбросить воздух (1,84% × 4,76), вошедший в газ выше зоны газификации, то получим такой состав:

CO	24,08%
H ₂	11,95%
CH ₄	1,23%
H ₂ S	1,35%
CO ₂	6,26%
N ₂	55,33%

Теплотворная способность этого газа будет уже несколько выше 1200 кал на м³.

Расход угля за время с 8 час. утра до 6 час. 30 мин. вечера равнялся 2730 кг. Поправка на разницу топлива в „юбке“ равна нулю, так как уровни в начале и конце совпадали.

Часовой расход угля был равен $\frac{2730}{10,3} = 260$ кг.

Среднее давление воздуха под колосниками составляло 305 мм водяного столба при крайних значениях 217 и 360 мм.

Среднее давление газа по выходе из генератора было 26,7 мм водяного столба при крайних значениях 11 и 55 мм.

Средняя температура газа 142°, при крайних значениях 93° и 169°.

Коэффициент полезного действия газификации при горячем газе равен 71% и при холодном газе 67,7%.

Как видим, газ, полученный из подмосковного курного угля обладает хорошей теплотворной способностью. Можно надеяться, что теплотворная способность генераторного газа будет выше при более целесообразной конструкции генератора¹

Торф

Торф заслуживает особенного внимания как предмет газификации. Ни одно топливо, за исключением может быть дерева, не переводится так гладко в горючий газ в газогенераторе. Хорошей стороной торфа является то, что отдельные куски его на всем пути в генераторе сохраняют свою кусковатость и таким образом остаются удобными для прохождения газа. Кроме того, после отгонки из торфа летучих составных частей, он дает кокс с высокой реакционной способностью, благодаря которой получают очень совершенное восстановление CO_2 и водяного пара H_2O в CO и H_2 в слоях топливного столба, температура которых сравнительно низка. Торфяной газ содержит мало серы и обладает хорошей теплотворной способностью, именно от 1100 до 1300 кал. Этот газ дает при горении длинное правильное пламя. Он с успехом используется в газомоторах, а также в промышленных печах, стекловаренных и металлургических, именно там, где должны работать с нейтральным или восстановительным пламенем.

Конструкция торфяного генератора бывает различной, смотря по тому, имеют ли в виду получать в качестве главного продукта генераторный газ или смолу.

¹ Краткое описание опытной газификации курного угля сделано здесь по данным, которые были любезно предоставлены автору проф. А. А. Надежниковым.

Торфяной генератор с получением смолы строится согласно правилам, что смола должна отводиться в более холодную зону как можно скорее, чтобы избежать разложения, которое начинается уже при 600°. В самой верхней зоне, назовем ее первой, торф подсушивается (около 100°); в зоне, лежащей ниже первой, назовем ее второй, происходит сухая перегонка торфа (от 300 до 600°); в третьей зоне, лежащей еще ниже, торф коксуется (от 600 до 800°). Часть этого кокса сгорает в следующей, четвертой зоне в CO_2 с кислородом воздуха, который подводится из пятой зоны генератора (слой золы). Здесь, на границе между четвертой зоной и третьей, используется весь кислород подводимого воздуха, и здесь запасается та теплота, которая расходуется потом в зонах, расположенных выше. Продукты горения, нагретые до 1000—1300°, поднимаются отсюда в третью зону, в которой кислород углекислоты действует на углерод кокса. Вследствие этого здесь образуется CO , а продукты горения охлаждаются приблизительно до 800°. Физическая теплота генераторного газа, который образуется в третьем поясе, в первом и во втором поясе используется для подсушивания торфа и для его сухой перегонки, так что отходящие газы могут иметь температуру 60—80°.

Недавно¹ в Италии производили опыты газификации торфа в генераторе Риччи-Гоцо (Ricci-Gozo) большой емкости. Именно, цилиндрической формы шахта генератора имела диаметр 5 м, а высоту 7,5 м, так что диаметр относился к высоте, как 2:3. Этот генератор сначала снабжен был вращающейся решеткой. Однако работа вращающейся решетки оказалась неудовлетворительной, и ее заменили неподвижной. Последняя имела пирамидальную форму и делилась на 8 сегментов. Снизу под такие колосники подвели смесь воздуха и пара. Давление дутья колебалось от 250 до 1000 мм водяного столба. Температура его была около 80°. Зола в этом генераторе собирается в кольцевом пространстве между стенкой шахты и основанием колосников. С кольцевым пространством соединяются 8 зольниковых камер, из которых каждая снабжена аппаратом для удаления золы.

Получили сульфата аммония 24,2 г на 1 м³ газа.

¹ Feuerungstechnik, 1926, тетради 16 и 17.

Потеря в золе оказалась довольно велика: 12,3% углерода. Смолы получили 32 г на 1 кг сухого торфа.

Термический коэффициент полезного действия со смолой был 82%; без смолы он составлял 71,7%, а за вычетом теплоты подводимого пара он понизился до 69,7%.

На таком газогенераторе газифицировали в час от 3 до 5 т торфа, содержащего 35,6% воды и 19,5% золы.

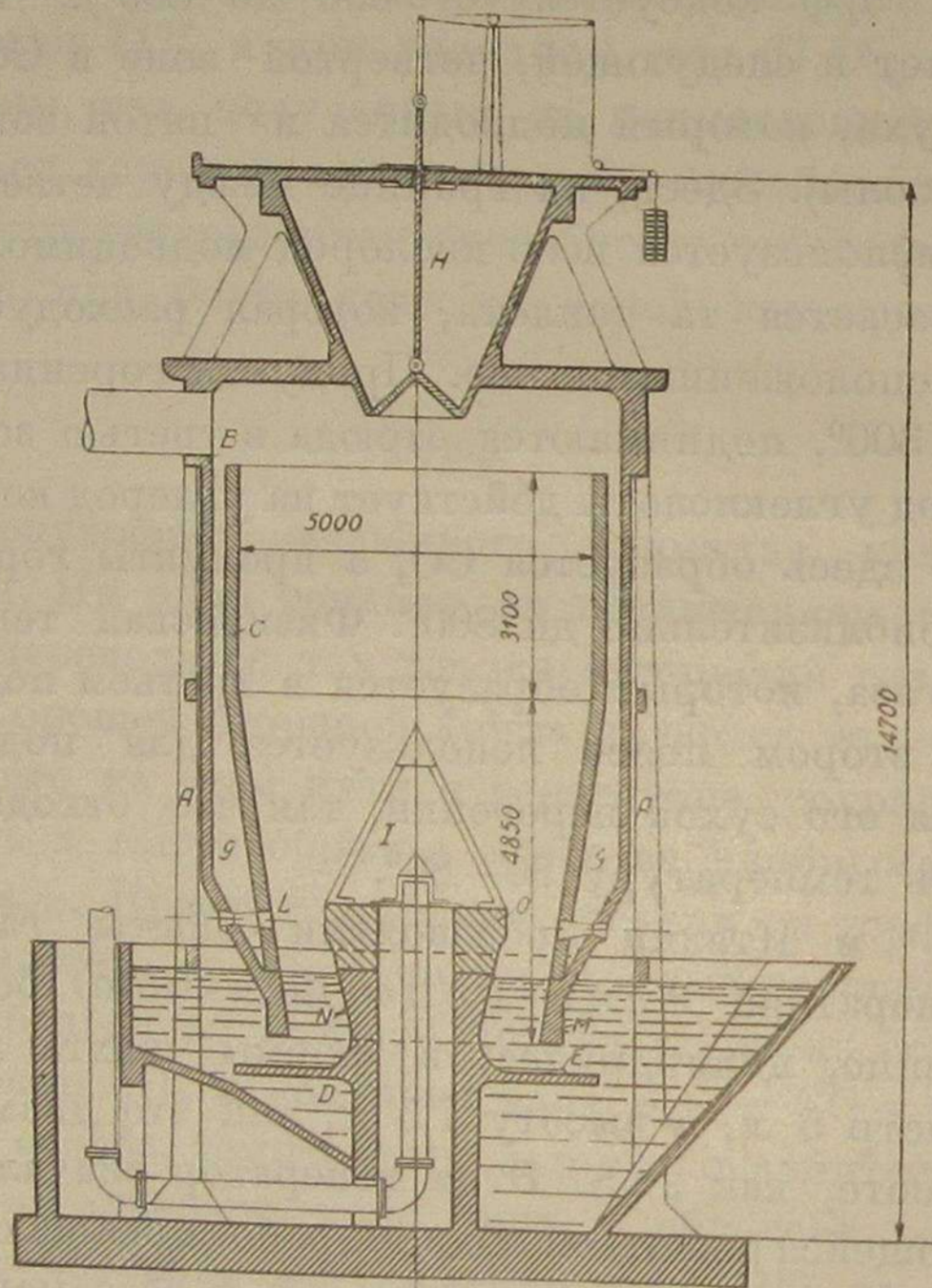


Рис. 57.

Профессор К. Нейман (Neumann¹), газифицируя резной торф с влажностью 26,5% и низшей теплотворной способностью (калориметрической) 3061 кал, получал из 100 кг торфа 7,1 кг смолы, не содержащей воды.

Только что описанный в общих чертах итальянский генератор для переработки торфа напоминает по размерам генератор, который несколько лет тому назад был построен фир-

¹ Die Wärme, 1922, № 29, стр. 356-7.

мой Минеральная и электрическая компания в Вальдорно (Compagnia Mineralia ed Elettrica del Valdorno) из железобетона¹. Железобетон дешевле железа и обладает еще тем преимуществом, что не боится влияния погоды. Шахта генератора равна 5000 мм, а общая высота его составляет 14500 мм. Огнеупорная шахта с (рис. 57) окружена бетонным кожухом g, образуя вокруг шахты с воздушный промежуток. Кожух g замыкается в верхней части прочной головной частью генератора f, которая поддерживается колоннами a. В нижней части шахта усиливается кольцом m.

Промежуток между шахтой с и кожухом g заполнен огнеупорным пустотелым кирпичом. Колосниковый чепец составляется из бетонного цоколя n с огнеупорной верхней частью o и железной вершины i. Бетонный цоколь n расширяется в стол e. На этот стол опирается слой золы. Зола удаляется со стола водой, которая радиально подводится под давлением по трубам в ванну с водой. Из ванны зола извлекается особым элеватором. Генератор подают газ для котла Бабкока с поверхностью нагрева в 600 м². Он перерабатывает бурый уголь с влажностью в 40% и содержанием золы в 20%. Количество перерабатываемого угля составляет 8 т/час и может быть поднято до 10—11 т/час.

Для газификации торфа и вообще топлива, дающего твердый крупнокусковой кокс, очень пригодны генераторы с фрезерной и звездообразной вращающейся решеткой. Размеры и производительность таких генераторов сопоставлены ниже на таблице:

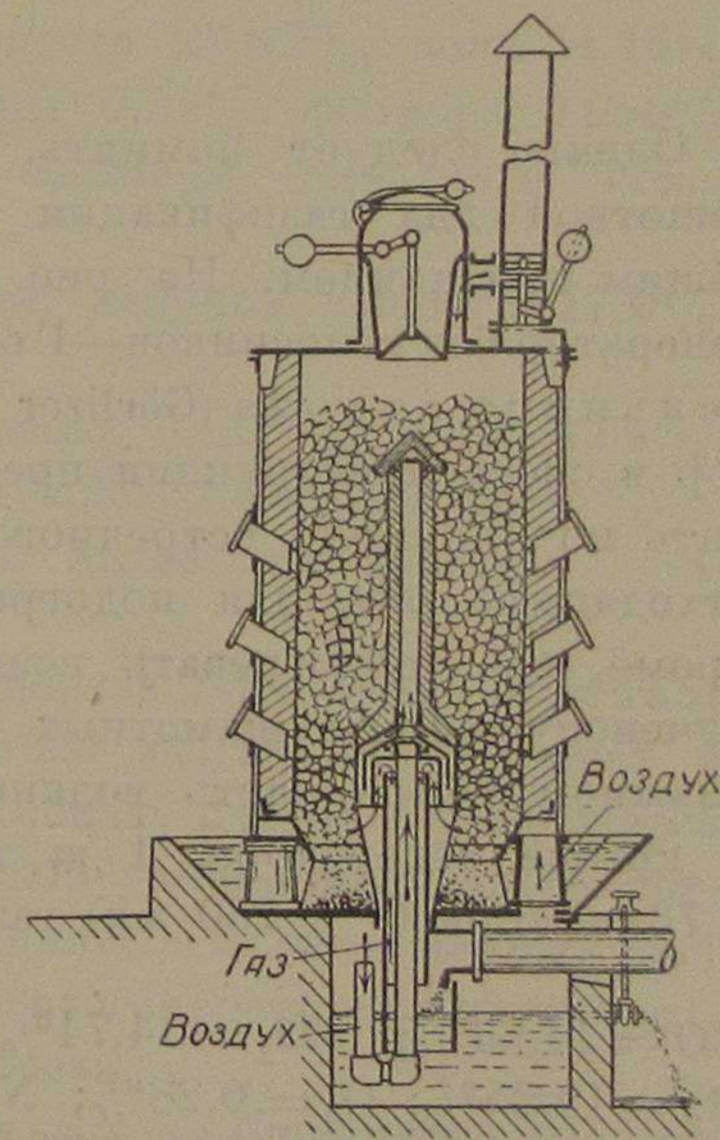


Рис. 58.

¹ Le Genie Civil, 1922, № 2.

Диаметр шахты м.м	Производительность в 24 часа			
	Каменный уголь в т	Кокс в т	Буроуголь- ный брикет в т	Торф в т
2 200	9,1—13,7	10,9—16,5	11,8—19,2	13,7—18,2
2 600	12,7—19,9	15,3—22,9	16,5—26,7	19,0—25,0
3 000	16,8—25,2	20,2—30,2	21,8—35,3	25,2—33,6
	Производительность на 1 м ² площади попе- речного сечения в 1 час			
	кг	кг	кг	кг
	100—150	120—180	130—210	150—200

Однако следует помнить, что генератор с вращающейся решеткой для газификации торфа далеко не пользуется общим признанием. На рис. 58 показан хороший торфяной генератор без колосников — Герлицкого машиностроительного завода (Görlizer Maschinenbau A. G.). Этот генератор в своей конструкции преследует двойную цель: применять по принципу встречного течения физическую теплоту отходящего газа для подогревания первичного воздуха и, кроме того, подогревать воздух за счет теплоты, теряемой лучеиспусканием шамотных стенок генератора. При очень влажном торфе часть водяного пара удаляется по трубке в крыше генератора. 1 кг торфа дает на этом генераторе 1,73 м³ (при 0° и 760 мм) газа такого состава:

CO = 14,96%; CO₂ = 14,74%; CH₄ = 0,86%; C_nH_m = 0,18%;
H₂ = 19,25%; O₂ = 0,28%; N₂ = 49,73%. Теплотворная способность его 1 028 кал на 1 м³. Коэффициент полезного действия газификации будет $\frac{1,73 \times 1 028}{2 360} = 0,753$, или 75,3%;
2 360 — это теплотворная способность торфа в кал/кг.

Дерево

Дерево, как и всякое другое битуминозное топливо, в шахте генератора подвергается сначала подсушиванию, потом

сухой перегонке. Образовавшийся в результате древесный уголь газифицируется вслед за тем в поясе горения.

По мнению Гуталья, газификация древесного угля в генераторе встречает следующие затруднения: незначительная плотность древесного угля создает необходимость в большом объеме шахты генератора, пористость его благоприятствует гигроскопичности, а склонность к дроблению неудобна при подаче и хранении. Однако названные недостатки в настоящее время во Франции устраняются прессованием древесного угля.

Состав древесного угля дают такой [Молво Перкин (F. Mollwo Perkin)]:

перед сушением (со склада): летучих веществ 33,60%, влаги 6%;

После сушения: летучих веществ 29,60%, золы 4,46%, твердого углерода 66,18%, серы 0,51%, фосфора 0,055%.

Интересно сравнить его с составом торфяного кокса (Ф. Молво Перкин).

Перед сушением (со склада): летучих веществ 17,0%, влаги 5%;

после сушения: летучих веществ 11,93%, золы 4,56%, твердого углерода 83,51%, серы 0,26%, фосфора 0,015%.

Видим, что торфяной уголь выше по качеству, чем древесный.

При сухой перегонке 100 кг дерева дают около 40 м³ газа с теплотворной способностью 3 000 кал/м³, 10 кг дегтя и 35 кг древесного угля. Деготь в свою очередь разделяется при дистилляции на водный раствор уксусной кислоты, легкое масло, тяжелое масло, парафинистое масло и черный пек.

На рисунке 59 представлена газогенераторная установка, пригодная и для газификации дерева.

Высокие цены на бензин и бензол во Франции навели на мысль о применении генераторного газа, получаемого из древесного угля, как топлива автомобилей. обстоятельные опыты в этом отношении, поставленные недавно в Лионе, показали, что эту мысль нельзя считать неосуществимой. Установка газогенератора на автомобиль не представляет непреодолимых трудностей, хотя вес и объем соответствующего оборудования чрезвычайно ограничены. Это оборудование обнимает следующие части: газогенератор, пылеуда-

литель, очиститель и смешиватель. В последнем генераторный газ смешивается с необходимым количеством воздуха для образования взрывающей смеси. В качестве топлива для генератора выбран древесный уголь на том основании, что он легко производится и содержит мало веществ, способных конденсироваться (какова смола).

Автомобильный газогенератор должен удовлетворять следующим главным условиям: он должен быть легок, требовать немного места, обладать способностью быстрого пуска

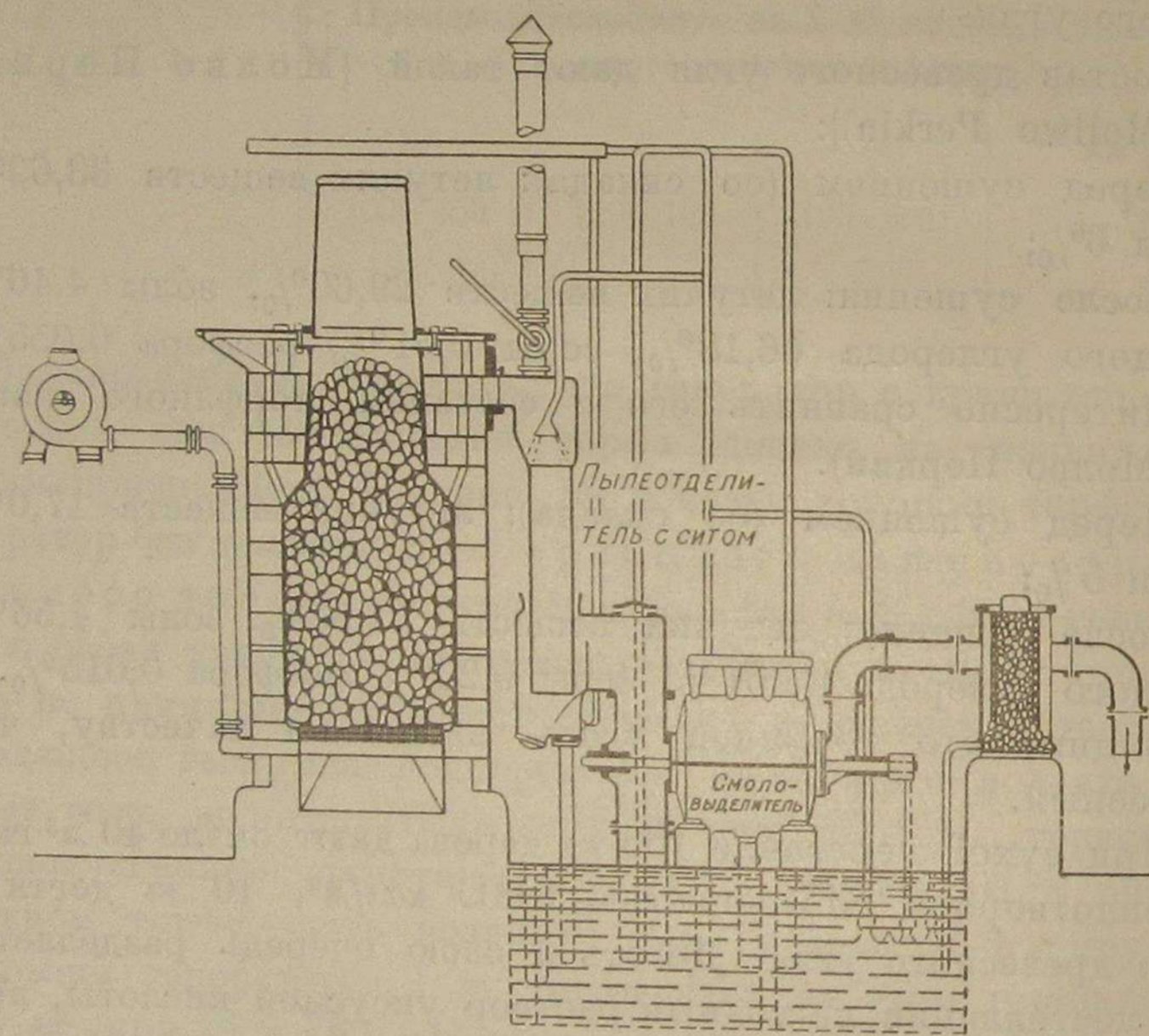


Рис. 59.

вход, давать газ равномерного состава, иметь устройство для совершенной очистки газа. Газовый автомобиль отличается от бензинового только тем, что имеет более удлиненную заднюю часть, где помещается газогенератор. Газогенератор имеет форму призмы, изготовленной из листового железа. Внизу у передней стороны газогенератора находится узкая доломитовая трубка для подведения воздуха. Против этой трубки у задней стороны генератора находится газоотводная труба. Уголь загружается в генератор сверху после поднятия крышки. Горение происходит между этими двумя

трубами. После сгорания угольного слоя, лежащего между названными трубами, его место занимает масса древесного угля, лежащей выше. Она подвергается таким же образом газификации. Генераторный газ из газоотводной трубы идет сквозь решетчатую плитку налево и направо в две продолговатые камеры. Здесь он охлаждается и отчасти освобождается от пыли. В конце этих камер газ снова входит в трубы и ведется по ним в пылесборник и оттуда в очиститель. Таким образом получается, что газогенератор находится в задней части экипажа, пылесборник приблизительно посередине и очиститель сбоку прямо перед мотором. Очиститель соединен с мотором трубой, которая недалеко от входа в мотор снабжена воздушным окном, способным закрываться. Генератор давал необходимый газ только четверть часа спустя.

Оказывается, что пока не решен еще безупречно вопрос о пуске автомобиля, так как он производится все-таки на бензине. На газ переходят спустя пять минут после этого. Затруднением является также необходимость загружать уголь в генератор. Правда, помещением небольшого газометра для пуска автомобиля, от бензина может быть можно будет освободиться. Вообще это изобретение нуждается в усовершенствовании. Но несомненно также, что оно обещает значительные выгоды в смысле экономии.

IX. ДОСТОИНСТВО ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО СОСТАВА

Посмотрим теперь, какая зависимость существует между тепловым достоинством газа и его составом, точнее окисью углерода и водородом, которые входят в состав газа.

1. Для термического коэффициента полезного действия необходимо прежде всего принимать во внимание то, какую теплотворную способность вводим в расчет, высшую или низшую. Согласно нормам Горного бюро (Bureau of Mines) Соед. штатов Сев. Америки, числа высшей и низшей теплотворной способности составных частей генераторного газа представляются в таком виде:

Составные части	Химич. знак	Молекулярный вес	Высшая	Низшая
			теплотворная способность при 15° и 732 мм кал	теплотворная способность при 15° и 732 мм кал
Окись углерода	CO	28,0	2 777	2 777
Водород	H ₂	2,016	3 136	2 484
Метан	CH ₄	16,03	9 693	8 160
Этилен	C ₂ H ₄	23,03	14 101	13 282

Состав генераторного газа в объемных процентах дается такой:

CH ₄	2,8 %
CO ₂	5,2 %
CO	24,8 %
H ₂	12,2 %
C ₂ H ₄	0,5 %
O ₂	0,0 %
N ₂	54,5 %

Отсюда вычисляются высшие и низшие теплотворные способности самого газа:

Состав газа		Высшая	Низшая
Химический знак	Объемные %	теплотворная способность	
		кал	кал
CO ₂	5,2	—	—
CO	24,8	0,248 × 2 777 = 689	0,248 × 2 777 = 689
H ₂	12,2	0,122 × 3 136 = 383	0,122 × 2 484 = 303
CH ₄	2,8	0,028 × 9 693 = 271	0,028 × 8 160 = 228
C ₂ H ₄	0,5	0,005 × 14 101 = 71	0,005 × 13 282 = 66
O ₂	0,0	—	—
N ₂	54,5	—	—
Горючие части	40,3	1 414	1 286

Видим, что числа высшей теплотворной способности водорода и окиси углерода практически одинаковы, но низшая теплотворная способность окиси углерода выше, чем водорода. Так как обе составные части определяют тепловое достоинство генераторного газа, то при высшей теплотворной способности изменение отношения CO к H₂ почти не влияет на величину теплотворной способности, а при низшей может эту величину понизить. Отсюда выходит, что производительность горения генераторного газа, богатого водородом, ниже, чем производительность горения газа, богатого окисью углерода.

2. Теплота пламени передается путем прикосновения и лучеиспускания. Часть, передаваемая прикосновением, является функцией температуры. А та часть теплоты, которая передается лучеиспусканием, представляет из себя отчасти функцию температуры и силы света пламени и отчасти функцию состава газа. Гельмгольц еще нашел¹, что в светящемся пламени водорода передается лучеиспусканием

¹ Helmholtz, „Die Licht- und Wärmestrahlung verbrennender Gase“, Berlin, 1890.

3,61%, окиси углерода — 8,74% всей теплоты горения. Приблизительно в то же время было показано путем спектроскопического исследования, что лучеиспускание пламени зависит от процессов образования молекул CO_2 и H_2O . Календар (Calendar) повторил в 1910 году опыт Гельмгольца и обнаружил факт, что лучеиспускание теплоты пламенем зависит от величины пламени, именно, оно возрастает с увеличением пламени. Это явление можно было бы объяснить тем, что, с одной стороны, у поверхности большого пламени совершается более сильное лучеиспускание, так как пламя прозрачно для лучеиспускания, а с другой стороны, большое пламя медленнее охлаждается, так что вновь образовавшиеся молекулы CO_2 и H_2O сохраняют способность лучеиспускания в течение более продолжительного времени. Кроме того этот исследователь нашел, что если подача воздуха опускается ниже предела, который необходим для полного сгорания, то величина пламени и количество лучеиспускаемой теплоты возрастают.

Результаты этих опытов непосредственно применимы к условиям, которые наблюдаются в печи. Пусть печное пространство совершенно заполнено пламенем, и газ сжигается с недостатком воздуха. При таких обстоятельствах лучеиспускание увеличивается. Ясно, что окись углерода обладает преимуществом по сравнению с водородом. Далее, лучеиспускание увеличивается, если в светящемся пламени находятся и сгорают частицы углерода. Ряд опытов, поставленных в последнее время, подтвердили приведенные выше выводы.

3. Температуры пламени четырех различных составов генераторного газа (по Бону и Уелеру) сопоставлены ниже на таблице (см. табл. на 161 стр.).

Из этой таблицы заключаем, что температура пламени возрастает с увеличением содержания CO .

Числа двух последних рядов таблицы дают величину использованной теплоты и теплоты, потерянной в отходящих газах. Термический коэффициент полезного действия включает всю теплоту, которая отдается газом в печи. При этом предполагают наличие полного горения без избытка воздуха и температуру отходящих газов 1200° . В теплоте, которая отдается газом в печи, содержится и то большое количество

Генераторный газ (в %)	Пробы N			
	1	2	3	4
CO_2	2,35	5,10	6,95	9,15
CO	31,60	27,30	25,40	21,70
H_2	11,60	15,30	18,30	19,65
CH_4	3,05	3,05	3,40	3,40
N_2	51,40	49,05	45,95	46,10
Высшая теплотворная способность (в кал)	1 519	1 509	1 566	1 499
Низшая теплотворная способность (в кал)	1 447	1 420	1 463	1 391
Теоретическая температура пламени (за вычетом вычисленного лучеиспускания несветящего пламени) в град. С	1 757	1 738	1 743	1 704
Теоретическая температура пламени град. С	1 857	1 827	1 832	1 782
Продукты горения:				
CO_2 (в %)	17,5	16,9	16,6	16,3
H_2O (в %)	8,4	10,3	11,7	12,5
Использованная теплота (в %)	38,7	37,7	38,0	36,0
Потерянная теплота в отходящих газах (в %)	61,3	62,3	62,0	62,0

теплоты, которое расходуется для нагревания стенок печи и потом в значительной части теряется посредством проводимости, лучеиспускания и прикосновения. Коэффициент полезного действия печи ниже при газе с большим содержанием водорода. Это объясняется тем, что в данном случае происходит большое количество водяного пара. Таким образом и здесь можно видеть некоторое преимущество газа, богатого окисью углерода.

4. Опыты Пеймана (W. Peiman) показали, что смесь генераторного газа с воздухом, содержащая генераторного газа менее 24,7% и более 61,5%, уж невоспламенима. Для каждой смеси генераторного газа с воздухом, способной воспламениться, существует определенная скорость распространения пламени. При увеличении части генераторного газа эта скорость возрастает, но только до известного предела. Достигнув этой высшей точки, скорость распростране-

ния пламени начинает падать с увеличением части газа в смеси, пока не будет достигнут нижний предел скорости. На приводимой ниже таблице представлены, по Пейману и Уелеру, высший и нижний пределы смеси, смесь, соответствующая высшей скорости, и скорость пламени при высшей предельной смеси с воздухом.

Сжигаемый газ	Смесь высшей скорости; горючий газ (в %)	Скорость пламени в смеси (в см/сек)	Нижшая предельная смесь; горючий газ (в %)	Высшая предельная смесь; горючий газ (в %)
CO	50,0	125	16,3	71,2
H ₂	38,5	485	6,2	71,4
CH ₄	9,9	67	5,8	13,3
C ₂ H ₄	7,1	142	3,4	14,1

На таблице, приводимой ниже, сопоставлены расчетные данные для четырех проб, которые тождественны с пробами, уже описанными выше. Оказывается, что с увеличением содержания водорода в газе скорость пламени его увеличивается. Если не увеличим соответствующим образом скорости течения сжигаемого газа, то получим короткое горячее пламя, которое дает неравномерное нагревание печи. Если же содержание CO в генераторном газе велико, а содержание H₂ низко, то получим небольшую скорость пламени и длинное пламя. Но пламя небольшой скорости совершенно заполняет печное пространство. Отсюда снова следует преимущество генераторного газа, богатого окисью углерода (см. табл. на 163 стр).

5. Влияние водяного пара на свойства генераторного газа было исследовано Хасламом (Haslam). Он дает такую формулу:

$$(H_2O) = \frac{(CO_2) \times (H_2)}{(0,03L) \times (CO)}$$

Здесь означают:

(H₂O) — влажность, содержащуюся в генераторном газе, в объемных частях на 100 объемных частей сухого газа,

Генераторный газ (в %)	Номер пробы			
	1	2	3	4
CO ₂	2,35	5,10	6,95	9,15
CO	31,60	27,30	25,40	21,70
H ₂	11,60	15,50	18,30	19,65
CH ₄	3,05	3,05	3,40	3,40
N ₂	51,40	49,05	45,95	46,10
Отношение CO : H ₂	2,7	1,8	1,4	1,1
Смесь генераторного газа с воздухом:				
а) смесь, соответствующая высшей скорости	56,1	55,6	53,8	54,3
б) нижний предел смеси	20,5	19,1	17,8	17,8
в) высший предел смеси	72,7	72,9	71,6	72,2
(в — а)	16,6	17,3	17,8	17,7
Высшая скорость пламени (в см/сек)	198	226	239	252

(CO₂) — процентное содержание углекислоты (определение аппаратом Орса),

(H₂) — процентное содержание водорода (определение по Орса),

(CO) — процентное содержание окиси углерода (определение по Орса),

L — высоту слоя топлива в метрах.

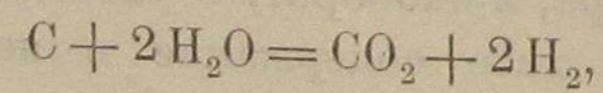
Из этой формулы следует, что с увеличением содержания водорода в генераторном газе увеличивается содержание в нем водяного пара, и наоборот, с увеличением содержания окиси углерода в газе содержание в нем водяного пара уменьшается.

На приводимой ниже таблице представлено содержание водяного пара (вычисленное) в четырех пробах генераторного газа, о которых уже говорилось ранее (см. табл. стр. 164).

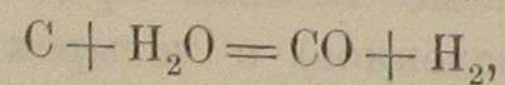
Из приведенных рассуждений следует, что как топливо для промышленных печей окись углерода является более ценной, чем водород, и по теплотворной способности, и по более сильно лучеиспускающему пламени, и по более высокой температуре горения.

Генераторный газ (в %)	Номер пробы			
	1	2	3	4
CO ₂	2,35	5,1	6,95	9,15
CO	31,50	27,30	25,40	21,70
H ₂	11,60	15,50	18,30	19,65
L (высота слоя топлива в м)	1,0	1,0	2,0	2,0
Объемные части H ₂ O на 100 об. частей генераторного газа	2,55	8,60	7,45	12,35
Состав генераторного газа, включающий водяной пар:	—	—	—	—
CO ₂	2,29	4,70	6,47	8,14
CO	30,81	25,14	23,64	19,31
H ₂	11,31	14,27	17,03	17,49
CH ₄	2,97	2,81	3,16	3,03
N ₂	50,12	45,17	42,76	41,03
H ₂ O	2,50	7,91	6,94	11,00
Теоретическая темп. пламени (в град. С.)	1 788	1 746	1 745	1 659
Темп. пламени сухого газа (в град. С.)	1 857	1 827	1 832	1 782

Путем лабораторных опытов Клемента, Адамса и Хаскинса (Clement Adams а. Haskins) установлено, что часть окиси углерода в генераторном газе зависит от температуры и от времени соприкосновения газа с углеродом топлива. Поэтому при большой скорости газа необходимо поддерживать в газогенераторе высокий слой топлива, чтобы получить генераторный газ с высоким содержанием CO и низким содержанием CO₂ и H₂. Опыты Бона и Уелера (Bone а. Wheeler) показали, что реакция между водяным паром и углеродом при более низкой температуре протекает по уравнению:



а при более высокой температуре по формуле:



Следовательно, чем более пара прибавляют к дутью, тем ниже становится температура, тем выше содержание в генераторном газе CO₂ и H₂, и тем ниже содержание CO. Добавление пара к дутью не должно быть более того, чем требуется для устранения образования шлаков.

Х. ПРИМЕР НЕБОЛЬШОЙ ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ С ПОЛУЧЕНИЕМ СМОЛЫ

Выводы, которые здесь содержатся, относятся в целом исключительно к газификации рыхлого, непросеянного и очень влажного бурого угля.

Известно, что при полной газификации топлива получается газ, который состоит из продуктов сухой перегонки и продуктов газификации. Сухая перегонка происходит при нагревании топлива без подведения воздуха, газификация — при подводе воздуха. Температуры, необходимые для обоих процессов, довольно сильно разнятся, именно для газификации требуется температура около 1000°, ввиду протекающих при этом процессов восстановления углекислоты и разложения водяного пара. Температура для сухой перегонки не превышает 550°, чтобы благоприятствовать выходу первичной смолы. Оба эти процесса безусловно необходимы в генераторе, если имеют в виду получение не только газа, но и смолы.

Теплота для сухой перегонки топлива подводится генераторным газом (смешанным), который образуется в нижней части генератора.

При газификации очень влажного топлива сухой перегонке предшествует еще подсушивание топлива, а при буром угле кроме затруднений, возникающих вследствие влажности угля, появляются трудности от обилия в нем пыли.

Главной причиной нарушения процессов в газогенераторе является образование поясов жирной грязи. Эти пояса создают препятствие для течения газов, которое устраняется или повышенным давлением или шурованием. Но от этого в слое топлива образуются каналы для газовых струй, которые делают возможным прорывание огня в таких местах.

В результате в зоне сухой перегонки наступает нежелательное повышение температуры и вместе с ним разложение первичной смолы. Это оказывает существенное влияние как на газ, так и на смолу в отношении количества и качества. При таких обстоятельствах невозможен равномерный и правильный ход генератора. Поэтому очень важно не допускать появления поясов грязи, устраняя причины их образования.

Известные генераторные конструкции пытаются устранить неправильности при газификации влажного топлива (бурого угля, торфа) устройством внутри генератора реторты, которая должна регулировать как загрузку топлива, так и его нагревание и производить течение газа согласно определенным основным правилам. Но безупречных результатов таким образом все-таки не достигнуто, так как, с одной стороны, не устраняются основания для образования поясов грязи, а с другой — не предотвращается разрушение смолы.

Образование поясов грязи объясняется следующим образом.

Горячие продукты газификации, образующиеся в нижней части генератора, поднимаются в верхнюю часть шахты и нагревают здесь топливо до температуры, необходимой для сухой перегонки. Генераторный газ смешивается сначала с продуктами сухой перегонки из нижних, более горячих слоев, и достигает потом верхних, более холодных слоев. Здесь вследствие охлаждения происходит конденсация паров смолы, которые поднимаются из более низких слоев. Смоляные пары осаждаются на рыхлом топливе; к этому прибавляются гигроскопическая влага топлива и конденсация уже образовавшегося водяного пара; кроме — того битумы, содержащиеся в верхних слоях топлива. Все это вместе создает твердый илообразный слой, непроницаемый для газовых струй, которые поднимаются снизу.

В последнее время предложен¹ для газификации малоценного топлива генератор (рис. 60), принцип которого состоит в том, что водяной пар и смоляные пары, причиняющие образование ила, не проводятся сквозь пояса топлива, кото-

рые склонны к образованию жирной грязи, но отводятся непосредственно из тех мест, где образуются.

Генераторный газ, являющийся переносчиком теплоты для сухой перегонки, не должен проходить сквозь весь столб топлива. Его следует подводить к зонам сухой перегонки топлива и отводить вместе с продуктами сухой перегонки. Конструктивное выполнение перегонной реторты делает возможным регулирование количеств обогревающего газа, приспособленное к топливу и к температурам зон сухой перегонки. Отвод газа производится таким образом, что не происходит ни излишнего нагревания с разложением смолы ни охлаждения с конденсацией паров внутри генератора.

Существенным отличием этого генератора является также соединение описанного выше способа ведения газа с отводом его при разрежении. От этого понижается точка росы для смоляных паров, следовательно создаются более благоприятные условия для выхода первичной смолы.

Такой способ газификации дает смолу, которая содержит очень мало пыли. Причина этого лежит прежде всего в устранении отвода газа через свежее и пыльное топливо. Отвод газа из поясов его происхождения совершается из топлива, которое уже более или менее слежалось и отчасти спеклось; следовательно пыль не так легко увлекается из него газовым потоком.

Влияют ли при этом и насколько сильно электрические явления, вследствие которых частицы пыли в газе заряжаются электричеством таким образом, что под влиянием этого заряда удаляются из генератора или задерживаются в нем,

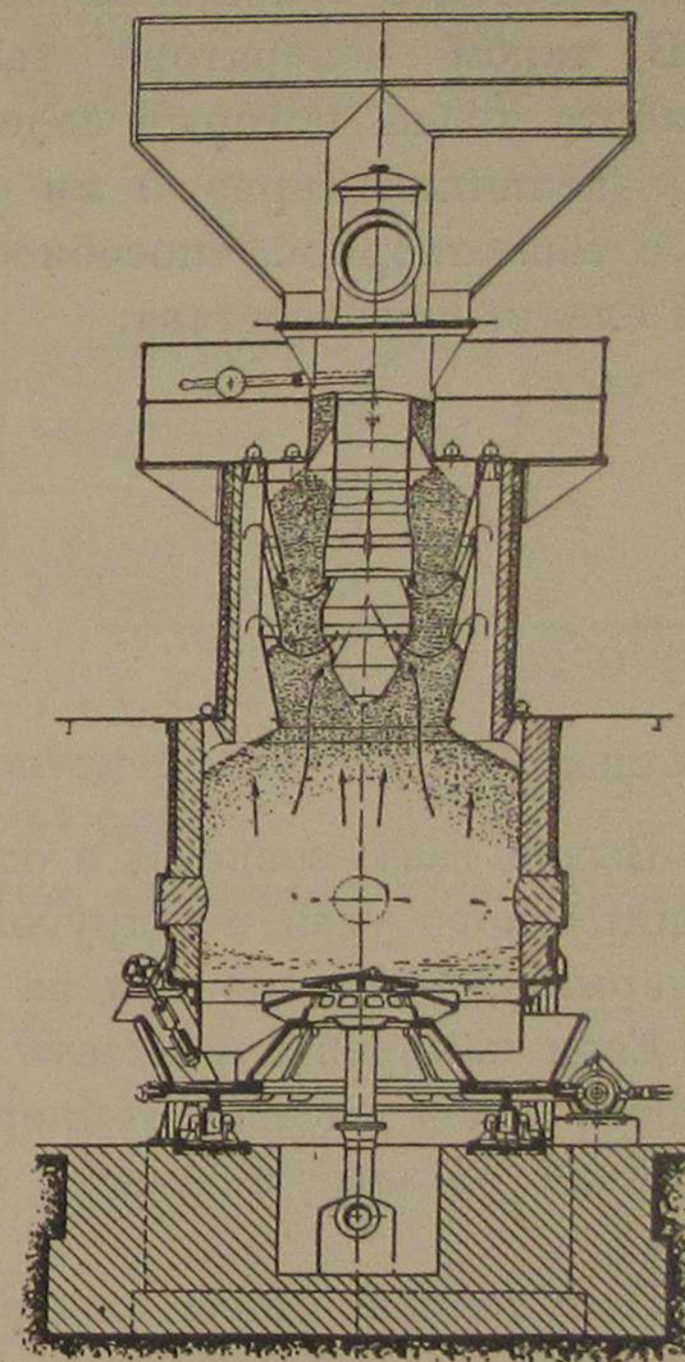


Рис. 60.

¹ P. Grossmann, Brennstoff-und Wärmewirtschaft, 1924, № 5.

нельзя пока решить определенно, так как вопрос недостаточно изучен.

Приблизительно такая же картина явлений в генераторе должна быть и для других видов влажного малоценного топлива. Устройство внутренней реторты при этом изменяется сообразно с качеством топлива и с условиями, которые ставятся в отношении выхода смолы.

В таком генераторе газифицировали без перерывов в работе уголь, который содержал влаги свыше 50% и мелочи (величина зерна 5 мм) до 80%. При этом получали газ с теплотворной способностью около 1200 кал и в среднем следующего состава:

CO	22,4%
H ₂	8,7%
CH ₄	2,3%
C _n H _m	0,5%
CO ₂	6,8%
O ₂	0,8%
N ₂	58,5%

Выход газа зависит, с одной стороны, от качества газифицируемого угля, а с другой стороны, от характера работы генератора, — на газ или на смолу.

Если намерены получать главным образом газ, то работают с более высокой температурой, отчего происходит разложение смолы и вместе с тем более высокий выход газа.

Получаемая смола содержит очень мало пыли, имеет удельный вес до 0,877 при 50° и содержит немного креозота. Она имеет окраску от золотисто-желтой до рыжеватой и обнаруживает все признаки первичной смолы.

Пусть газифицируют уголь с

влажностью	56%
содержанием смолы	5%
летучими составными частями	7%
золой	7%
углеродом (кроме С в смоле)	25%

Для такого угля можно допустить теплотворную способность 2450 кал.

Задано получить из 1 кг его 5% смолы и 1,25 м³ газа, низшая теплотворная способность которого 1200 кал (при 0° и 760 мм).

Для выполнения всего процесса газификации необходимы следующие количества теплоты:

Теплоты, связанной в газе	$1,25 \times 1200 = 1500$	кал
„ „ в смоле	$0,05 \times 8500 = 425$	„
„ для испарения воды	$0,56 \times 600 = 336$	„

физической теплоты в газе	} принимаем вместе круглым счетом } 189 кал
„ „ в смоле	
потеря С в золе	
потеря теплоты золой	
потеря теплоты лучеиспуск. теплота реакций в генераторе, включая нагревание топлива	

Всего 2450 кал.

Видим, что данный уголь пригоден для одновременного производства 5% смолы и 1,25 м³ газа.

Углерод, содержащийся в угле, распределяется следующим образом.

В газе, предполагая состав его:

CO	26,0%
H ₂	13,9%
CH ₄	1,0%
C ₂ H ₄	0,5%
CO ₂	7,0%
O ₂	0,5%
N ₂	52,0%
	100,0%

1 м ³ такого газа содержит	0,187 кг С
следовательно, 1,25 м ³	$0,187 \times 1,25 = 0,234$ „ „
в смоле (с 80% С)	$0,05 \times 0,80 = 0,040$ „ „
потеря С в золе (с 3% С)	$0,07 \times 0,03 = 0,002$ „ „

В сумме три послед. числа дают 0,276 кг С

Разность между этим количеством углерода и всем углеродом, содержащимся в 1 кг угля, а также теплота, произ-

водимая летучими составными частями угля, идут на покрытие остальных потребностей теплоты. Если этого количества теплоты в оставшемся углероде и летучих окажется недостаточно, то недостающее количество теплоты покрывается за счет смолы или газа.

Физическая теплота генераторного газа в общем должна расходоваться в таком направлении:

- 1) отгонка воды,
- 2) нагревание топлива до 500° ,
- 3) выполнение процесса сухой перегонки,
- 4) потеря теплоты лучеиспусканием в верхней части генератора,
- 5) физическая теплота отходящего газа и смолы.

Именно:

к 1) $0,56 \times 600$	= 336 кал
к 2) от 15 до 500° , при удельной теплоте топлива $0,3 : (1 - 0,56) \times 485 \times 0,3$	= 64 "
к 3) можно пренебречь, к 4) и 5): круг- лым счетом принимается	= 50 "
Всего около	450 кал

При большой влажности топлива и поэтому незначительном содержании углерода, физической теплоты газа может быть недостаточно для указанной выше цели.

Если, например, температура генераторного газа при входе в пояс сухой перегонки 500° , а при выходе из него 100° , то физическая теплота всего производимого генераторного газа, следовательно $1,25 \text{ м}^3$, будет только

$$1,25 \times 0,3 \times 400 = 150 \text{ кал.}$$

Недостающее количество теплоты для покрытия расхода в 450 кал отчасти заимствуется из промежуточной зоны, которая находится между зоной газификации с температурой 1000° и зоной сухой перегонки с температурой 500° . В этом промежуточном поясе происходит полезная отдача теплоты на такие процессы, как разложение воды, и т. д.

Но главным образом недостающее для отгонки воды количество теплоты покрывается расходом части смолы или газа.

Если намерены получать газ с более высокой теплотворной способностью, то должны вести газификацию при более высокой температуре, поэтому расходовать смолу. Если же имеют в виду получать хороший выход смолы, то должны производить усиленное сжигание газа в генераторе.

Таким образом процесс газификации можно вести двумя путями. Можно производить повышенный подвод воздуха и горение в генераторе, главным образом, до углекислоты. Генераторный газ при этом приходит в зону сухой перегонки, содержа менее связанной теплоты (с меньшей теплотворной способностью) и при более высокой температуре. Такое ведение процесса благоприятствует хорошему выходу смолы. Или можно брать часть производимого газа и применять ее для обезвоживания угля тем или иным способом. Газификация сухого топлива обуславливает господство высокой температуры в шахте генератора. Генераторный газ при этом получается с более высокой теплотворной способностью. Зато понижается выход смолы.

Газ, который выходит из генератора, составляется из генераторного газа зоны газификации и дистилляционного газа зоны сухой перегонки.

Если положить, что из 1 кг угля получают $0,12 \text{ м}^3$ продуктов сухой перегонки с теплотворной способностью 4000 кал , то будем иметь от них

$$0,12 \times 4000 = 480 \text{ кал.}$$

При теплотворной способности газа 1200 кал $1,25 \text{ м}^3$ дадут из 1 кг угля

$$1,25 \times 1200 = 1500 \text{ кал.}$$

Из них на долю продуктов газификации придется

$$1,25 - 0,12 = 1,13 \text{ м}^3,$$

или

$$1,13 \times 1200 = 1020 \text{ кал.}$$

Из этих 1020 кал часть может быть взята еще на покрытие недостающей теплоты для отгонки воды из угля, а также для проведения процесса газификации в генераторе.

Газ должен покидать генератор с температурой насколько возможно низкой. Этому способствует разрежение в генераторе.

На рисунках 61а, 61б, 61с, показана генераторная установка из двух генераторов. Производительность ее составляет по крайней мере 20 *m* в 24 часа.

Запасной генератор не принят во внимание.

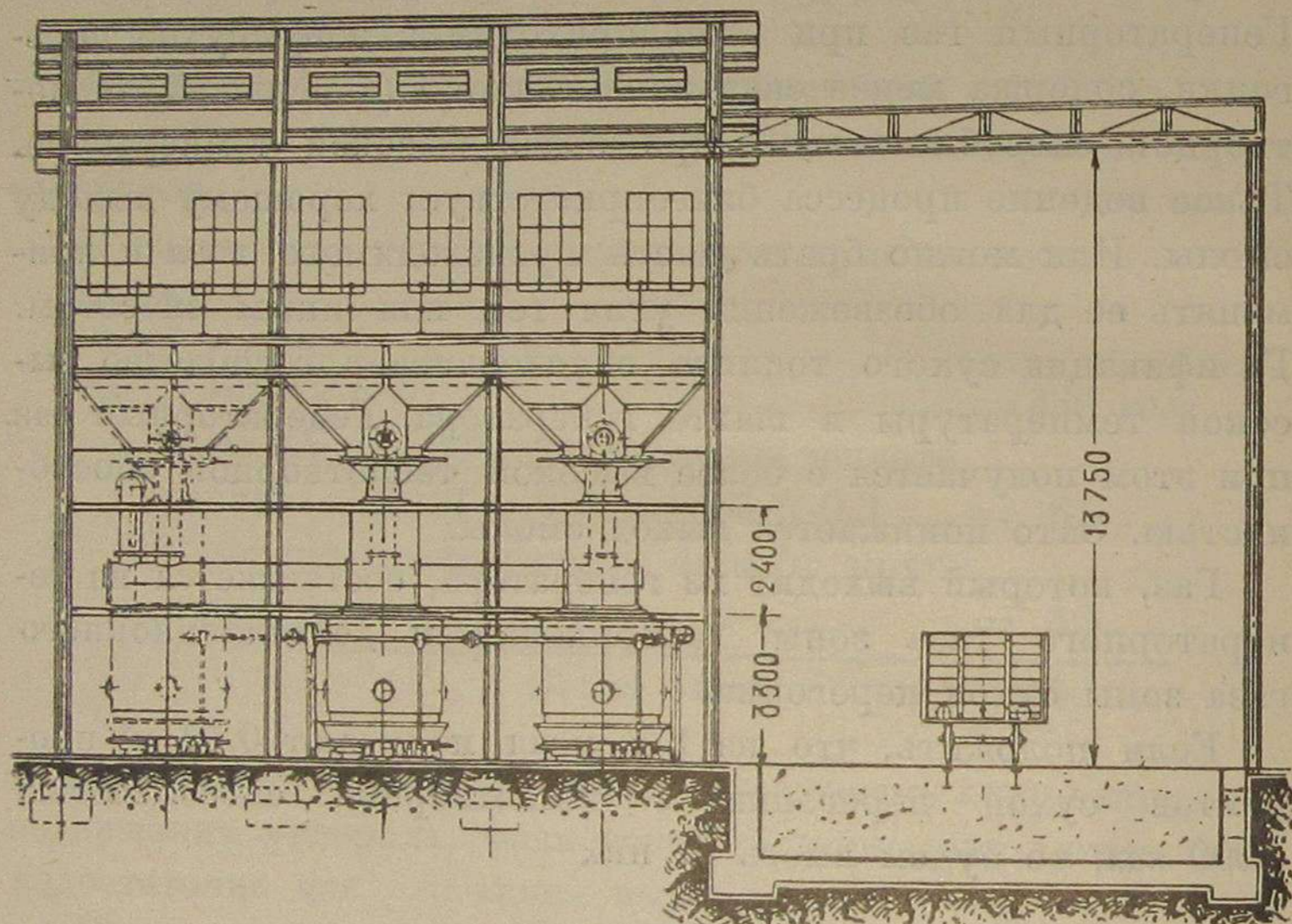


Рис. 61а.

Производительность генератора при использовании влажного рыхлого бурого угля менее, чем при использовании кускового бурого угля, брикета и т. п. Для максимальных размеров генератора производительность точно не установлена, но для генератора, диаметр которого равен 2,2 м, можно принять нормальную производительность 12 *m* в 24 часа.

В течение суток производительность генераторов распределяется в предприятии следующим образом: 8 ночных часов имеют потребление газа, которое можно принять за единицу; 8 дневных часов имеют двойное потребление по сравнению с ночным; 8 вечерних часов имеют тройное потребление по сравнению с ночным. Таким образом можно считать

в году 360 полных рабочих дней и 65 дней с половинной производительностью.

Ранее было показано, что 1 *m* бурого угля данного состава может дать 1,25 *m*³ генераторного газа.

Следовательно производительность установки составляет:

$$2 \times 12\,000 \times 1,25 = 30\,000 \text{ м}^3 \text{ газа в сутки.}$$

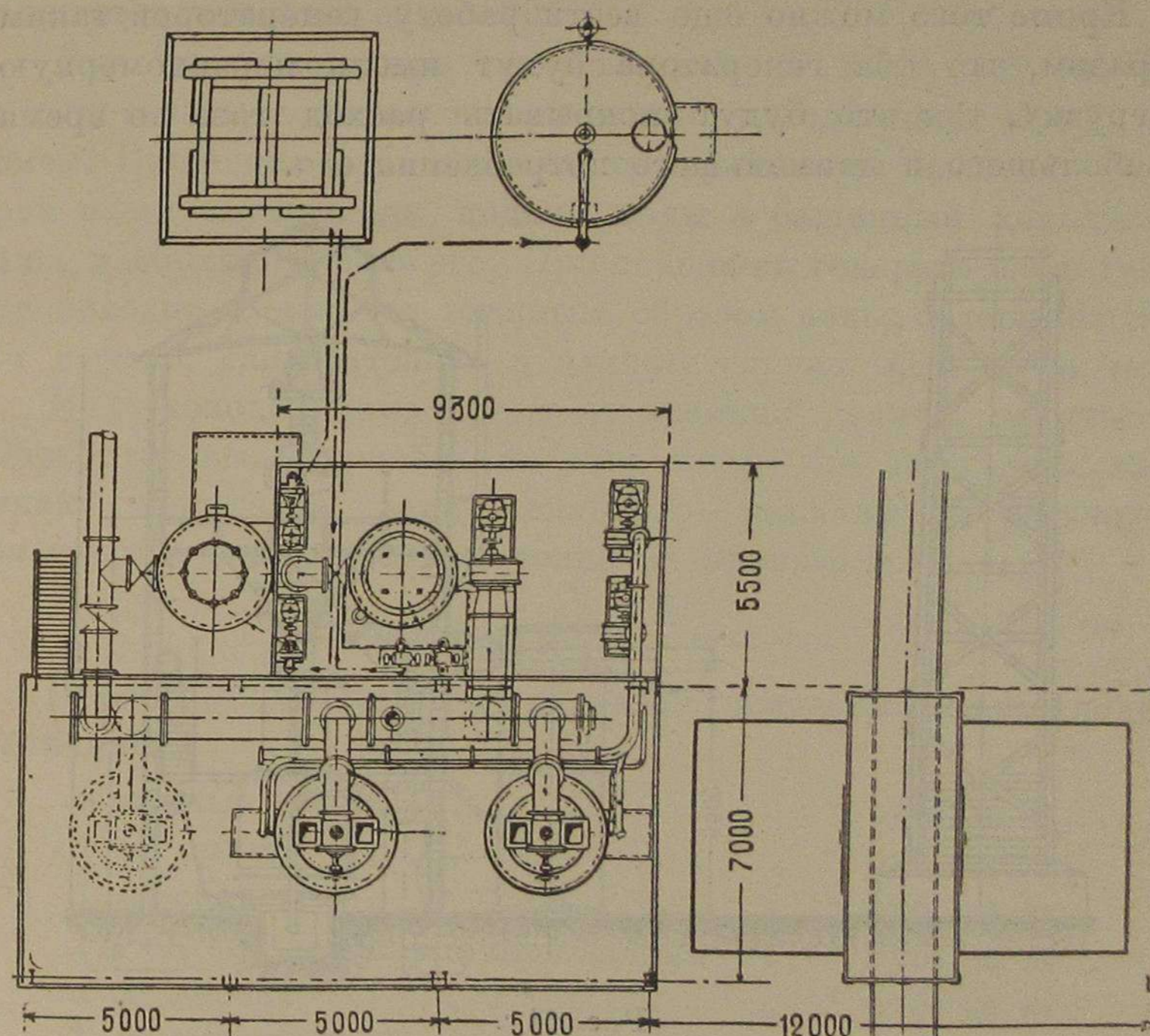


Рис. 61б.

Это количество газа расходуется в сутки следующим образом:

- 8 ночных часов — 5 000 *m*³,
- 8 дневных часов — 10 000 *m*³,
- 8 вечерних часов — 15 000 *m*³.

Средняя производительность установки равна 10 000 *m*³ в 8 часов. Следовательно от времени наименьшего расхода в газометр поступает 5 000 *m*³, которые расходуются во время вечерней работы предприятия. Таким образом выходит, что

необходимо иметь при такой генераторной установке газометр емкостью на 5 000 м³ газа.

Но вместо этого газометра можно поставить третий генератор, который, однако, будет работать неважно, потому что использование его будет неодинаково. В этом случае следует поставить небольшой газометр, который будет выполнять роль буфера.

Кроме того можно еще вести работу генераторов таким образом, что оба генератора будут иметь неравномерную нагрузку, так что будут покрывать расход газа во время наибольшего и наименьшего потребления его.

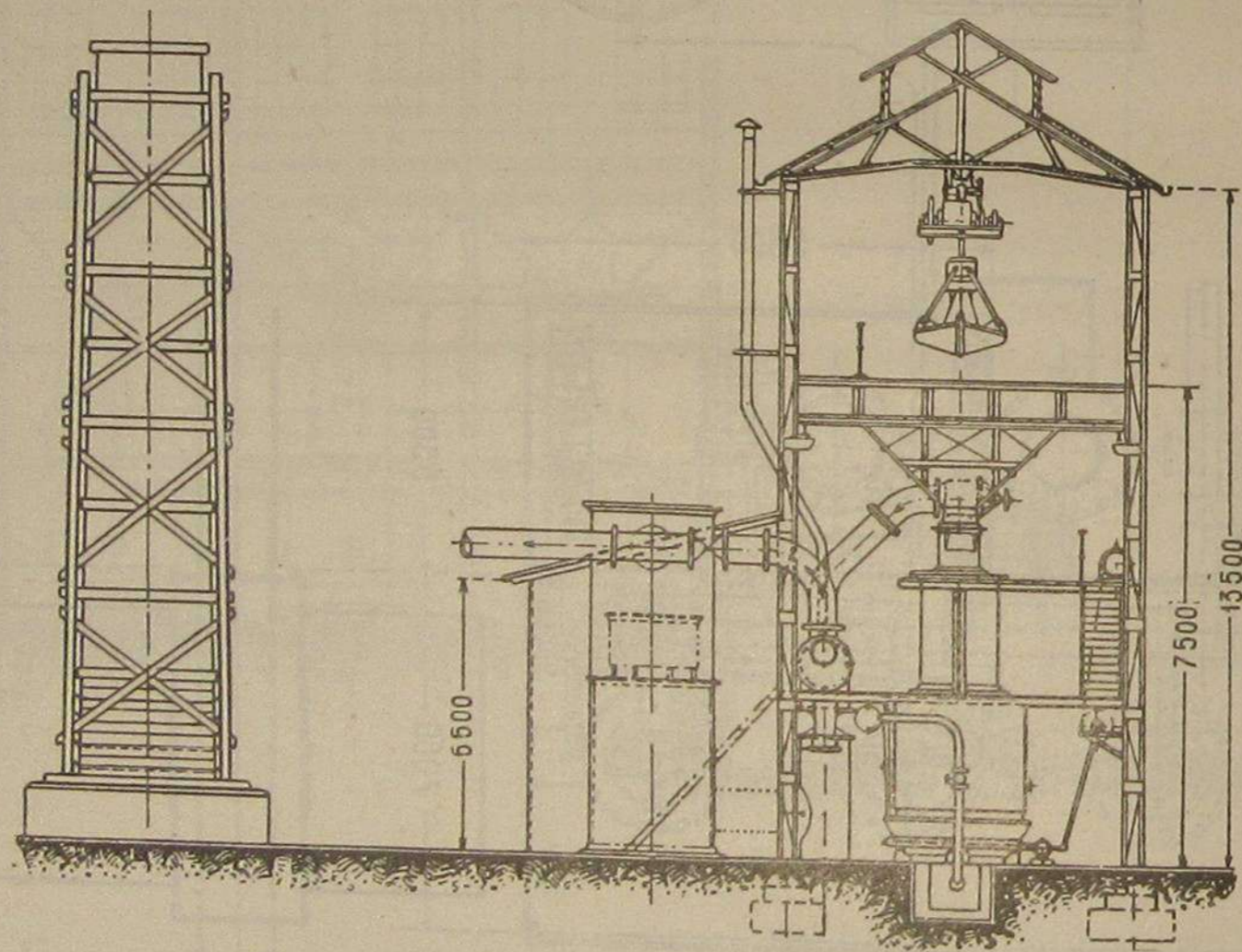


Рис. 61 с.

Вообще же при устройстве генераторной установки необходимо считаться с особенностями местных условий.

Уголь помещается в бункерах, которые находятся на некоторой глубине около генераторной установки. Отсюда уголь при помощи тележки загружается в бункеры, расположенные над генераторами. Только суточное потребление угля, т. е. в данном случае 24 т, должно быть поднимается ежедневно. Верхние бункеры должны вмещать по крайней мере $\frac{2}{3}$ суточной производительности, т. е. по 8 т на генератор. Если принять объем каждого бункера равным 34 м³, то емкость бункера будет составлять около 37 т бурого угля.

Генераторы имеют диаметр 2,2 м, они снабжены внутренней ретортой и вращающимся колпаком. Обслуживание требует, кроме пола, устройства еще двух рядов подмостков.

Газ выходит вверх, как показано на рисунке 60, и собирается в общей трубе.

Установка снабжена двумя воздуходувками, из которых каждой достаточно для обоих генераторов, так что одна служит в качестве запасной.

Газ из генератора отсасывается и поступает потом в очиститель, а из него в железный холодильник с орошением. Орошение производится центробежным насосом. Второй насос служит для подачи воды в башенный холодильник, в верхнюю часть его. При осушении генераторного газа происходит выделение главным образом воды, содержащейся в угле, следовательно в данном случае 0,560 м³ в час.

Вода холодильника время от времени должна меняться. Обработка выделившейся из газа воды для получения аммиака невыгодна ввиду сильного разжижения раствора аммиака и поэтому обыкновенно не производится.

Расчет стоимости установки

Расчет стоимости имеет в своем основании следующие величины:

железные части	"	руб. за кг
1 м ² крыши	"	руб. за м ²
1 м ² окна	"	руб. за м ²
1 м ³ бетона или кирпичной кладки	"	руб. за м ³
1 м ³ дерева	"	руб. за м ³
1 м ³ огнеупорной кладки	"	руб. за м ³
1 м ³ материала, заполняющего промежуток между огнеупорной кладкой и кожухом	"	руб. за м ³

I. Генераторы установки

2 генератора, каждый диаметром 2,2 м, с вращающейся решеткой, с внутренней ретортой и прочими принадлежностями, с приспособлениями для воздушного и парового дутья и всякой арматурой	"	руб.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	------

2 воздуходувки, каждая для двух генераторов, с двигателем трехфазного тока, включая принадлежности	"	"	руб.
Комплекты труб для воздушного дутья, для воды, пара, продувания	"	"	руб.
Трубы для отвода газа	"	"	руб.
<hr/>			
Итого	"	"	руб.

II. УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗА

1 отсасыватель газа с вентилями и двигатель трехфазного тока к нему	}	"	" рублей.
1 газоочиститель			
1 железный холодильник			
2 центробежных насоса с двигателем трехфазного тока			
1 башенный холодильник			
2 смоляных насоса			
общая труба для газа, труба для воды и труба для смолы			
электрическое оборудование			

III. УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДАЧИ УГЛЯ

1 тележка ¹ („кошка“) с ковшем, способным захватывать уголь, комплект электрического оборудования и путь для вагонетки	}	"	" рублей.
2 угольных бункера над генераторами, каждый объемом в 34 м ³			

IV. ГЕНЕРАТОРНОЕ ПОМЕЩЕНИЕ

Железные конструкции генераторного помещения	}	"	" рублей.
пристройка пути для ковша, помещение для аппаратов			

¹ См. Сидоров А. И., Подъемные и транспортные устройства, стр. 54.

мостики с лестницами	}	"	" руб.
окна с принадлежностями			
всякого рода каменные, плотничьи и столярные работы			
фундамент и угольные бункеры для хранения запасов угля			
отопительная и осветительная установки (без котла)			

V. ГАЗОМЕТР

1 телескопный газометр с бассейном из сварочного железа, монтаж, общие расходы	"	"	руб.
если ставят третий запасной генератор, то его стоимость	"	"	руб.
стоимость 500 м ³ газометра	"	"	руб.

Расчет доходности

Установка производит

300 дней:

$$30\,000 \times 300 = 9\,000\,000 \text{ м}^3$$

65 дней:

$$15\,000 \times 65 = 975\,000 \text{ "}$$

Всего в течение года $9\,975\,000 \text{ м}^3 \approx 10\,000\,000 \text{ м}^3$ генераторного газа.

Оплата труда в течение суточного производства:

транспорт угля и т. д. — 2 чел. по 8 час.	16	раб. час.
обслуживание генераторов — 3 чел. по 8 ч.	24	" "
аппараты и т. д. — 3 чел. по 8 час.	24	" "
<hr/>		
в сутки	64	раб. час.
в год 300×64	= 19 200	" "
65×48	= 3 120	" "
<hr/>		
	22 320	раб. час.

Расход работы:
транспорт угля

$$\frac{7980 \text{ т/год}}{10 \text{ т/час}^1} \times 15 \text{ kWh}$$

воздуходувка

колонниковая решетка

отсасыватель газа

насосы

} ≈ 25 kWh

Расход пара:

При нормальном ходе генератора пар в генератор искусственно не подводится.

На мелкие расходы следует сделать надбавку в 100% от расхода по оплате труда.

На расходы по ремонту и улучшению возьмем 2½% от расходов по I, II, III и IV пунктам.

На амортизацию 10% от расходов по I, II, III и IV пунктам.

Прибыль на капитал составит 5% от расходов по I, II, III и IV пунктам.

Оказывается, что введение газификации топлива при низкой температуре в генераторе с отъемом от газа смолы сделало работу газификации не только обыкновенно экономичнее, но в известной мере также проще и прежде всего повело к тому, что дало возможность уменьшить число типов газогенераторов для различных видов топлива.

¹ Выбрана часовая производительность равной 10 т в час.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

ЗЕРНОВ Д. С., проф.

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

Стр. IX + 337.

Ц. 4 р.

КВАНЦ Л.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

Общие понятия, конструкция и расчет современных двигателей и установок.

Перевод с последнего печатн. дополн. и испр. нем. изд. инж. Фл. П. Товтолес.

Стр. 150.

Ц. 2 р.

МЕКК Н. К., ДМОХОВСКИЙ К. К.
и ДОМБРОВСКИЙ А. Б.

ТЕПЛОВОЗ

Его экономические и технические достижения.

Под редакцией Н. К. Мекка.

ПРОДАЖА ВО ВСЕХ МАГАЗИНАХ, КИОСКАХ И ОТДЕЛЕНИЯХ
ГОСИЗДАТА