

Инж. А. Г. ЧЛЕНОВ

ФФ  
219  
232

ФФ  
56  
313

# СОВРЕМЕННЫЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ

ОНТИ - ЭНЕРГОИЗДАТ - 1984



Опечатки к книге А. Г. Членов — „Современные газогенераторы“

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
15	5 сверху	0,0000281	0,00000281
15	7 "	0,0000142	0,00000142
19	7 снизу	21,35	2,35
22	13 сверху	1 200 мм	600 мм, вторая — 1 200 мм
42	14 снизу	28 л/м <sup>2</sup>	28 л/м <sup>3</sup>
43	26 сверху	низковольтного	низкотемпературного
56	20 "	— 19%	— 91%
59	6 снизу	Al <sub>2</sub> P 1,05%	P 1,05%
59	5 "	O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub> 6,92%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub> 46,92%
61	3 сверху	в качестве флюса	в качестве флюса известняка

9 219  
232

Инж. А. Г. ЧЛЕНОВ

# С О В Р Е М Е Н Н Ы Е Г А З О Г Е Н Е Р А Т О Р Ы

Под редакцией инж. Н. Н. ЛАЗАРЕВА  
и с предисловием проф. Н. М. КАРАВАЕВА



ОНТИ НКТП  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА 1934 ЛЕНИНГРАД



Редактор инж. П. А. Петров  
Техредактор И. П. Пошешулин

### АННОТАЦИЯ

*В предлагаемой книге содержится обзор современных газогенераторов, применяемых в СССР. Газогенераторы рассмотрены как с конструктивной, так и с эксплуатационной точки зрения. Книга рассчитана на инженеров-проектировщиков, а также на работников, связанных с эксплуатацией газогенераторных установок.*

Посвящаю этот труд памяти дорогого моего учителя профессора МВТУ Василия Афанасьевича УШКОВА.

А. Членов



2017131381



### ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время специальная литература по газовому делу у нас вообще очень бедна. Книг по конструкциям и работе газогенераторов почти нет. Книга доцента С. Ф. Флорова уже давно разошлась, книга проф. Н. А. Костылева является хорошим, но, к сожалению, слишком узким руководством для высшей школы. Производственная же литература по газогенераторам ограничивается журнальными статьями, притом весьма редкими.

Это обстоятельство побуждает нас признать целесообразным выпуск в свет предлагаемой работы инж. А. Г. Членова, дающей обзор основных типов применяющихся в СССР современных газогенераторов как в отношении их конструкции, так и в отношении эксплуатационных характеристик. Конечно, большая часть материала относится часто к единичным наблюдениям, и выводы могут нуждаться в дополнительной практической проработке. Но во всяком случае рационализаторская работа газового сектора Оргэнерго, в котором работает автор, в значительной мере строится на основе этих материалов, и при всей их недостаточности они должны быть хотя бы в предлагаемом кратком изложении известны производственникам и конструкторам.

Наибольшее место отведено в книге конструкциям, по которым имеется эксплуатационный опыт в СССР; материалы последнего времени далеко не полно отражены в работе, так как книга по ее написанию долгое время не могла быть включена в план издательства.

Полное научное освещение всех важнейших конструкций газогенераторов дают русские издания капитальных работ: Rambush «Modern Gas Producers» (Госхимтехиздат, выйдет в 1934 г.) и Тренклера «Газогенераторы» (Энергоиздат, 1933 г.).

Н. Караваяев.



## Оглавление

Стр.

Предисловие . . . . .	
Введение . . . . .	

### ЧАСТЬ I

#### Общие вопросы рационального использования топлива в газогенераторах

1. Промышленное значение генераторного газа . . . . .	73
2. Общие понятия о газификации . . . . .	95
3. Исследование процесса производства генераторного газа . . . . .	12
А. Скорости основных реакций . . . . .	—
Б. Зональное исследование работы генератора . . . . .	16
В. Зональное исследование работы генератора на паро-воздушном дутье . . . . .	20
Г. Изменение состава газа в регенераторах . . . . .	23
Д. Выводы из опытов Уилера и Вендта . . . . .	26

### ЧАСТЬ II

#### Современная практика процесса газификации

1. Внешние характеристики процесса газификации . . . . .	28
2. Результаты работы на различных топливах . . . . .	35
А. Зависимость процесса от свойств топлива . . . . .	—
Б. Выбор топлива для новых газогенераторных станций . . . . .	44

### ЧАСТЬ III

#### Современные конструкции газогенераторов

1. Краткий очерк развития современных конструкций газогенераторов . . . . .	64
2. Современные конструкции вращающихся решеток . . . . .	75
3. Основные элементы современного газогенератора . . . . .	92
4. Современные механизированные конструкции газогенераторов . . . . .	93
5. Газогенераторы с охлаждением шахты . . . . .	110
6. Генераторы с жидким шлакоудалением . . . . .	124
7. Генераторы с использованием побочных продуктов . . . . .	125

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемая работа представляет собой практическое пособие для конструкторов по газогенераторостроению и для тех инженеров, которым по роду их работы приходится проектировать, строить и покупать газогенераторные установки. Она может также помочь и производственнику, работающему по эксплуатации газогенераторов, и студенту, впервые изучающему этот предмет. Курсов с изложением теории газификации имеется не мало: превосходно она изложена у проф. С. П. Лангового в его труде «Технология топлива», затем подробно со всеми расчетами у проф. В. Е. Грум-Гржимайло в «Пламенных печах» (новое издание вышло в 1932 г.) далее у С. Ф. Флорова («Газогенераторы»), у Залесского, Оклова, Павлова, Чернобаева и т. д.; наконец, есть солидные заграничные работы Тренклера (Trenkler), Германса (Hermanns), Рэмбуша (Rambush) и др.

Однако в настоящее время эти работы едва ли могут полностью удовлетворить инженера при реальном проектировании и выборе газогенераторных установок, в особенности импортных. В самом деле в имеющихся русских изданиях нет исследований газогенераторной установки как самостоятельного цеха, очень мало данных по газоочистке и использованию побочных продуктов и соответствующей аппаратуре (таковая частично описана у инж. И. И. Лоханского «Коксование с использованием побочных продуктов»); мало материалов по газификации топлив СССР, особенно низкосортных — древесной щепы, торфа, подмосковных углей; совершенно не затронут вопрос газификации бессмольных топлив — антрацитовой и коксовой мелочи (орешка и АМ); наконец, мало данных о работе последних конструкций газогенераторов, которые реально предлагаются в настоящее время иностранными фирмами. Это объясняется тем, что все эти работы изданы в 1922—1926 годах и их материалы в значительной степени относятся еще к довоенному времени. Между тем, для СССР целый ряд вышеупомянутых весьма важных факторов приобрел огромное значение именно в последнее время, в связи с усиленным новым строительством и недостатком топлива. Поэтому проектировщик или строитель завода при выборе газового оборудования и схемы производства газа встречает, с одной стороны, дождь предложений иностранных фирм, каждая из которых широко себя рекламирует, а с другой — не имеет эксплуатационных данных для их оценки. Это, конечно, явилось одной из причин серьезных неудач и затруднений со многими новыми газогенераторными установками, монтированными за последнее время. Нередко в этих установках получалось сильнейшее засорение газопроводов, конструкции газоочисти-



тельных аппаратов оказывались неподходящими, или колосниковые решетки не соответствовали характеру шлаков и т. д. С другой стороны, так как эти установки ставились в различных отраслях промышленности и в большинстве случаев подробных испытаний их не делалось, или же результаты их не обобщались и не становились известными массе проектировщиков, то создавалось совершенно неправильное представление о пригодности того или иного генератора. Так, например, одни рекомендовали генератор Вельмана, потому что он полностью механизирован и хорошо известен в Америке, совершенно не учитывая неудачной работы этого газогенератора на константиновских цинковом и стекольных заводах; другие, наоборот, на основании этой плохой работы признают конструкцию Вельмана совсем никуда негодной, что также совершенно неверно. Плохая работа газогенераторов Вельмана объяснялась плохим качеством угля, отсутствием газоочистки, засмолением неправильно сконструированных газоходов, плохим надзором со стороны обслуживающего персонала и т. д.

Данная работа имеет целью собрать и систематизировать имеющийся проектный и испытательный материал для возможности предварительного суждения о выбираемых конструкциях и для содействия организации собственного газогенераторостроения в связи со снятием газогенераторных установок с импорта. В настоящее время в СССР ввезено довольно много различных конструкций газогенераторов и газоочистительных аппаратов, и таким образом, имеется полная возможность на основе их сравнительного изучения выявить наилучшую конструкцию, составленную из лучших деталей отдельных фирм. Помочь этому освоению иностранного опыта в части установок для получения генераторного газа и является целью настоящей работы, и нам кажется, что с этой точки зрения она может быть полезна.

Теоретическая часть работы (часть I) не претендует на особую полноту и дает лишь характеристику некоторых важнейших исследований (в особенности Уилера).

Новейшие научные исследования в области газогенераторного процесса, как например, газификация во взвешенном состоянии, или газификация под давлением, здесь не могут быть затронуты, как не имеющие еще в Союзе законченных промышленных конструкций<sup>1</sup>.

*Автор*

Москва, 1932 г.

<sup>1</sup> Работы по газификации пыли и мелочи ведутся рядом научно-исследовательских органов; см., например, о работах ВТИ у В. П. Федорова, Газификация штыбов, «Бюлл. нов. техн.», № 75, 1932. По газификации под давлением см. раб. К. С. Зарембо «Хим. тверд. топлив.», № 7—8, 1932 и статью проф. Н. И. Ювенальева, Русско-терм. вестник науки и техники, 1933, № 4.

## ЧАСТЬ I

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА В ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ

#### 1. ПРОМЫШЛЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

Вопросы газификации топлива получают в настоящее время все возрастающее значение, с одной стороны, в связи с напряженностью топливного баланса и, с другой стороны, вследствие богатых возможностей получения различных ценных продуктов при химической переработке топлива. Здесь мы должны разграничить две основные отрасли технологии полной газификации топлива, имеющие совершенно различное хозяйственное значение. Во-первых, вопросы газоснабжения на основе водяного газа (коммунальное газоснабжение, дальнейшее газоснабжение, химическая промышленность и др.), у нас пока еще далеко не развившегося до необходимых размеров и подлежащего усиленной проработке во второй пятилетке, во-вторых, вопросы производства генераторного газа для отопления промышленных печей, имеющего уже в настоящее время огромное распространение на предприятиях минеральной технологии, металлургии и машиностроения.

Цинк и известь, алюминий и фарфор, фтористый барий и детали сельскохозяйственных машин — одинаково требуют на той или иной стадии технологического процесса большего или меньшего применения генераторного газа.

Совершенно неправильным при этом является мнение, будто бы газовое отопление вытесняется или подлечит вытеснению отоплением пылевидным топливом. Эти две области даже не являются конкурентами. Пылевидное топливо неприменимо в тех случаях, когда недопустима примесь золы топлива, как, например, в стекловаренных печах, в печах химической промышленности; далее, там, где нужен легкий, хорошо регулируемый нагрев, меняющееся то окислительное, то восстановительное пламя, как например, во всевозможных нагревательных, обжигательных, закалочных печах по обработке металлов, стекольных изделий, огнеупорного кирпича, фарфора и т. д.; наконец, в тех случаях, весьма обычных для нашего нового крупного строительства, когда от одной генераторной станции отапливают большое количество печей, разбросанных по условиям технологического процесса на большом расстоянии, достигающем часто 1—2 км, как, например, в Уралмашстрое (Свердловск). В этих случаях распределение



угольной пыли было бы настолько сложно, и расход энергии на транспорт ее настолько велик, что пылевидное отопление, конечно, здесь неприменимо. Область применения пылевидного топлива — это котельные крупных электростанций и крупные промышленные печи, каждая из которых является значительным (часто единственным) потребителем пыли, вырабатывающим какой-либо полуфабрикат, страдающий от влияния золы; например, медеплавильные отражательные печи, которых ставится обычно не больше одной-двух даже на крупных заводах (Корсакпай, Богомолово, Карабаш и т. д.). Выплавляемый в них продукт — штейн — защищен от действия золы топливом слоем шлака и в дальнейшем поступает на переплавку в конвертеры. В этом случае пылевидное отопление дает возможность обойтись без регенераторов, которые обычно засоряются рудной пылью (уносом руды). Отходящие газы с высокой — до  $1\ 200^{\circ}\text{C}$  — температурой используются под паровыми котлами, и получающейся энергии обычно хватает на все потребности завода. По этому же пути может идти и мартеновское производство, как это уже и имеет место за границей.

Наоборот, этажные печи для обжига цинковых, медных и прочих колчеданных руд проделали следующую эволюцию: раньше подтапливали нижник пода простыми колосниковыми топками, затем перешли на пылевидное топливо, теперь же почти повсеместно переходят на очищенный газ, что и понятно, — при невысоких температурах внутри печи ( $750\text{--}900^{\circ}$ ) угольная пыль не успевает сгореть в тесном пространстве между этажами печи; несгоревшие частички сажи и пыли засоряют обжиговые газы, идущие далее на серноокислотный завод. Частички угольной пыли, выпавшие из факела, засоряют обожженную руду, мешая дальнейшему процессу выщелачивания.

Однако, несмотря на все расширяющееся применение генераторного газа как промышленного топлива, вернее, именно благодаря этому, вопросы технологии генераторного газа решаются чрезвычайно распыленно отдельными потребителями газа, каждый из которых не может отойти от своей узкой производственной точки зрения текущего момента. Как увидим дальше, среди производителей до сих пор сохраняется представление о газогенераторах как о придаточном аппарате печи; между тем, в современных условиях генераторный цех является почти самостоятельным производством, весьма сильно зависящим от своего сырья — топлива, конструкции аппаратов и т. д. и гораздо менее — от своего потребителя. На генераторный цех обычно обращают внимание не больше, чем на механическую мастерскую или на отопление цехов; редко кому приходит в голову устраивать предварительные испытания генераторного топлива даже в лабораторном масштабе, не говоря уже о промышленных; еще меньше думают об использовании побочных продуктов газификации, получающихся при всякой очистке газа. Ряд неудач, имевших место с газогенераторами в Константиновском, Бутылочном, Павтелеймоновском динасовом и других заводах, или, например, тот факт, что стеклозавод в Гусь-Хрустальном спускал ценную торфяную смолу в болото<sup>1</sup> за невоз-

<sup>1</sup> В настоящее время смола уже используется химпромышленностью; кроме того экспериментально установлена возможность использования ее в дизелях (Ленинградский машиностроительный институт).

можностью использовать ее на заводе, лучше всего подтверждают это. В силу этого совершенно необходимо в ближайшее время тщательно и разносторонне обследовать этот вопрос и установить наиболее рациональные методы получения генераторного газа в масштабе одного или группы смежных заводов для различных типовых производств. Необходимо помнить, что «вспомогательные цехи» — генераторы — являются в ряде производств: металлургическом, керамическом, стекольном и др. сердцем завода наравне с энергоснабжением.

## 2. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ГАЗИФИКАЦИИ

Горение топлива состоит в окислении органической массы топлива, результатом которого являются  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{SO}_2$ , иногда  $\text{SO}_3$ , если не считать явлений окисления закиси железа  $\text{FeO}$  до окиси  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В плохо устроенной топке, где не обеспечено правильное соотношение воздуха и топлива или количество воздуха вообще недостаточно, горение происходит неполностью и в продуктах сгорания появляются горючие газы, главным образом, окись углерода  $\text{CO}$ , иногда водород  $\text{H}_2$  и т. д. Количество этих продуктов неполного сгорания зависит от конструкции топки и режима работы. Можно подобрать такую конструкцию топки и работать с таким недостатком воздуха, что эти продукты будут значительно преобладать над продуктами полного сгорания.

Такая топка по существу и является газогенератором, а полученная смесь — генераторным газом; состав его в свою очередь может меняться в широких пределах в зависимости от конструкции генератора и режима работы (подвода пара, быстроты газификации и т. д.). В обычных топках мы часто уже имеем дело с частичным процессом газификации; впуская вторичный воздух через каналы в стенках топки (или дверцы), мы сжигаем в топочном пространстве летучие вещества, получившиеся при прохождении воздуха через слой топлива. Такой процесс газификации мы имеем в шахтной топке Макарьева, Ковальского, Кирша, и т. д. при дровах или торфе и на передней части цепной решетки (под отражательным сводиком) — при каменном угле.

То же самое можно сказать и о генераторных топках: и в них наблюдаются явления полного сгорания в зависимости от конструкции и условий работы. Если генераторная топка стоит рядом с печью — в одном габарите с ней, то можно особенно не заботиться о качестве и теплопроизводительности газа: чем хуже газ, тем больше в нем содержания  $\text{CO}_2$ , тем он горячее, а при близости топки к печи теплота газа почти не теряется на пути газа от топки к печи. Поэтому в такой полугазовой топке содержание  $\text{CO}_2$  может доходить до  $10\text{--}11\%$  и выше при малом содержании водорода, так как пар получается только путем испарения влаги, наливаемой в поддувало. Топки такого типа в изобилии имеются на наших металлургических и машиностроительных заводах при методических нагревательных и отжигательных печах и всем известны по описанию В. Е. Грум-Гржимайло<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> «Пламенные печи», изд. Теплотехнического института, повторено в 1932 г. (стереотип).



Если же генераторная топка удалена от печи и печь оборудована регенераторами, как, например, мартеновская или стеклоплавильная печь, то, наоборот, желательно возможно понизить температуру газа, т. е. его физическую теплоту, так как она в значительной мере теряется в боровых и лишь помешает максимальному использованию тепла отходящих печных газов в газовых регенераторах. Поэтому в этом случае всячески стремятся повысить теплотворную способность газа и снизить процесс полного сгорания в генераторе. С этой целью под колосники подводят пар как для понижения температуры газа, так и для обогащения газа водородом, и повышают слой топлива с целью его наилучшей просушки, подогрева и полукоксования. В правильно работающем каменноугольном газогенераторе горячего хода без использования побочных продуктов содержание  $\text{CO}_2$  не превышает 5—6%, температура выходящего газа около 500—550°, а теплотворная способность газа доходит до 1300—1400 кал/м<sup>3</sup>.

Развитие мощности заводов и увеличение числа печей, разбросанных по заводу, вызвало удлинение газопроводов, общая длина которых достигает на некоторых заводах, например, на Уралмашстрое, до 2—3 км. Повышение требований к качеству термической обработки вызвало переход к усовершенствованным печам со многими мелкими горелками высокого давления, авторегуляторами температуры и т. д. Все это заставило перейти на охлаждение и очистку газа от пыли, смол и излишних паров воды, газ стал подаваться к печи с температурой 30° или около этого. В условиях такого снижения выходной температуры газа явилась необходимость повышения его качества. Делалось это путем предохранения высококалорийных продуктов сухой перегонки от разложения; для этого применялись: повышенный слой топлива, устройство так называемой «швельшахты», или шахты для полукоксования, устройство двух отводов для газа — с целью избежать перегрева продуктов полукоксования, путем пропуска через швельшахту лишь части генераторного газа (около 1/3) и т. д. В современных газогенераторах с использованием побочных продуктов температура газа при каменном угле не должна превышать 200—250° Ц, а при дровах, торфе или бурых углях 100—120° Ц; более низкая температура 60—80° Ц крайне нежелательна ввиду возможности обратной конденсации паров воды и смолы, которые, осаждаясь, на поверхности топлива, особенно при наличии мелочи, создают так называемые «пояса грязи», затрудняющие проход газа. Калорийность хорошего газа 1500—1750 кал/м<sup>3</sup>.

При подаче газа на дальнейшее расстояние калорийность в 1750 кал/м<sup>3</sup> уже недостаточна, так как здесь громадную роль играют стоимость трубопровода и расходы на компрессию газа. Чем выше «теплотность» газа, т. е. калорийность 1 м<sup>3</sup>, тем меньше может быть его объем при том же количестве передаваемого тепла, т. е. тем меньше должен быть диаметр труб, размеры компрессора и стоимость компрессии. Поэтому для этой цели применяется коксовый или натуральный газ теплопроизводительностью в 5000—8000 кал/м<sup>3</sup>, если таковой имеется в наличии; при необходимости получения искусственного газа применяется карбюрированный водяной газ с теплотворной способностью в 4200 кал/м<sup>3</sup>. Принцип получения водяного газа состоит, как известно, в следующем. В обычный совре-

менный генератор вдувается смесь пара и воздуха, в генератор водяного газа пар и воздух вдуваются отдельно по периодам: воздушное (горячее) дутье около 2 мин. и паровое (холодное) около 5 мин., причем продукты газификации отводятся отдельно. При воздушном дутье происходит частичное сгорание топлива в  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ ; топливо разогревается до 1300—1400° Ц, а продукты газификации отводятся в огнеупорную камеру, где и сгорают, после чего продукты сгорания уходят или прямо в трубу или предварительно проходят через утилизационные паровые котлы. При паровом дутье происходит разложение водяного пара раскаленным углем с образованием  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ ; газ, состоящий в идеальном случае только из этих горючих элементов, проходит через раскаленную огнеупорную камеру, перегревается и карбюрируется путем впрыскивания в него мазута или смолы; последняя при разложении дает много горючих высококалорийных газов: метана, этилена и т. д., которые обогащают собой полученный водяной газ. Обогащенный газ идет на промывку и очистку, где освобождается от жидких и твердых продуктов разложения нефти или смол, как сажа, вторичная смола, нафталин и т. п. При продувке генератора водяным паром происходит затрата тепла на разложение пара, содержащее генератора охлаждается, и нужно снова продувать воздух, чтобы разогреть топливо путем сжигания некоторой его части. Как мы видим — процесс довольно сложный, и тепловой к. п. д. его сравнительно невысок: от 40—45% для старых установок и до 60—70%<sup>1</sup> — при новейших — с установкой котлов, аккумуляторов Рутса и т. д. (такая установка поставлена, например, фирмой Демаг на Торецком болтовом заводе). Поэтому водяной газ сравнительно дорог и применяется или как примесь к светильному газу (благодаря легкости растопки генераторы водяного газа ставятся на газовых заводах в качестве резерва для восприятия пиков нагрузки газового завода) или для специальных целей, например, для сварки на металлзаводах, в химпромышленности для гидрогенизации, для синтеза искусственного жидкого топлива и т. д. В самое последнее время усиленно трактуется вопрос о применении водяного газа для передачи тепловой энергии на дальнее расстояние. Использование низкосортного влажного топлива: торфа, подмосковного угля — в малых фабричных установках, в домашнем хозяйстве и т. д. настолько неэкономично и, главное, неудобно, а перевозка и перегрузка их требует такого количества железнодорожных вагонов, авто- и гужетранспорта и рабсилы, что может оказаться выгоднее обращать низкосортное топливо в высококалорийный газ и транспортировать его по трубам под большим давлением (до 30 ат), несмотря на значительные потери при газификации<sup>2</sup> и сравнительную дороговизну производства и транспорта газа. Решение вопроса может быть различно в зависимости от района, от стоимости топлива, от стоимости оборудования (труб, компрессоров, газовых моторов для компрессоров и т. п.), стоимости побочных продуктов, получаемых при очистке газа, — смолы,

<sup>1</sup> Газогенератор водяного газа системы Пинч для битуминозных углей имеет термический к. п. д. 71,7% (по данным фирмы) и к. п. д. газификации 54—66%. См. Тренклер, «Газогенераторы», Энергоиздат 1933.

<sup>2</sup> О газификации подмосковного угля для этих целей см. раб. П. А. Солодовникова, Л. З. Новикова, А. Ф. Жукова, «Хим. тверд. топлив.», № 4, 1932.

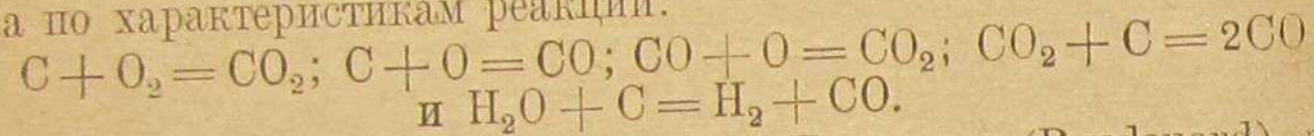


серы и т. д. Коснуться этого вопроса подробнее мы здесь не можем, так как основная задача данной работы — рассмотрение методов и конструкций для получения генераторного газа.

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА

#### А. Скорости основных реакций

Как будет указано в дальнейшем, получение собственно генераторного газа сводится фактически к газованию, вернее, полусжиганию кокса или полукокса, образующегося из взятого топлива. Поэтому чрезвычайно интересно проследить фактический ход газификации кокса по характеристикам реакций:



Эта работа была проделана сперва Будуаром (Boudouard), затем Фарупом (Farup) и наконец, Уилером, выводы которых мы здесь в основном и приводим<sup>1</sup>.

Фаруп нашел, что существует определенное соотношение между скоростями всех вышеупомянутых реакций, а именно: скорость восстановления углекислоты углеродом до окиси углерода при 850° Ц равна скорости окисления углерода кислородом воздуха до окиси углерода при температуре 450° Ц. Скоростной температурный коэффициент этой реакции равен  $\frac{K^{T+10}}{K^T} = 1,50$ . Фаруп производил свои

опыты над кислородом и графитом (из дуговой лампы) при температуре 455, 485° и 515° и над воздухом и графитом при температуре 485° и 515° Ц. Для этой цели струя воздуха или кислорода пропусклась через накалившую фарфоровую трубу, где лежал графит в форме нити; по анализу продуктов горения и скорости пропуска газа можно было судить о скорости реакции.

Рид (Rhead) и Уилер проводили свои опыты по определению скорости окисления углерода кислородом над очищенным древесным углем в том же аппарате, что и для определения скорости восстановления CO<sub>2</sub> до окиси углерода.

Газы пропускались последовательно через трубку, в которой происходила реакция, через три определительные трубки и через абсорбционную трубку, заполненную смесью едкого натра и перекиси калия. При температурах 350° и 400° определительные трубки были включены, и скорость реакции определялась из уменьшения давления после абсорбции; при температурах 500° и выше все трубки были включены и определялось парциальное давление каждого газа; отсчеты делались за определенные промежутки времени. Результаты сведены в табл. 1 с нижеследующими обозначениями:

$t$  — время пропускания определенного объема воздуха от начала испытания;

$P$  — суммарное давление внутри аппарата в мм рт. ст., пересчитанное на 0° Ц.

$P_{O_2}$  и  $P_{CO}$  — парциальные давления газов — кислорода и окиси углерода.

<sup>1</sup> R. V. Wheeler. Producer — Gas and Gas — Producer Practice. Fuel in Science and Practice, № 3—5, 1923.

$K_{O_2}$  — коэффициент скорости реакции исчезновения кислорода, пересчитанный по парциальному давлению по формуле

$$\frac{1}{t} \cdot \lg \frac{P_0}{P_t} \text{ где } t = 1 \text{ мин.}$$

Таблица 1

#### Опыт окисления древесного угля воздухом

1. $T = 350^\circ \text{C}$				2. $T = 400^\circ \text{C}$			
$t$ мин	$P$ мм	$P_{O_2}$ мм	$K_{O_2}$	$t$ мин	$P$ мм	$P_{O_2}$ мм	$K_{O_2}$
0	406,4	78,4	—	0	417,8	87,7	—
360	402,7	74,7	0,0000583	120	405,2	75,7	0,000562
720	399,7	71,7	0,0000533	240	395,2	64,9	0,000545
1440	394,0	66,0	0,0000517	360	385,6	55,6	0,000550
2880	383,1	55,1	0,0000517	480	376,0	46,5	0,000574
3240	378,7	50,7	0,0000583	600	370,0	39,9	0,000570
				720	364,0	33,9	0,000573

Конечный газ содержал 0,20% CO, что отвечает парциальному давлению 0,75 мм

Конечный газ содержал 0,60% CO, что отвечает парциальному давлению в 2,2 мм рт. ст.

#### 3. $T = 500^\circ \text{C}$

$t$ мин	$P$ мм	CO %	O <sub>2</sub> %	$P_{CO}$ мм	$P_{O_2}$ мм	$K_{O_2}$
0	465,2	—	20,7	—	96,4	—
30	435,0	8,6	4,3	37,4	18,7	0,0230
45	424,3	9,1	2,1	38,6	8,9	0,0230
60	418,3	9,8	0,8	41,0	3,3	0,0244
120	403,4	9,0	—	36,7	—	—

Температурный коэффициент  $= \frac{K^{T+10}}{K^T}$  оказался в этих условиях равным 1,52, т. е. почти столько же, сколько было у Фарупа в тех же температурных пределах.

Наблюдения над восстановлением двуокиси углерода до окиси при разных температурах показали, что при 130° Ц и прочих равных условиях скорость восстановления CO<sub>2</sub> в CO равна скорости окисления углерода воздухом при 500° Ц.

Дальнейшие опыты имели целью выяснить скорость обеих реакций при их одновременном прохождении. С этой целью через трубку с древесным углем, нагретую до 250°, 300° и 400° Ц, пропускалась смесь окиси углерода и кислорода. Результаты при 250° Ц получились следующие:

$P_{CO}$ мм	$P_{O_2}$ мм
265,5	125,4
251,6	105,2

вначале  
через 288 час.

разность 13,9      20,2



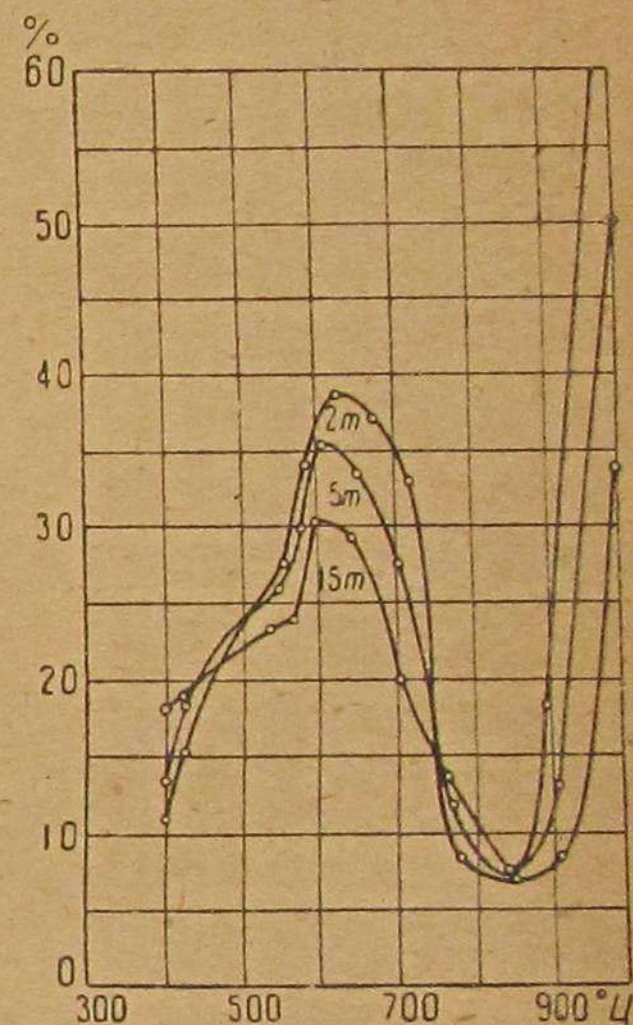
Таблица 2

Температура в °Ц	Скорость прохождения воздуха (время собирания 100 см <sup>3</sup> газа) мин.	Состав продуктов сгорания			Кислород в виде СО в % от всего прореагировавшего кислорода
		CO <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	СО %	
400	1,5	1,00	19,40	0,25	10,70
400	8,1	5,10	14,85	1,70	14,30
400	14,7	7,50	11,30	2,25	18,05
425	2,2	5,00	13,90	1,85	15,55
425	10,6	11,90	4,40	5,70	19,30
425	15,2	13,30	2,70	6,10	18,65
560	2,7	14,10	следы	10,55	27,20
545	12,0	15,55	—	9,60	23,60
540	17,2	15,95	—	9,85	23,60
590	0,45	10,80	следы	13,35	38,20
575	8,0	15,25	—	11,60	27,55
570	14,5	15,85	—	10,00	24,00
630	1,7	12,25	—	15,80	39,20
610	7,9	14,05	—	14,05	33,30
600	23,4	15,85	—	13,25	29,30
680	1,4	11,70	—	14,65	38,50
655	6,5	13,10	—	13,60	34,20
650	16,2	14,25	—	11,80	29,30
725	0,9	12,15	следы	13,90	36,30
705	11,0	15,65	—	8,75	21,60
705	21,0	16,70	—	7,70	18,75
780	1,3	19,00	—	3,25	7,85
770	14,5	17,50	—	5,60	13,80
770	28,4	17,60	—	4,60	11,55
850	1,3	19,25	—	2,80	6,80
840	9,5	19,30	—	2,90	7,00
840	25,0	19,40	—	2,90	6,25
915	0,8	18,85	—	2,50	6,20
910	13,7	16,30	—	7,00	17,70
910	35,2	15,45	—	8,50	21,55
1005	1,3	13,85	—	11,35	29,80
1000	11,0	5,00	—	25,00	71,55
1000	24,5	2,25	—	29,95	86,95

13,9 мм парциального давления отвечают 6,95 мм O<sub>2</sub>, пошедших на образование CO<sub>2</sub>; таким образом остальные (20,2—6,95) = 13,25 мм O<sub>2</sub> пошли на окисление углерода в конечном счете до CO<sub>2</sub>. Скорость взаимодействия между кислородом и углеродом, вычисленная по формуле  $\frac{1}{t} \lg \frac{P_0}{P_t}$ , была равна 0,0000281; в то же время скорость взаимодействия между кислородом и окисью углерода, вычисленная по той же формуле, равнялась 0,0000142, т. е. почти вдвое меньше.

В дальнейшем были произведены еще более полные опыты. Ток воздуха пропускаться через слой древесного угля, постепенно подогреваемого до разных температур с переменной скоростью; продукты горения собирались в градуированном сосуде над ртутью и анализировались. Некоторые результаты даны в табл. 2, в которой приведены: 1) температура угля, 2) скорость движения воздуха, выраженная во времени прохождения 100 см<sup>3</sup> газов, 3) состав продуктов горения; 4) процент кислорода, пошедшего на окисление до окиси углерода. Кривые, изображенные на фиг. 1, дают %-ное содержание кислорода, перешедшего в окись углерода при температурах от 400 до 1000° Ц и при скоростях протекания 100 см<sup>3</sup> в течение 2 мин., 5 мин. и 15 мин. Пересчеты для этих скоростей были сделаны интерполяцией от экспериментальных чисел. Из этих кривых видно, что при всех скоростях образование окиси углерода прогрессирует быстро, начиная с 400° и примерно до 650° Ц. Затем начинается столь же резкое падение содержания СО за счет ее окисления до CO<sub>2</sub> (как видно из табл. 2 кислород совершенно исчезает уже при 540° Ц).

При 850° мы имеем минимум содержания СО в продуктах сгорания — 2,80% и минимальный процент кислорода, перешедшего в СО, равен 6,80%. С дальнейшим повышением температуры восстановление окиси углерода за счет углекислоты и углерода идет очень быстро и при 1000° Ц мы имеем максимум СО — 29,95% и минимум CO<sub>2</sub> — 2,25% и соответственно максимальный процент кислорода, пошедшего на образование СО, равный 86,95%. При 1200° Ц мы имеем равновесие системы: CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> ⇌ 2СО. Следует отметить несомненную зависимость степени образования СО от скорости протекания воздуха: при температурах ниже 500° и выше 700° Ц медленное протекание воздуха благоприятствует образованию СО. Наоборот, при температурах между 500° и 700° Ц и несколько выше медленное протекание воздуха благоприятствует окислению СО в CO<sub>2</sub>, за счет свободного кислорода первоначальных продуктов горения, так как окисление СО идет быстро в этом



Фиг. 1. Зависимость окисления углерода от температуры и от скорости протекания воздуха через слой угля.



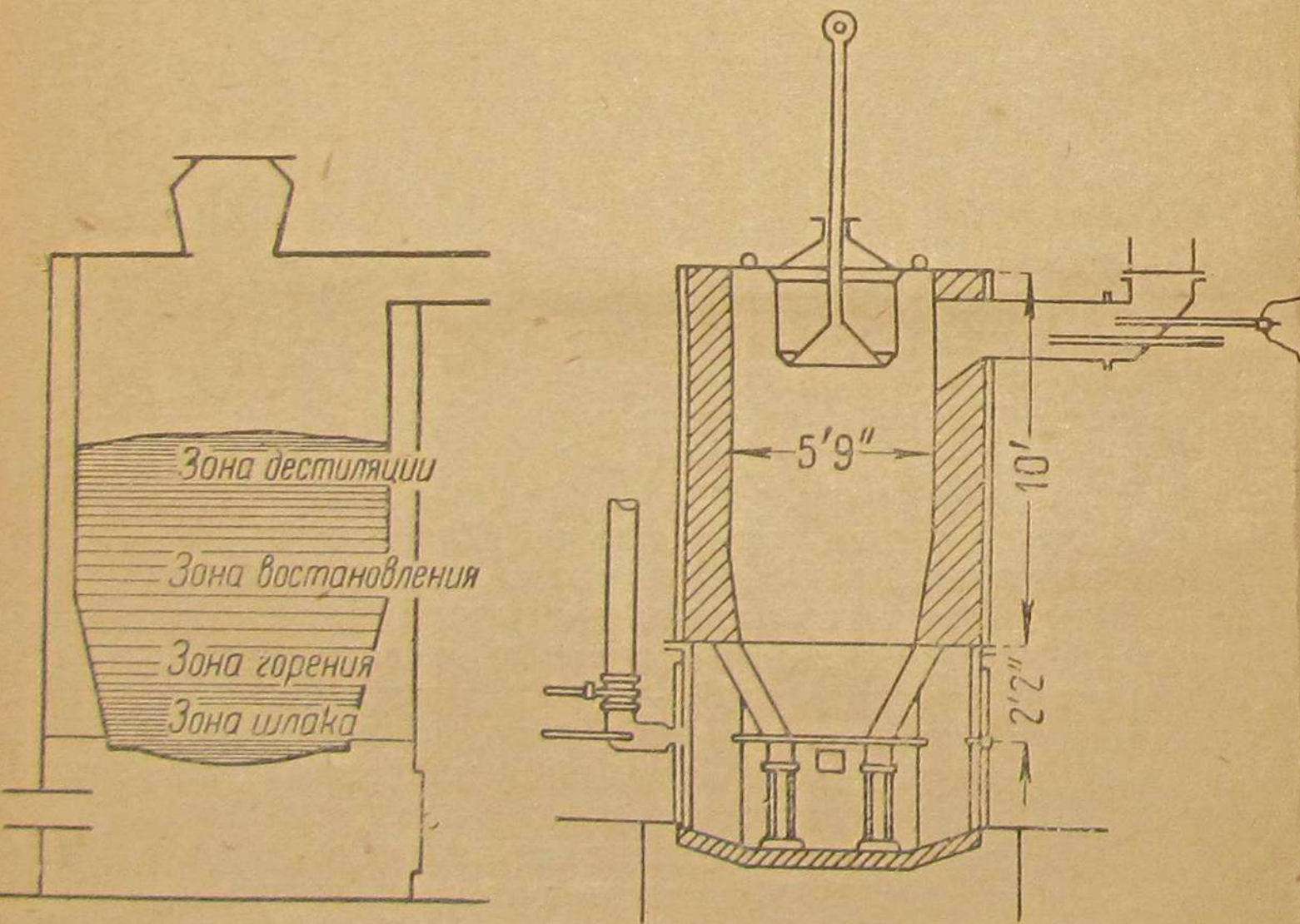
температурном интервале и длительное соприкосновение  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$  над углем в этих условиях ведет к окислению  $\text{CO}$  в  $\text{CO}_2$ . Ниже  $500^\circ\text{C}$  всякий местный перегрев ведет к тому же.

Как меняется соотношение  $\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}}$  в зависимости от температуры, видно из следующей таблицы:

Таблица 3

$^\circ\text{C}$	Отношение $\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}}$ в продуктах горения
400	3,80
450	2,28
500	1,70
550	1,35
600	0,90
650	0,78

пористости и т. д. Исследование Вендта<sup>1</sup> дает распределение этих



Фиг. 2. Распределение основных процессов в газогенераторе.

<sup>1</sup> Wendt, «Stahl u. Eisen», 1906.

зон в генераторе с сухим воздушным дутьем. Для опытов был взят генератор (фиг. 3) с внутренним диаметром 1 725 мм и высотой от загрузочной платформы до колосников 3 600 мм с кирпичной обмуровкой. В нем были сделаны отверстия на расстоянии 250 мм одно над другим: нижнее — на уровне дутьевых сопел, верхнее — не доходя 750 мм до уровня слоя топлива, на высоте 2 500 мм от сопел. Золотудаление осуществлялось так, что во время отбора проб газа топливо лежало непосредственно на решетке, так что шлаковая зона отсутствовала. Результаты исследования сведены в табл. 4.

Таблица 4

№ отверстия	Положение над решеткой мм	$\text{CO}_2$	$\text{CO}$	$\text{CH}_4$	$\text{H}_2$	$\text{N}_2$	Температура $^\circ\text{C}$
1	На уровне дутья	15,0	9,7	—	—	75,3	—
2	250	0,2	31,1	—	—	65,7	1 400
3	500	0,2	34,3	—	—	65,5	—
4	750	—	34,5	—	0,4	65,1	—
5	1 000	0,3	33,4	0,3	2,4	63,5	1 250
6	1 250	0,6	30,6	0,6	11,7	57,1	—
7	1 500	1,0	28,9	2,0	9,8	58,3	1 030
по выходе из генератора		0,7	31,3	2,4	6,3	59,3	580

Следы смоляных паров были обнаружены на уровне льятого отверстия, т. е. на высоте 1 000 мм, показывая тем самым начало зоны дестилляции. Никаких следов кислорода не было обнаружено даже на уровне форм; самая зона горения была очень невелика — примерно около 250 мм над решеткой. Содержание углекислоты очень быстро упало почти до нуля, но затем снова стало несколько подниматься в зоне дестилляции. Возможно, что здесь играла роль  $\text{CO}_2$ , выходящая с газами сухой перегонки, состоящими, главным образом, из  $\text{CH}_4$  и  $\text{H}_2$ . Могло иметь место взаимодействие влаги угля с углеродом топлива по реакции  $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ , каковая идет при низких температурах, но реакция  $2\text{CO} \rightleftharpoons \text{C} + \text{CO}_2$ , т. е. нарушение равновесия, хотя и происходит, но чрезвычайно медленно.

Наивысшая температура была обнаружена на высоте 250 мм над фурмами —  $1430^\circ$  — и она мало понижалась примерно до высоты в 1 000 мм, где охлаждающее влияние свежего топлива уже начало сказываться.

Взаимодействие пара с углеродом также было исследовано Фарупом, Вендтом и Уилером; Фаруп<sup>1</sup>, исследуя влияние пара на углерод дуговой лампы, установил, что реакция  $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$  протекает при  $850^\circ\text{C}$  примерно с той же скоростью, что и восстановление углекислоты углеродом и примерно с той же скоростью, что и окисление углерода до окиси кислородом воздуха при  $450^\circ\text{C}$ . Некоторые данные, полученные Фарупом, приведены в табл. 5.

<sup>1</sup> Farup, «Zt. f. anorg. Chemie», 1906, 50. 276

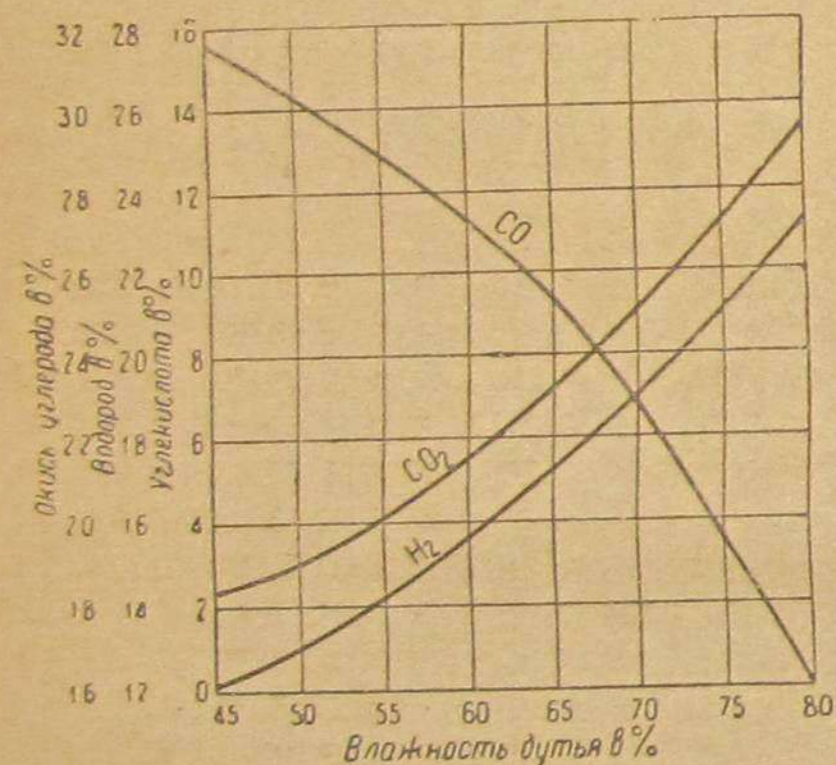
<sup>2</sup> Заб. 1965. А. Членов. Современные газогенераторы.



Таблица 5

Температура	Скорость реакции (константа $K$ )	Температура	Скорость реакции (константа $K$ )
$C + H_2O = CO + H_2$		$CO_2 + C = 2CO$	
819	0,11	821	0,24
843	0,22	838	0,30
867	0,42	855	0,40
887	0,57	880	0,60

Дальнейшие более детальные исследования показали, что реакция  $C + H_2O = CO + H_2$  идет несколько быстрее, чем восстановление углекислоты; тем не менее все вышеприведенные расчеты применимы и в этом случае. Для опытной проверки влияния пара на ход генераторного процесса была проведена серия опытов с одним и тем же генератором, на одном и том же сорте угля, с одной и той же высотой слоя и одной и той же скоростью прохождения паровоздушной смеси,



Фиг. 4. Зависимость состава газа от влажности дутья по Уилеру.

но с разной влажностью дутья соответственно температуре насыщения в 45°, 50°, 55°, 60°, 65°, 70°, 75° и 80° Ц. Впрочем, в трех случаях (при 45°, 50° и 55°) опыты производились с уменьшенной вдвое толщиной слоя и увеличенной вдвое скоростью прохождения воздуха. Однако, как видно из табл. 6 и 6а, это не оказывало никакого существенного влияния на состав продуктов газификации; наоборот, влажность дутья сильно влияла на них.

На фиг. 4 показаны кривые содержания  $CO_2$ ,  $CO$  и  $H_2$  в зависимости от влажности дутья, выведенные на основании результатов опытов, указанных в табл. 6. Эти опыты производились с наивозможной тщательностью, с наблюдением за регулярностью шуровки и очистки от золы и т. д. Наилучшие результаты, т. е. минимальные содержания  $CO_2$ , были получены при влажности дутья, соответствующей насыщению при 50—55° Ц, содержание  $CO_2$  в этом случае — 3,5% в среднем. Это лучше, чем на большинстве установок, но следует иметь в виду, что дутье было сильно перегрето; не касаясь более подробно вопроса о подогреве дутья, который будет освещен далее, следует только отметить чрезвычайную пользу подогрева дутья для процесса газификации в смысле большей интенсивности окисления углерода.

Таблица 6

Состав продуктов горения при паро-воздушном дутье в зависимости от температуры смеси, высоты слоя и скорости

Температура дутья	°Ц	60		70	
		м	1,05	2,10	1,05
Высота слоя . . . . .	м	1143	584	1143	584
Скорость газификации . . . . .	м/час	5,10	5,25	9,25	9,15
Состав газа (все анализы взяты как среднее из шести анализов) .	$CO_2$	27,30	27,30	20,85	21,70
	$CO$	3,05	3,35	3,45	3,40
	$CH_4$	15,50	16,60	19,75	19,65
	$H_2$	49,05	47,50	46,70	46,10
	$N_2$				

Таблица 6а

Изменение состава газа в зависимости от разной влажности дутья по Wheeler'y

Температура насыщения воздуха паром 0°Ц	45	50	55	60	65	70	75	80
% пара в дутье	9,4	12,1	15,6	19,6	24,6	30,7	37,9	46,9
% разложения пара в генераторе	100	100	100	87	80	61	52	40
Колич. разлож. пара на тонну топл. в %	0,20	0,20	0,325	0,40	0,44	0,49	0,57	0,62
Расход воздуха в дутье (л/л газифиц. угля)	3,13	3,0	3,02	2,98	2,81	2,97	2,98	2,99
Отношение $\frac{O_2 \text{ в разлож. паре}}{O_2 \text{ в воздухе}}$	0,33	0,30	0,42	0,50	0,62	0,65	0,75	0,80
Анализ газа								
$CO_2$	21,35	2,50	4,40	5,25	6,95	9,15	11,65	13,25
$CO$	31,60	30,60	28,10	27,30	25,40	21,70	18,35	16,05
$H_2$	11,60	12,35	15,45	16,60	18,30	19,65	21,80	22,65
$CH_4$	3,05	3,00	3,00	3,35	3,40	3,40	3,35	5,50
$N_2$	51,40	51,55	49,05	47,50	45,90	46,10	44,85	44,58
Теплопроизводительность газа кал/м <sup>3</sup>	1514	1505	1505	1585	1532	1451	1398	1371
Объем газа на т. угля м <sup>3</sup>	3784	3750	3756	3914	3804	4005	4129	4178



Однако, не всегда оказывается возможным давать только то количество пара, которое нужно по тепловому расчету для получения газа наилучшего качества; пар приходится давать не только для реакции  $C + H_2O = CO + H_2$ , но и для смягчения шлакования; пар делает шлаки более пористыми и не допускает образования спекшейся массы шлака; в этом случае приходится идти на компромисс между наилучшим составом газа и минимумом ошлакования.

### В. Зональное исследование работы генератора на паро-воздушном дутье.

В генераторе с паро-воздушным дутьем различаются те же зоны, что и в генераторе с воздушным дутьем, но распределение их и температуры иные. Вендт поставил опыты (табл. 7) с тем же самым генератором, что и раньше, но уже с паро-воздушным дутьем; кроме того, кирпичное сухое дно шахты было заменено водяной чашей. Пробы брались в тех же местах, т. е. от верхнего края сопел, на расстоянии 250 мм друг от друга.

Таблица 7

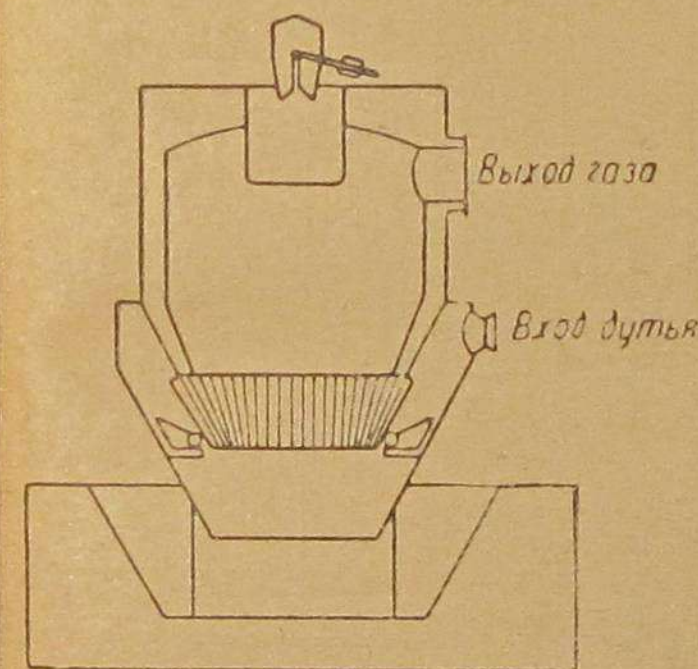
Опыты Вендта газификации угля с паро-воздушным дутьем

№ отверстия	Положения отверстия над решеткой мм	Анализ газа в %						Температура газа °Ц
		CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	
1	У сопла	11,4	—	—	—	79,1	9,5	—
2	250	9,3	22	0,4	10,8	54,3	—	1110
3	500	5,5	28	0,9	13,7	51,9	—	—
4	750	3,0	32,7	1,2	17,9	45,2	—	925
5	1000	5,0	28,7	5,0	21,8	39,5	—	—
6	1250	6,0	28,3	4,8	20,7	40,2	—	810
7	1500	5,3	28,0	4,1	19,0	43,6	—	—
Газ, выходящий из генератора		5,5	26,8	3,4	14,6	49,7	—	410

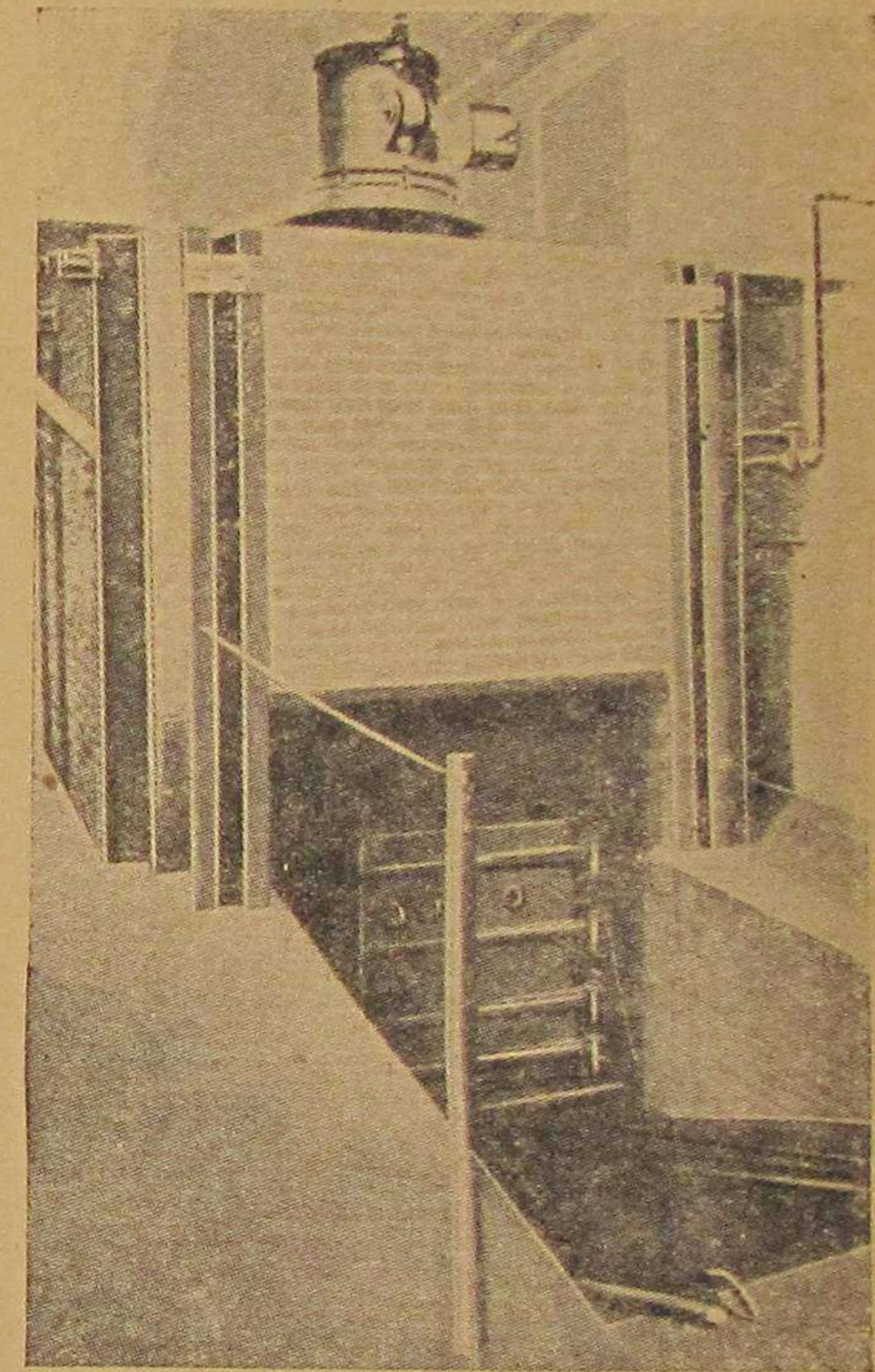
Бросается в глаза, что при увлажненном дутье все температуры по всему слою топлива значительно ниже, чем при сухом дутье. Температура насыщения дутья не была определена, но, судя по полученным результатам, она была около 60° Ц (см. кривые фиг. 4).

На уровне сопла не было обнаружено ни окиси углерода, ни какого-либо другого горючего компонента, что вполне понятно: эти газы образуются в результате эндотермических реакций, которые требуют высокой температуры: эта температура в свою очередь не может быть достигнута прежде, чем произойдет окисление углерода кислородом, которое благодаря присутствию пара идет медленнее, чем при сухом дутье, поэтому зона горения растягивается и окись углерода появляется только на уровне второго отверстия, т. е. на 250 мм выше. Соответственно этому благодаря более низкой температуре всего слоя топлива и зона сухой перегонки спускается ниже; метан появляется в количестве 0,4% и 0,9% уже на уровне второго и третьего отверстий, в то время как в опыте с сухим дутьем он появляется только на

уровне пятого отверстия: общее конечное содержание метана 3,4% (при сухом дутье — 2,4%); содержание окиси углерода у 2-го отверстия уже 22%, максимум — у 4-го отверстия; температура выше 2-го отверстия быстро понижается. Все три эндотермические реакции: 1)  $C + CO_2 = 2CO$ ; 2)  $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$  и 3)  $C + H_2O = CO + H_2$  могут иметь место в этом случае, но все же вторая реакция при достигнутых в опыте температурах не может особенно влиять на конечный результат. Что касается выделения водорода при разложении водяного пара, то оно увеличивается по мере прохождения пара через слой топлива. Подобная же серия опытов была произведена Уилером в 1907 г. на генераторе с корзиночной решеткой и водяным затвором (поддоном, см. фиг. 5). Топливо лежало на слое золы, частично погруженном в воду, а дутье подводилось в кольцевое



Фиг. 5. Опытный газогенератор Уилера.



Фиг. 6. Генератор шахтного типа с ручным шлакоудалением.

пространство между стенками кожуха и решеткой и через прозоры колосников продувалось в слой топлива. Паро-воздушное дутье перегревалось до 250° Ц и вводилось под давлением 75 мм вод. ст.; температура насыщения была 55° Ц. Генератор имел круглую форму, внутренний диаметр около 3 м и толщину слоя около 1 м; топливом служил ланкаширский уголь-орех, задаваемый в шахту в количестве 0,5 т одновременно при скорости газификации около 1 т/час; для отбора проб газа в шахте было устроено шесть отверстий по следующему принципу; первое отверстие было сделано выше кольца, несущего на себе решетку, т. е. на 150 мм выше верхней точки входа



дутья, второе отверстие было сделано на 150 мм выше и на 450 мм левее первого по фронту генератора и все следующие в том же порядке, т. е. каждое на 150 мм выше и на 450 мм левее предыдущего.

Для того чтобы получить сравнимые пробы газа, таковые забирались через 10 мин. после заброски свежего топлива; это время использовалось для шуровки и разравнивания топлива с целью избежать образования спекшихся кусков и каналов между ними; самый отбор проб занимал около 15 мин. и производился следующим образом: газ отсасывался через кварцевую трубку, которая могла быть просунута до середины диаметра генератора, и собирался в небольшом газгольдере над смесью равных частей глицерина и воды. Две серии анализов приведены в табл. 8; первая — при введении заборной трубки на глубину 1 200 мм; температура измерялась пирометром с платино-платинородневой термопарой, конец которой был на одном уровне с концом заборной трубки.

Таблица 8

А. Конец заборной трубки на расстоянии от стенки 600 мм							
Проба №	Высота над решеткой мм	Анализ газа					Температура °C
		CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
1	150	18,05	16,05	3,45	—	62,45	1 100
2	500	2,05	28,70	7,05	0,70	61,50	1 400
3	450	2,35	28,65	7,25	0,75	61,00	> 1 600
4	600	2,65	28,70	8,50	1,20	58,95	> 1 600
5	750	3,05	28,65	11,50	1,10	55,70	850
6	900	3,80	28,50	15,25	2,25	50,20	650
Газ, выходящий из генератора		4,20	28,30	15,45	2,75	49,30	550

Б. Конец заборной трубки на расстоянии от стенки 1 200 мм

Б. Конец заборной трубки на расстоянии от стенки 1 200 мм							
Проба №	Высота над решеткой мм	Анализ газа					Температура °C
		CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
1	150	5,05	28,30	3,10	—	65,55	1 220
2	300	1,05	31,00	6,25	—	61,70	> 1 600
3	450	1,00	31,00	8,15	1,05	58,80	> 1 600
4	600	2,05	30,10	11,25	1,00	56,60	> 1 600
5	750	2,95	28,20	11,20	2,10	55,55	780
6	900	3,55	28,25	14,75	3,65	49,80	600
Газ, выходящий из генератора		4,45	27,95	15,60	3,00	49,00	565

Результаты получились весьма сходные с результатами опытов Вендта, если учесть различие в конструкции генераторов. В данном случае благодаря подводу дутья по периферии температуры в центре генератора были выше, нежели у стенок, и выше, чем в опытах Вендта: самая высшая температура наблюдалась не у сопел, как у Вендта,

а выше, в отверстиях 2, 3 и 4. Максимум температуры приблизительно равнялся 1 600° C.

Можно отметить внезапный скачок температуры между точками 4 и 5 с одновременным увеличением количества углекислоты и водорода; несомненно, что часть водорода появилась из угля, но большая часть, как показывает пересчет, получилась в результате реакции  $CO + H_2O = CO_2 + H_2$ , происходящей в температурных пределах этих зон. Подсчет далее показывает, что весь пар, введенный в генератор, был разложен, и все разложение было полностью закончено до уровня пятого отверстия.

Для того чтобы выявить распределение температур по зонам генератора, был взят 1" колосниковый прут в 3,6 м длиной, который просовывался по очереди в каждое из шести отверстий в толщину топлива и оставлялся там на 10 мин. Опыты производились ночью и можно было ясно видеть цвет прута: яркobelый, светлокрасный, темнокрасный; измеряя длины отдельных частей разного цвета, можно было учесть размеры соответствующих температурных зон в генераторе; результаты сведены в табл. 9.

Таблица 9

Распределение зон накала				
Уровень	Расстояние от стенки шахты генератора в одном направлении:			
	0,6 м	1,2 м	1,8 м	2,4 м
Отверстие №				
1	Красная	Светлокрасная	Красная	—
2	Красная	Светлокрасная	Красная	—
3	Красная	Белая, прут начинает плавиться	Белая	Светлокрасная
4	Светлокрасная	Красная	Белая	Красная
5	Темнокрасная			
6	Темнокрасная. По всей длине смола осаждается на поверхности (на этой высоте диаметр генератора был 2,25 м).			

Эти результаты показывают, что зона наивысшей температуры была примерно на середине высоты между верхним уровнем слоя и верхней точкой ввода дутья и в радиусе примерно 0,75 м по горизонтальной плоскости; кольцо в диаметре около 1,5 м было горячее, чем область, близкая к стенкам генератора.

### Г. Изменение состава газа в регенераторах

Вообще говоря, состав газа может колебаться в зависимости от разных условий в весьма широких пределах. Всегда в газе будут следующие компоненты: углекислота, окись углерода, водород, азот, несколько процентов метана и следы насыщенных углеводородов (последние из битуминозного топлива). При паро-воздушном дутье в газе может быть также некоторое количество неразложенного пара. Примером вариации состава газа из одного и того же топлива может служить анализ газов, полученных в генераторе с чисто воздушным



дутьем (I), и в генераторе с паро-воздушным дутьем по способу Монда (II):

	I	II
CO <sub>2</sub>	1,65	17,50
CO	29,50	11,10
CH <sub>4</sub>	1,55	3,10
H <sub>2</sub>	3,80	24,40
N <sub>2</sub>	63,50	43,90

Проследим, что может сделаться с этим газом дальше — в верхних зонах генератора и в регенераторах плавильных печей.

Утверждают, что в верхних зонах генератора происходит реакция  $2CO = CO_2 + C$ ; окись углерода в присутствии углекислоты и свободного углерода при 500—700° Ц — оптимально 650° — разлагается по этому уравнению. В подтверждение этого ссылаются на весьма частое нахождение аморфного углерода — сажи — в газе; однако, как уже было выявлено раньше, скорость этой реакции чрезвычайно мала. Нахождение сажи в газе можно было бы скорее отнести за счет разложения (крекинга) смолистых веществ при этих температурах с образованием метана CH<sub>4</sub> и сажи, а также за счет уноса мелких частиц, механически увлеченных током газа.

Целый ряд исследований, проведенных на практике по определению содержания окиси углерода в газе, не показал сколько-нибудь заметного изменения содержания ее при понижении температуры выпуска газа с 650 до 400°.

Перейдем к реакции равновесия водяного газа:  $CO + H_2O = CO_2 + H_2$ . Исследования Бона (Bone) и Уилера изменения состава газа при проходе его через регенераторы плавильных печей<sup>1</sup> показали существование подвижного равновесия  $\frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2} = const.$  Содержание окиси углерода и водяного пара находится при каждой данной температуре в определенном соотношении с содержанием углекислоты и водорода. Это соотношение меняется в некоторых пределах: при 1086°—1250° Ц оно было найдено равным 1,92—2,10; эти температуры можно считать наивысшими для регенераторов; таким образом при проходе через регенератор в конце его установится среднее соотношение  $\frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2} = 2$ , причем изменение в составе газа будет тем больше, чем меньше было это соотношение в первоначальном газе. Дерби<sup>2</sup> (Darby) представил интересные дополнительные данные об изменении состава газа при прохождении через регенераторы. Эти изменения, как видно из кривых Дерби, были следующие:

	Газ, входящий в регенератор	Газ, выходящий из регенератора
CO <sub>2</sub> %	17,8	10,5
CO %	10,5	21,6
H <sub>2</sub> %	24,8	17,7

Содержание влаги в этом случае отвечало температуре газа по выходе из водяного скруббера при 50° Ц; по дороге в печь газ охлаждался до 40° Ц. Вычисляя парциальное давление пара при этой температуре при помощи соотношений Гана (Hahn), можно составить табл. 10.

Таблица 10

	Газ, входящий в регенератор		Газ, выходящий из регенератора		Газ, выходящий из регенератора — по Дерби %
	Сухой газ %	Влажный газ, парциальное давление в мм	Сухой газ (расчет по Гану) %	Влажный газ, парциальное давление в мм	
CH <sub>4</sub>	17,8	125	10,2	60	10,5
CO	10,5	74	20,6	133	21,6
H <sub>2</sub>	24,8	175	18,0	116	17,7
H <sub>2</sub> O	—	55	—	114	—

Таблица 11

	1. Опыты с насыщением паро-воздушной смеси при 80° Ц				2. Опыты с насыщением паро-воздушной смеси при 70° Ц			
	A %	A' мм	B' мм	B %	A %	A' мм	B' мм	B %
CO <sub>2</sub>	13,25	98,5	48,5	7,0	9,15	68,0	38,0	5,35
CO	16,05	119,2	169,2	24,4	21,70	161,0	191,0	26,8
H <sub>2</sub>	22,65	168,3	118,3	17,1	19,65	146,0	116,0	16,25
CH <sub>4</sub>	3,50	26,0	26,0	3,75	3,40	25,25	25,25	3,55
N <sub>2</sub>	44,55	331,00	331,00	47,75	46,10	342,75	342,75	48,0
H <sub>2</sub> O	—	17,0	67,0	—	—	17,0	47,0	—
	3. Опыты с насыщением паро-воздушной смеси при 60° Ц				4. Опыты с насыщением паро-воздушной смеси при 50° Ц			
	A %	A' мм	B' мм	B %	A %	A' мм	B' мм	B %
CO <sub>2</sub>	5,10	38,0	28,0	3,55	2,5	18,5	19,5	2,5
CO	27,30	203,0	213,0	29,10	30,6	227,0	226,0	30,4
H <sub>2</sub>	15,30	115,0	105,0	14,35	12,35	92,0	93,0	12,5
CH <sub>4</sub>	3,05	22,6	22,6	3,10	3,00	22,5	22,5	3,00
N <sub>2</sub>	49,05	364,4	364,4	49,9	51,55	383,0	383	51,5
H <sub>2</sub> O	—	17,0	27,0	—	—	17,0	16,0	—

В табл. 11 обозначены:

В столбце A — % состава сухого газа по выходе из генератора.

» A' — парциальное давление составных частей влажного газа.

» B' — То же по выходе газа из регенератора при 1100° Ц.

» B — % состава сухого газа по выходе из регенератора при 1100° Ц.

<sup>1</sup> «Journal of Iron and Steel Institute», 1908, 3, 228.

<sup>2</sup> «Journal of Iron and Steel Institute», 1908, 3.



Почти полное совпадение цифр, полученных по расчету, с цифрами, практически найденными в опытах Дерби, оставляет мало места для сомнений в существовании вышеупомянутого подвижного равновесия с соответствующим значением коэффициента.

С точки зрения работы печей небезынтересно узнать, с каким же насыщением воздуха паром надо работать для получения газа, не меняющегося при прохождении через регенератор. Расчеты, сделанные в предположении парциального давления водяных паров в 17 мм вод. ст. соответственно температуре газа в  $20^{\circ}\text{C}$  (по выходе из скруббера) и насыщению первичного воздуха в  $50^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$  и  $80^{\circ}\text{C}$  (табл. 11) показали, что газ, полученный при  $50^{\circ}\text{C}$  насыщения воздуха, не меняется в составе; при больших насыщениях воздуха состав газа соответственно изменяется в сторону увеличения содержания  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

#### Д. Выводы из опытов Уилера и Вендта

Работа Уилера является одним из интереснейших исследований в области производства генераторного газа как в смысле самой постановки и освещения ряда основных вопросов, так и в смысле самой методики испытаний.

Опыты Уилера изучения состава и температурного режима генераторного газа по высоте шахты и его собственные заключения прекрасно сходятся с положением о независимости или крайне малой зависимости состава и качества генераторного газа от содержания летучих в топливе. Гораздо более влияет на состав газа количество вводимого с воздухом пара, т. е. влажность дутья; далее, имеет большое значение температура дутья: на подогретом до  $250^{\circ}\text{C}$  дутье газификация идет лучше. С количеством пара связан также и вопрос зависимости работы от плавкости золы топлива, так как при легкоплавкой золе приходится давать больше пара, чем это было бы нужно по расчету для наилучшего ведения процесса. Но всегда в собственно генераторном процессе участвует углеродистый остаток топлива (полукокс), вступающий в реакцию с теми или другими количествами пара и воздуха. И только в верхних слоях происходит второй побочный процесс сухой перегонки топлива, мало влияющий на основной процесс. Его влияние может только несколько отразиться на реакционной способности полукокса. В зависимости от своей пористости, достаточного содержания летучих веществ и т. д. полукокс реагирует медленнее или быстрее с паро-воздушной смесью. Чрезвычайно показательным является и то, что Уилер для своих лабораторных опытов брал чистый древесный уголь, чтобы избежать влияния продуктов сухой перегонки, затемняющих истинный смысл реакции генераторного процесса — окисления углерода кислородом воздуха и воды и восстановления углекислоты до окиси углерода. Широкий диапазон колебаний в составе генераторного газа из одного и того же угля, начиная с газификации при помощи сухого дутья и кончая газификацией с примесью большого количества пара по способу Монда, прекрасно это подтверждает.

Далее, Уилер решительно опровергает гипотезу о разложении окиси углерода по реакции  $2\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$ , признаком чего является появление сажи в газе. По Уилеру эта реакция хотя и происходит, но

чрезвычайно медленно: сажа же есть продукт распада смолистых веществ угля в силу их перегрева.

Опыты Уилера, строго объективные и точно фотографирующие действительность, поскольку у Уилера не было никаких оснований пропагандировать употребление бессмольных топлив — коксика, антрацитов и т. д., в этом отношении особенно ценны.

Далее, чрезвычайно интересны опыты Уилера над изменением состава газа при проходе через регенераторы плавильных печей. Эти опыты дают возможность использовать получаемый по способу Монда плохой «бедный» газ с большим содержанием  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$ , вредным для печи. Такой газ, пройдя регенераторы, обратится в обычный газ; между тем, способ Монда дает возможность извлечь из угля ценные составные части (аммиак и др.). Что же касается применения этого газа для печей без регенераторов, то здесь возможны два пути обогащения газа; или путем добавочного охлаждения газа с целью удаления достаточной влаги или же путем промывки газа в известковых скрубберах с целью удаления  $\text{CO}_2$ ; экономичность того и другого способов зависит от индивидуальных условий и может быть вполне совмещена с обычной очисткой газа.

Опыты Вендта и Уилера уточняют общеизвестные данные об улучшении состава газа и уменьшении температуры слоя в случае припуска пара. Наилучшие результаты получаются при температуре паро-воздушной смеси в  $55\text{--}60^{\circ}\text{C}$ , причем эта температура относится к смешивающему соллу — к точке смешения пара с холодным воздухом. Дутье по мнению Уилера с успехом может быть перегрето до  $250^{\circ}\text{C}$ , если это допустимо по условиям точки расплавления шлаков.

Несколько спорными могут показаться температуры газа, измеренные Уилером в глубине слоя на уровне 1200—2400 мм — около  $1600^{\circ}\text{C}$ . Однако безукоризненности постановки опытов служит гарантией достоверности этих цифр. Объяснением столь высокой температуры могут служить следующие соображения: во-первых, малая теплоотдача в середине слоя; во-вторых, возможность сторания горячего газа в малом избытке горячего воздуха — в малых промежутках между слипшимися кусками угля; слипание и спекание угля вполне возможны при смолистом угле и недостаточно сильной шуровке.

Особо важными являются результаты опытов Уилера и Фарула в отношении скоростей реакций, так как они позволяют заменить изучение высокотемпературных реакций разложения водяного пара по реакции  $\text{C} + \text{H}_2\text{O}$  и восстановления  $\text{CO}^2$  до  $\text{CO}$  по реакции  $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$  низкотемпературными реакциями окисления углерода до  $\text{CO}$ ; эта реакция, как идущая с заметной скоростью уже около  $500^{\circ}\text{C}$ , конечно, легче поддается изучению, чем реакции, идущие при высокой температуре.

В дальнейшем изложении мы даем критический анализ современной практики газификации, главным образом, в СССР и отчасти за границей — по материалам, собранным как с многочисленных русских заводов, так и из различных литературных источников. Как мы увидим дальше, выводы теории и практики в основном сходятся.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> В отношении правил проведения испытаний газогенераторных станций мы отсылаем читателя к утвержденным IV Всесоюзным Теплотехническим Съездом «Нормам испытания газогенераторов» (выработаны комиссией проф. В. А. Ушкова, см. Изв. ВТИ, № 10/43, 1928).



## ЧАСТЬ II

### СОВРЕМЕННАЯ ПРАКТИКА ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ

#### 1. ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ

Правила ведения процесса газификации различны для разных топлив и для разных условий газификации. Из некоторых общих указаний мы приведем здесь наиболее важные:

Газ ни в каком случае не должен вспыхивать сам собой при выпуске его в атмосферу из шуровочного отверстия и тем более гореть в самом генераторе.

Цвет газа может быть различным от белого до темнокоричневого, даже до черного.

Белый цвет газ имеет обычно при дровах и торфе и вызывается большим количеством водяных паров в газе, конденсирующихся на воздухе; в густом белом облаке пара исчезают пары смолы, окрашивающие газ в желтый, зеленый и коричневый цвета. Наоборот, при сухих углях окраска смолы доминирует, причем чем выше температура выходящего газа, тем темнее цвет газа за счет углерода. При периодической загрузке топлива цвет газа так же периодически меняется, как и цвет огня в обыкновенной топке: сперва быстро выделяются пары воды и более легкие смолы, придающие газу светлозеленоватый цвет; по мере уменьшения выделения их цвет газа становится темнее за счет более тяжелых смол и далее переходит в черный по мере разложения этих смол при прогорании слоя и повышении температуры газа. При известных условиях можно регулировать процесс таким образом, что цвет газа начнет бледнеть, не переходя в черный; вместе с тем будут получаться достаточно высокие цифры газового анализа. Это может быть достигнуто в том случае, если все летучие вещества почти целиком будут выделены без значительного повышения температуры, после чего процесс пойдет по линии чистой газификации.

Последний газ является наиболее удобным, так как, сохраняя высокую калорийность, он является в то же время наиболее чистым, не содержа в себе смоляных паров. Теоретически было бы наиболее правильным отводить этот газ отдельно по главному газопроводу прямо в печь и тем самым сильно уменьшить размеры газоочистительной установки, а иногда и вовсе от нее отказываться. Практически это, конечно, вряд ли осуществимо, так как по мере утонения слоя усиливается опасность его прогорания и ухудшения качества газа. Это тем более опасно, что при работе на «бледном» газе нельзя уже заме-

нить ухудшения качества газа по его цвету, и поэтому легко допустить серьезное нарушение хода генератора.

Производственники-газовщики поэтому с достаточным основанием считают, что исчезновение густой окраски газа — первый признак прогорания слоя и необходимости подсыпки свежего топлива.

При автоматической загрузке процесс идет равномернее, и при правильной работе удается довольно долго держать и цвет газа и температуру его постоянными.

Так, например, при надлежащем регулировании загрузки удавалось на тихом ходу (около 17 т в сутки) держать генераторы Вельмана в течение нескольких часов «под бледным газом», т. е. газ был слегка желтовато-синий с температурой около 350—400° Ц (примерно низший предел для каменноугольных генераторов горячего хода). При этом определенная подача воздуха и загрузка топлива обеспечивают такое соотношение между собственно генераторным газом из полукокса и газо-парообразными продуктами сухой перегонки, что концентрация смол в 1 м<sup>3</sup> смешанного газа невелика и окраска газа получается слабой.

В каменноугольных генераторах особо большим местом является спекание топлива, а также шлакование, присущее, впрочем, и всем остальным топливам. При идеальном процессе шахта газогенератора по схеме должна быть заполнена слоем из зерен топлива и шлака, одинаковых по горизонтальному сечению шахты и несколько уменьшающихся в размере по вертикали по мере выгорания органической массы топлива и уплотнения получившейся пористой массы от давления вышележащих слоев. Соответственно с этим мы получим идеально-равномерное распределение газа (и воздуха) в каждом горизонтальном сечении шахты. Так это и изображается в проспектах фирм Вельмана, Отто-Дейц и т. д. Практически вести такой процесс на некоксующемся и нешлакующемся топливе при условии хорошего надзора вполне возможно, конечно, не в картинно-идеальном изображении заграничных фирм, но с известным (и довольно близким) приближением к нему (пример — работа генератора Вельмана на нешлакующемся антраците марки АМ и на орешковом коксе — коксике).

Наиболее просто контроль процесса производится при помощи так называемых «замеров зон» при помощи железной штанги, спускаемой в шуровочное отверстие до колосниковой решетки на 3—5 мин., смотря по ходу генератора; соответственно температуре различных зон штанга оказывается окрашенной в разные цвета накала. При нормальной (хорошей) работе нижний конец штанги должен быть темным на расстоянии 150—250 мм соответственно слою шлака над головкой решетки. Далее идет раскаленная часть, которая бывает разных размеров в зависимости от толщины зоны горения. При работе на каменном угле с общей толщиной слоя около 900 мм зоны распределяются примерно таким образом: шлак 200 мм, зона горения 300—400 мм и темная зона (сухая перегонка и подсушка) 300—400 мм. При работе на торфу (на генераторах AVG) зоны распределяются примерно так: шлак 200 мм, зона горения 2 000 мм и над ней темная зона 2 000 мм, не считая слоя топлива в швельшахте. При этом переход от одного тона штанги к другому постепенный с промежуточными оттенками. Наиболее яркий накал должен быть в середине огневой зоны. При пра-



видном ходе штанга, опущенная по краям слоя вдоль стенки шахты, должна давать те же соотношения, что и в центре, если только конец штанги опущен до того же уровня (до головки колосников). Для остановки штанги на определенной глубине часто устанавливают на ней какие-либо ограничители — одевают гайки и т. д. Так как, однако, на практике конец штанги часто обгорает, то лучше всего пропускать штангу до самого дна чаши генератора, тогда шлаковая темная часть должна быть увеличена на расстояние между краем чепца решетки и дном чаши<sup>1</sup>.

Верхняя зона (сухая перегонка и подсушка) определяется приближенно по смолянному налету на штанге или следующим образом: короткой штангой измеряют расстояние от крышки генератора до поверхности слоя и откладывают это расстояние на длинной штанге от точки ее, отвечающей крышке шахты. Тогда темная зона сухой перегонки определится как разность между всей толщиной слоя и верхней точкой огневой зоны. Это измерение, конечно, имеет значение только для каменноугольных и бурогоугольных генераторов, работающих без швельшахты, при которой точное измерение толщины всего слоя, конечно, невозможно ввиду его огромной высоты — до 7—8 м. Соответственно правильному режиму генератора — отсутствие спекания и шлакования — и шуровка должна быть легкой — лом должен свободно пронизывать всю толщину слоя и стучать о дно чаши или о поверхность чепца колосниковой решетки. Очень близка к идеальному режиму работа на егоршинском антраците:<sup>2</sup> это — топливо, однородное по величине нешлакующееся и неспекающееся, зерна его обладают свойством скользить наподобие льняного семени. При сильном дутье получались идеальное распределение воздуха по сечению шахты, высокая производительность и прекрасный газ — на топливе, которое до этого считалось не подходящим для газификации.

Однако в большинстве случаев, особенно при каменном угле, процесс этот не идет так легко, главным образом, вследствие спекания, шлакования, прогорания слоя и т. д. При шлаковании и отдельные зерна золы сплавляются и слипаются в большие куски, через которые воздух, конечно, пройти не может и погибает их с большой скоростью; поэтому в соседстве с куском шлака образуется прогар, и вместо восстановительного процесса получается полное сгорание. Когда таких кусков шлака образуется много, то ход газогенератора расстраивается. В образовавшиеся между кусками шлака воронки поступает слишком много воздуха, прогар усиливается и зона горения поднимается кверху, доходя иногда даже до поверхности слоя. При вращении решетки газогенератора в таких случаях иногда можно наблюдать (че-

<sup>1</sup> Это, конечно, возможно лишь в невысоких газогенераторах, как, напр., Вельмана, но не в таких газогенераторах как Пинча — около 6 м высотой. О современном контроле газогенераторного процесса подробнее см. у Тренклера «Газогенераторы», в статье Я. Гольдблат, «Газогенераторный процесс и методы его контроля», Гипромез, № 11 — 1931. О практике контроля процесса см. у А. М. Брыскиной (ВТИ) «Обследование работы газогенераторов», «Бюлл. ВТИ» № 6, 1932. Руководства по работе на газогенераторе для низшего эксплуатационного персонала составлены мастером А. М. Шемяковым («Спутник газовщика», под ред. инж. Н. В. Шишакова, Энергоиздат, 1933) и инж. Д. В. Гинабургом («Газогенератор в керамической промышленности», под ред. проф. К. И. Шаранкина, 1933 г.).

<sup>2</sup> См. у инж. Н. А. Соболевского, Егоршинский антрацит и его сжигание.

рез шуровочное окно) движущийся на поверхности топлива огневой сегмент длиной 1—2 м. Еще хуже, если вследствие местного повышения температуры (от прогара) и химического сродства между золой топлива и шамотной футеровкой шахты газогенератора происходит припекание шлака к футеровке. При этом шлак и лежащий на нем слой топлива перестают перемешиваться под действием вращения шахты или чаши газогенератора, вследствие чего условия газификации еще более ухудшаются. Если такой слипшийся ком во-время не разбить, то по мере частичного выгорания вышележащих и соседних слоев топлива он распространяется и в высоту и в длину по окружности шахты, внутренняя поверхность которой покрывается в конце концов слоем шлака толщиной 200—300 мм. Вследствие этого фактически уменьшается диаметр газогенератора, а стало быть его вместимость и пропускная способность, не говоря уже о качестве газа. Кроме того, внутри слипшихся кусков шлака обычно остаются куски не успевшего выгореть кокса, который, покрываясь шлаковой коркой, выходит из реакции и, таким образом, теряется в выгреб; содержание углерода в шлаке, особенно при форсировке газификационной установки и в погоне за «густоокрашенным газом» может достигать даже при современных дутьевых газогенераторах с автоматическим золоудалением до 50—60% по весу от сухого шлака.

В дальнейшем нарушение процесса может пойти еще глубже вплоть до образования сплошных шлаковых мостов длиной до диаметра шахты. Практически, конечно, до этого не доходят, так как уже гораздо ранее этого технический эффект процесса газификации становится ничтожным.

По другим причинам, но с аналогичными последствиями происходит спекание угля. Шлакование представляет собой образование слипшихся или размягченных комьев золы под действием высокой температуры, превышающей точку размягчения золы, спекание (коксование) угля — это образование крупных комьев и даже кусков кокса (полужококса) из отдельных зерен угля, сцементированных смолой, или, вернее, смоляным леком. Процесс этот имеет место в зоне сухой перегонки, т. е. на гораздо более высоких горизонтах шахты. Эти спекшиеся крупные куски кокса прежде всего нарушают все распределение газа по горизонтальному сечению слоя. В одних местах происходит перегрев и разложение ценных смолистых и газообразных продуктов сухой перегонки; в других местах, наоборот, возможен недостаточный подвод тепла, недококсование и даже недосушка топлива, которое приходит в зону газификации еще со своей влагой. При обрушении куска кокса в зону восстановления вышележащие куски неподсушенного некоксованного угля падают в зону восстановления, понижая температуру и мешая этим самому процессу восстановления.

Кроме того, при крупных кусках кокса реакция восстановления идет медленнее, чем при мелких, поэтому получается смещение зоны восстановления вверх и новое нарушение процесса. Далее, крупный кусок, опускаясь ниже в зону горения, обгорает с поверхности и покрывается корочкой шлака, преграждающей доступ воздуха к внутренней части куска. Таким образом с шлаком уходит много невыжженного угля. Если своевременно не принимать мер к разрушению образовавшихся крупных кусков кокса, то они начинают все более и более сли-



паться между собой и, громоздясь на ниже лежащие куски или прижимаясь и приликая к стенкам обмуровки шахты, образуют сплошные коксовые мосты, выдерживающие на себе значительный вес вышележащих слоев угля, которые, следовательно, не опускаются. Под ними образуется пустое пространство, в котором сгорает в избытке воздуха газ, образовавшийся в нижних слоях.

Некоторые угли, как, например, кизеловский, при испытании (пробной тазификации) образовывали своеобразный куполообразный слой, под которым была пустота. Фирма Пинч на этом основании признала кизеловский уголь не подходящим для газификации. Опыт газификации этого угля на Верхнем и Нижнем Салдинских заводах дал также резко отрицательные результаты — вместо газа получался огонь<sup>1</sup>. Шлакование может происходить независимо от спекания, например, при неспекающихся антрацитах, но коксование всегда благоприятствует шлакованию, так как наличие крупных кусков, покрывающихся шлаковой корочкой, и нарушение равномерности распределения газа по сечению слоя, передающееся вниз, создают особенно благоприятные условия для шлакования.

Первым признаком наступающего шлакования является так называемая полосатость зон, обнаруживаемая при их измерении. Опущенная в слой топлива штанга выходит из него полосатой — темные участки чередуются с раскаленными. Это объясняется тем, что проскочивший через прогары избыточный воздух сжигает газ и над темным местом образуется вторая огневая зона и т. д. Дальнейшими признаками являются прорывы огня на поверхности слоя (верхний огонь), повышение средней температуры газа в газоотводном патрубке и изменение цвета газа от желто-зеленого до сажистого и огненного, если речь идет о смолистом топливе. Выправление хода процесса производится ручной или механической шуровкой, которая заключается в следующем: через шуровочное отверстие в генератор опускается тяжелый лом (вручную или на блоке), который затем забивается в слой (вручную или кувалдой), так чтобы конец его достиг дна чаши. В тех местах, где нет больших комьев шлака, лом свободно проходит через слой топлива, доходя до дна чаши; если же встречаются большие зашлакования, лом останавливают и сильными ударами разбивают шлаки. Шуровка производится как наклонно — в направлении к центру шахты, так и отвесно, чтобы сбить шлак со стенок, что наиболее трудно. В среднем шлаковая шуровка при правильной работе должна производиться один раз в час или в 2 часа. Опыт работы генераторов Вельмана показал, что в течение одной смены энергичным шурованием можно расшлаковать даже сильно зашлакованный генератор. Для разбивания спекшихся кусков кокса применяются короткие штанги, так как зона спекания значительно выше зоны горения. Коксовая шуровка производится обычно гораздо чаще, чем шлаковая, например, на генераторах Ленгерсдорфа при спекающемся угле ее приходилось делать каждые 10 мин., такая же практика имеет место и на других генераторах Донбасса. Впрочем коксовая шуровка значительно легче, чем шлаковая, поскольку лом

<sup>1</sup> В настоящее время установление режимов для газификации кизеловского угля производится Уральским теплотехническим институтом.

короче и много легче. Шуровщик кончиком лома легко нащупывает спекшиеся куски угля и разбивает их до тех пор, пока лом не проходит совершенно свободно вглубь слоя. По правилу шуровка должна производиться через все шуровочные отверстия последовательно; однако на практике обычно часть отверстий не работает, так как крышки их закипают (смола приклеивает их к гнездам). Спекание углей имеет особое значение для снабженных швельшахтой генераторов с использованием побочных продуктов, так как в них при высоком (до 6—8 м) и тяжелом слое топлива спекание и наиболее опасно и наиболее возможно. Перегревы и расщепление смол здесь менее всего желательны так как перегретые смолы густеют и понижаются их качества как сырья для всякого дальнейшего использования, кроме того, текучесть смолы представляет собой свойство весьма важное и для очистки газа.

Спекаемость угля должна определяться лабораторным путем совместно с обычными характеристиками содержания летучих веществ, содержания и свойства кокса. Для учета спекаемости определяется повышение вязкости и сопротивление слоя топлива с повышением температуры. Для этого через трубку из тугоплавкого стекла или латуни, помещенную в газовую или, лучше, электрическую печь и заполненную испытуемым углем, продувается с определенной скоростью нейтральный газ (можно воздух); температура регистрируется точным пирометром.

Давление воздуха (или газа) измеряется при помощи ртутного или водяного манометра до входа в трубку и после нее. По увеличению сопротивления слоя судят о степени спекания углей. При этом необходимо учитывать увеличение скорости прохода воздуха через слой за счет его расширения от нагрева. Увеличение объема от окисления и сгорания угля можно не принимать в расчет, так как при применяемых здесь температурах (до 600° Ц) этот процесс идет еще очень медленно (см. выше работу Уилера).

Кроме коксовой шуровки есть еще так называемая боковая шуровка — с нижней площадки через боковые окна: ею можно захватить частично и шлаковый пояс и зону восстановления. Операция эта производится довольно редко, как весьма неприятная: давление газа на нижнем уровне гораздо выше, чем на верхнем, поэтому газ бьет из боковых окон сильной струей и загорается, устремляясь прямо в лицо шуровщику. Кроме того, шуровщику приходится для нижней шуровки спускаться с верхней площадки вниз, поэтому там, где это все же применяется, обычно держат внизу специальных шуровщиков, например, при тазификации спекающихся кузнецких и кизеловских углей на генераторах Гут-Ретгер, на Урале.

Кроме этих шуровок, вероятно, придется ввести еще один вид шуровки — специально для генераторов с швельшахтой. Некоторый опыт завода Гусь-Хрустальный на генераторах AVG показал, что возможно образование сводов и прилипание топлива к стенкам швельшахты. При сильно влажном и несортированном топливе может происходить конденсация паров смолы и даже воды, поднимающихся из нижних слоев топлива; капельки смолы и влаги садятся на мелкой угольной или торфяной пыли, образуя липкую вязкую массу, склеивающую крупные куски топлива между собой и со стенками шахты. Поэтому



необходимо иметь шуровочные отверстия в крышке швельшахты, какавовые и были сделаны уже в СССР; фирма AVG этого не предусмотрела.

Для предохранения газопиков от опасности быть обожженными или отравленными струей газа шуровочные отверстия снабжаются паро-воздушными завесами. Паровые завесы более распространены, но имеют тот недостаток, что струя пара расплывается в облако и не дает возможности наблюдать за поверхностью слоя. В последнее время фирмой Пинч предложены воздушные завесы, направленные перпендикулярно к струе газа и отбивающие газ от выхода из отверстия, не зажигая его; однако на практике при работе этих завес на генераторах Пинча в Донбассе газ все-таки вспыхивал и горел, может быть вследствие плохой регулировки.

Конечно, шуровка является только вспомогательным средством для хода генератора. В основном более или менее правильный ход газогенератора должен быть обеспечен надлежащей его конструкцией, в первую очередь работой его колосниковой решетки. Решетка имеет два главных назначения: равномерно распределять подводимый воздух и разбивать шлаки. Первому условию наиболее идеально удовлетворяет плоская колосниковая решетка Сименса, но, конечно, она абсолютно не удовлетворяет второму условию. Поэтому в Америке появились некоторые конструкции газогенераторов, главным образом, для водяного газа, с неподвижной плоской решеткой, над которой ходит особый изогнутый скребок (пропеллер), который размалывает шлаки и сбрасывает их в прозоры решетки. Но, очевидно, ряд конструктивных трудностей в выполнении скребка, особенно с его охлаждением, затрудняет распространение этой конструкции (в последних предложениях европейских и американских фирм она отсутствует, хотя об ней и есть упоминание в докладе фирмы Пинч в 1930 г.).

Механизация золоудаления могла бы быть достигнута с помощью цепной решетки. Такие конструкции и применялись прежде, но не получили распространения, главным образом, в силу невозможности применить дутье. Между тем, работа под разрежением возможна или при газовых двигателях или при газоочистке под действием хвостового газового эксгаустера. Последняя система работы газоочистной установки под разрежением применяется одной лишь фирмой Отто Дейц и требует особой герметичности при монтаже и тщательности режима.

Поэтому с начала 900-х годов появились и прочно укрепились вращающиеся колосниковые решетки с водяным затвором, допускающие применение дутья до 400 мм вод. ст. Многочисленные конструкции их описаны в части III настоящей работы; пока же можно ограничиться следующим: решетка должна давить шлак, для этого при вращении она должна описывать окружность диаметром более собственного диаметра. Для этой цели она снабжается какими-либо ребрами, выступами, приливами и т. п. или же ей придается эксцентricность, т. е. геометрический центр не совпадает с центром вращения. Решетки могут быть разных диаметров, но обычно диаметр нижней ступени подбирается так, чтобы расстояние от края нижней ступени до стенки шахты был около 250—200 мм. Впрочем, встречаются и отклонения от этого правила как в большую сторону (решетки

с малым диаметром — Коллер — AVG, Демаг), так и в меньшую сторону (решетка Ленгерсдорфа). Большое значение имеют также высота и число ступеней решетки и ее профиля (см. часть III).

Регулировка хода генератора заключается, главным образом, в регулировке количества и влажности вдуваемого воздуха и в регулировке скорости удаления шлака. Последнее достигается или изменением числа оборотов решетки или изменением высоты установки шлакового ножа, установленного в чаше навстречу движению шлака. Чем выше поднят нож, тем более толстый слой шлака проходит под ним, тем более полно используется поверхность дна чаши, толще получается средний слой шлака в чаше и медленнее проползает шлак с решетки под стенки шахты газогенератора. Опуская шлаковый нож, мы ускоряем удаление шлака. Такой прием более правилен, чем регулировка вращением чаши, потому что этим ослабляется размол шлака решеткой. В особенности вредно отзывается остановка чаши. На генераторах с вращающимся корпусом типа Вельмана прекращение шлакоудаления достигается, наоборот, выключением тормоза, останавливающего чашу; тогда чаша и шахта движутся вместе и никакого воздействия на шлак не происходит.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВАХ

### А. Зависимость процесса от свойств топлива

Производство воздушного и смешанного генераторных газов известно еще с середины XIX столетия, однако ясности в этом вопросе в значительной степени еще нет даже в самых основных моментах — в самой методике процесса. В самом деле, что такое генераторный газ? По классическому определению процесса газификации проф. С. П. Ланговым<sup>1</sup> он состоит из следующих операций: в шахту высотой 1—6 м и выше, смотря по топливу, засыпается топливо; на решетке, на слое шлака, происходит процесс полного сгорания топлива по общеизвестным реакциям:  $C + O_2 = CO_2$  и  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ ; раскаленные газы, проходя через слой вышележащего накаливаемого топлива (углерода), восстанавливаются по реакциям  $C + H_2O = CO + H_2$  и  $CO_2 + C = 2CO$ ; в верхних слоях восстановительной зоны к ним прибавляются незначительные количества водорода и метана из самого топлива, и на этом процесс получения собственно генераторного газа кончается. Примерно так процесс получения газа происходит при газификации кокса, антрацита и полуантрацитовых углей. В случае же газификации битуминозного топлива процесс продолжается таким образом, что к продуктам собственно газификации (Vergasung) прибавляются в верхних слоях топлива продукты сухой перегонки (Entgasung), более или менее разложенные. Наконец, в самых верхних слоях топлива прибавляются еще пары гигроскопической воды. Вся эта смесь окрашена в желто-буро-зеленый цвет и носит название смешанного генераторного газа. В составе ее, конечно, возможны различные колебания в зависимости от влажности топлива, состава органической массы, большего или меньшего припуска пара, характера шлаков, спекаемости

<sup>1</sup> «Технология топлива».



топлива, величины кусков, скорости прохождения газа и т. д., но один момент остается неизменным: в производстве собственно генераторного газа (Vergasung) участвует только кокс, вернее полукокс, того или иного, но близкого друг к другу состава, содержание же летучих веществ сравнительно мало влияет на состав полученного газа, определяемый прибором Орса, значительно меняется лишь влажность газа (при этом в сторону увеличения благодаря образованию конституционной воды) и в незначительных пределах содержание метана и тяжелых углеводородов, обычно ничтожное. Теплопроизводительность газа от этого в конечном счете почти не меняется, так как разница в содержании метана (от 0,5% при коксе до 1,7—1,9% при битуминозном топливе), дающая увеличение в 100—110 кал/м<sup>3</sup>, скрадывается увеличением влажности получаемого газа, даже если уголь удастся газифицировать так же хорошо, как кокс или антрацит.

Это положение, теоретически совершенно логичное, находится, однако, в резком противоречии с практикой огромного большинства промышленных печных установок как в СССР, так и за границей (для старых установок). Для газогенераторов, работающих без всякого использования побочных продуктов, берут обязательно топливо с большим выходом летучих — дрова, газовые и длиннопламенные угли и т. д. Посмотрим же, насколько практически подтверждаются высказанные выше теоретические положения. Табл. 12 дает состав газа из различных топлив на генераторах разных систем.

Здесь мы видим совершенно ясно, что состав газа мало зависит от содержания летучих веществ в угле. Существенная разница получается лишь в содержании метана, значительно большем в газе из битуминозного топлива, которое, конечно, увеличивает теплопроизводительность газа. Остальные горючие компоненты газа определенно выгоднее в случае работы на коксе или антраците; здесь, конечно, также возможны различные градации: устарелые коксовые генераторы Пинча довоенной постройки, предназначенные для газовых двигателей с неподвижной решеткой, без дутья и с подачей пара только испарением воды в поддувале дают, разумеется, более бедный газ, чем современные генераторы той же системы с вращающейся решеткой и влажным дутьем. В результате мы часто на антраците или коксе получаем более ценный газ, чем из богатого летучим газового угля. Выделяющееся содержание водорода и метана в газе из лисичанского длиннопламенного угля частично объясняется особенностями работы генераторов Вильсона и особенно Вельмана, главным образом, влиянием паро-инжекторного дутья, вызывающего пересыщение воздуха влагой. Состав угля и содержание летучих и здесь играют меньшую роль. В итоге мы ограничимся таким выводом: содержание летучих в топливе мало влияет на состав газа, но зато оно сильно влияет на выход газа в м<sup>3</sup> на 1 кг топлива. В самом деле, если выход газа из 1 кг чистого углерода составляет по расчету 6,75 м<sup>3</sup>, то 1 кг кокса дает около 4,8 м<sup>3</sup> (Пинч); 1 кг газового каменного угля дает 4,1—3,78 м<sup>3</sup>, 1 кг бурого угля дает около 2,5 м<sup>3</sup>, 1 кг дров или торфа дает около 1,8 м<sup>3</sup>; кроме того, состав газа из кокса или антрацита, определенный прибором Орса, почти полностью соответствует составу того реального газа, который течет по газопроводу, в то время как определяемый сухой газ из угля, дров или торфа весьма отличается от соответствующего

щего реального рабочего газа вследствие значительного содержания в последнем влаги, пыли и смолы; так, например, в газе донецкого газового угля и ПЖ на заводах им. Петровского (Днепропетровск) содержание влаги достигало 33 г на 1 м<sup>3</sup>, содержание смолы и сажи — 28 г/м<sup>3</sup>. В газе из лисичанского длиннопламенного угля содержание влаги и сажи достигало огромной цифры в 300 г/м<sup>3</sup>.

Смола и сажа в нагревательном газе являются, как известно, большим местом даже для печей с широкими газопроводами, так как они в значительной части до печей не доходят, а отлагаются в боровах, особенно в их углах и поворотах, уменьшая их полезное сечение, забивая собой все клапаны и вызывая тем самым необходимость усиленной их чистки. Так на Чусовском, Верхнем и Нижнем Салдинских заводах чистка газопроводов производилась раз в неделю или раз в 10 дней, на Константиновском заводе — сначала два раза в неделю, затем после принятых рационализаторских мер сократилась до одного раза в две недели. На Карабашском заводе благодаря огромным диаметрам — 1 800 мм — очистка производилась каждые пять недель применительно к остановкам печи, причем даже эти огромные борова заросли почти на  $\frac{2}{3}$ .

Для печей же с узкими горелками и сложно разветвленными газопроводами смола и сажа в газе совершенно нетерпимы, как это и показал известный печальный опыт Константиновского бутылочного и отчасти стекольного заводов, Красногоровского керамического, Кутанского известкового и т. д. В настоящее время все вновь выстроенные стекольные, керамические и машиностроительные заводы — в Гусе-Хрустальном, Воронежский завод шамотного кирпича, Пантелеймоновский динасовый, Бело-Бычковский стекольный, Свердловский машиностроительный, Ростовский Сельмашстрой, Луганский и др. — применяют очищенный газ. Для установок же без очистки газа в этом случае надлежит применять топливо с малым содержанием летучих, в частности, антрациты средних марок, АМ и АС и коксовую мелочь вместо часто употребляемых газовых длиннопламенных углей, что приобретает особенно важное значение для заводов южной металлургии. Меньшее значение это будет иметь для уральской металлопромышленности в силу ограниченности запасов егоршинских и полтаво-брединских антрацитов и для Кузбасса в силу пока слабого развития коксового производства.

Однако в практике заводов нашего Союза антрациты и коксовые орешки для отопления металлургических, стекловаренных и прочих печей почти нигде не применяются. Единственная установка, правда, прекрасно работающая, пущена только в 1928 г. на Часов-Ярском керамическом заводе (генераторы фирмы Юлиус Пинч с очисткой газа для тоннельной печи). Вообще же говоря, среди технологов и даже производств отопительного генераторного газа нужен газовый уголь, нужны летучие, для двигателей же, наоборот, нужно применять антрациты или кокс. Попробуем же вскрыть причины, объясняющие такой теоретически неправильный взгляд. Табл. 13 дает уже некоторый ключ к пониманию этого явления.

Из этой таблицы ясно видно следующее: многие установки старого типа работают почти «до кокса», т. е. не как генератор, а как плохая



Состав газа из разных топлив в генераторах разных систем

Топливо	Теплотворная способность газ/м³	Выход газа м³/кг	Состав газа в %						Тип генератора	Место установки	Источник	
			CO₂	O₂	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	CH₄	H₂	CO				N₂
Дрова смесь . . . . .	—	—	6,6	0,2	0,8	2,2	9,0	29,7	51,5	Дровяной, шахтный, с плоской решеткой без дутья	Великодворский стекольный завод	Изв. Т. И. № 4 (6), 1925 г. М. М. Щеголев и В. П. Федоров
То же . . . . .	1 115	—	7,60	0,75	0,79	2,80	11,0	19,44	—	То же	Кулебакский сталепрокатный завод	Отчет б. Р. Э. Т. Теплотехн. института
Подмосковный рядовой уголь . . . . .	1 350	—	7,1	0,3	—	1,3	16,1	27,2	48,36	Проф. К. И. Шашкина с вращающейся решеткой и сухим дутьем	Подольский Опытный завод института силикатов См. также: Н. И. Прудков "Тепло и сила", № 3, 1929.	Отчет Н. И. инст. силикатов
Челябинский бурый уголь . . . . .	1 278	—	5,6	0,6	0,1	3,26	15,3	19,56	55,55	Хильгера с ватержакегом	Карабацкий металлургический завод на Урале	Данные завода-ской лаборатории
Донецкий газовый уголь . . . . .	940	—	9,8	0,0	—	1,7	12,9	19,9	51,5	Моргана с паровентиляторным дутьем	Металлургический завод им. Петровского в Днепропетровске	"Уголь и железо" № 25, октябрь 1927 г.
Донецкий длиннопламенный уголь (Д) . . . . .	1 123	—	11,0	0,0	—	3,0	16,0	15,0	53	Вильсона с паровентиляторным дутьем	Константиновский бутылочный завод в Донбассе	Данные завода-ской лаборатории
То же . . . . .	1 295	—	9,3	0,2	—	4,2	15,4	17,8	53,1	Вельмана с вращающейся шахтной и паровентиляторным дутьем	То же	То же
Донецкий газовый уголь (Г) . . . . .	1 403	—	9,0	0,0	—	3,0	19,6	21,6	47,3	Моргана с паровоздушным дутьем	Мариупольский металлург. завод	То же
Антрацит марки АГ и АМ . . . . .	—	4,0—3,5	1,08	0,2	—	0,82	14,2	29,2	—	Гертей и Соважен	Семилукский завод огнеупорного кирпича	"Стройматериалы" № 5, 1931 г., стр. 47.
Коке газовый . . . . .	1 163	4,78	5,4	0,0	—	0,2	13,2	20,4	—	Пинча с плоской решеткой для газ. двигат.	Газо-электрич. станция Neusz am Rhein	Pintsch. Die Gasgeneratoren
Коксовый орешек печной . . . . .	1 370	—	5,30	—	0,26	1,35	11,37	28,3	—	Вельмана	Константиновка, цинковый завод	"Отчет Оргэнерго и Изв. ВТИ." № 3, 1932 г.
Коксовый орешек печной . . . . .	1 313	—	3,2	0,2	—	0,2	13,5	30,6	—	Пинча с вращающейся решеткой и влажным дутьем	Днепропетровский завод в Часов-Яре	Данные завода-ской лаборатории
Коксовый орех . . . . .	—	—	3,6	0,3	—	0,2	10,1	29,8	56,0	Копперс-Керпели с дутьем	Коксовые печи Англии	Porter. Coal carbonisation.
Егоршинский полуантрацит . . . . .	1 410	—	1,8	0,1	0,1	3,2	10,1	28,8	56,0	Ремана с паровентиляторным дутьем	Верхнесалдинский завод на Угале	Инж. Н. А. Соколовский, Егоршинский антрацит и его сжигание
То же . . . . .	1 280	—	1,6	0,1	0,1	1,9	12,4	26,2	57,8	То же	То же	То же
Антрацит (АМ), Власовский пласт . . . . .	1 450	—	2,02	0,00	0,2	1,74	10,45	33,25	—	Тиссена с паровентиляторным дутьем	Газогенераторная лаборатория ВТИ	"Изв. ВТИ" № 4, 1932 г.
Антрацит (АК), Власовский пласт . . . . .	1 217	4,23	7,40	0,21	0,22	0,78	12,76	25,66	—	То же	То же	То же



## Содержание горючего в золе различных генераторных топлив

Топливо	Содержание горючего в золе и провале в %	Система генератора и тип дутья	Место установки	Источник	Потери в % от теплотворной спос. топлива
Дрова (смесь)	61,2	Шахтный, без дутья	Великодворский стекло- завод	„Изв. ВТИ“ № 4 (6), 1925 г., стр. 37	1,35
Газовый уголь (смесь с ПЖ)	До 60	Сименса, без дутья	Красногоровский керамический завод	Данные заводской лаборатории	—
То же	Около 37	Сименса, с воздушным дутьем до 25 мм вод. ст.	То же	То же	—
То же	50,5	Моргана, с паровоздушным дутьем 60 мм вод. ст.	Металлургический завод им. Петровского в Днепропетровске	„Железо и уголь“ № 25, октябрь 1927 г.	18,1
Подмосковный бурый уголь	5	Проф. К. И. Шарашкина, с вращающейся решеткой и сухим дутьем 125 мм	Подольский опытный завод Института силикатов	Из доклада ГЭИС о газификации подмосковного угля	—
Челябинский бурый уголь и смесь его с ленинским	От 15 до 40	Гильгера, с водяным охлаждением шахты, с паровоздушным дутьем до 50 мм	Карабашский медеплавильный завод	По данным заводской лаборатории	—
Коксовый орешек	Около 5	Пинча, с вращающейся решеткой и влажным дутьем около 130 мм	Часов-Ярский керамический завод	—	—

коксовая печь, в которой часть кокса сгорает, а остаток его, загрязненный шлаком и золой (не шлак с коксом, а кокс со шлаком), выбрасывается. На Красногоровском заводе отбросами от чистки решеток газогенераторов Сименса с успехом отапливают паровые котлы, прибавив к ним только 10—15% угля; в отвалах можно было иногда видеть почти чистый кокс. То же самое было на заводе им. Петровского и

других заводах. К сожалению, у нас нет точных документальных данных о потере топлива в шлаке за отсутствием элементарного анализа угля и его калорийности для Красногоровского и некоторых других заводов, но цифра 18,1%, приведенная в табл. 13 для генераторов Моргана с дутьем, отнюдь не является максимальной, в других случаях она несомненно доходит до 40% и даже выше. При работе на дровах без дутья мы имеем почти ту же самую картину (около 61% содержания горючего в провале — Великодворский завод и другие), но значение этого фактора гораздо меньше — всего лишь 1,35% от калорийности дров, что объясняется гораздо меньшим выходом древесного угля (около 20—30%) против выхода кокса (около 60—70%), легкой горючестью древесного угля, нешлакуемостью золы и вследствие этого редкой очисткой решеток — 1 раз при дровах против 4—6 раз в смену при каменном угле и т. д. Цифра 1,35, однако, вообще очень низка, на большинстве заводов она доходит до 5% и выше. Учтем теперь то обстоятельство, что для сжигания 1 кг кокса в газ надо подвести около 4 м<sup>3</sup> воздуха, а для сжигания 1 кг дров всего лишь около 1,1 м<sup>3</sup> воздуха, для чего нужны, конечно, гораздо менее сильные тяговые приборы. Вспомним, наконец, известную каждому производственному инженеру привычку заводского персонала — пальщиков, обжигал, стали- и стекловаров и т. д. — работать на длинном густом пламени не только в газовых печах, но и в печах с прямым сжиганием топлива — в фарфоровых горнах, в гофманских печах и т. д. Выражения: густое, длинное, хорошо греющее, сильно лучеиспускающее пламя встречаются очень часто, даже в новейших руководствах. Даже в котельных установках, где работа теплотехнической мысли была наибольшей, применение антрацитов долго не имело места, началось только перед самой войной и особенно развилось во время топливного кризиса во время войны, после специальных работ проф. К. В. Кирш и появления соответствующих систем решеток и сильных дутьевых приборов. Еще совсем недавно для котлов брали марку ПЖ, дававшую густое лучеиспускающее пламя, и приближали решетку как можно ближе к трубам (на 600—700 мм), чтобы использовать максимум прямой отдачи, а дым, получавшийся в результате сильного охлаждения пламени чрезмерной прямой отдачей, считали за нормальное явление. Такое «пристрастие» к густому пламени объясняется исторически тем, что первоначальным источником топлива для СССР и для Западной Европы были леса, и испокон веков привычным топливом для человека были дрова с их характерными особенностями — «длинным мягким лучистым пламенем, малым выходом нелетучего остатка — древесного угля и т. д. Дрова же послужили и исходным топливом для газогенераторов. Люди привыкли к характерному желто-белому облаку с резким запахом; так как древесный уголь дает «невидимый» газ, состоящий только из CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, отчасти CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>, то при отсутствии каких-либо измерительных приборов у мастера и газовщиков не было никакого критерия, чтобы судить о выходе газа. Естественно, что, когда по мере выделения летучих газ становился бледнее, мастеру казалось необходимым давать свежую загрузку и соответственно очищать колосники от древесного угля, чтобы дать место свежей порции дров. При отсутствии в то время каких-либо искусственных дутьевых приборов выжечь весь этот уголь в потребное время было технически невозможно, да и экономически не-



целесообразно, так как в силу малого выхода древесного угля (около 20—30%) и легкой его горючести потеря с выгребом, несмотря на содержание в нем до 60% горючего, оказывается, как мы видим, небольшой (1—5%).

При этих условиях ведения процесса за счет, главным образом, летучих веществ потеря части нелетучего остатка была естественна, но, к сожалению, она содействовала выработке вышеупомянутого взгляда, который и был перенесен на позднейшие каменноугольные и механизированные генераторы. Но там дело обстоит совершенно иначе. Выход кокса составляет около 60—70%; количество золы колеблется в пределах около 10—20% (для марок Г и Д), причем зола в большинстве случаев плавится ниже температур, господствующих в зоне горения (1000° Ц и выше). Газовые и жирные угли в большей или меньшей мере спекаются, затрудняя выделение летучих; для борьбы с этим приходится часто и сильно шуровать и итти на снижение слоя. Все это заставляет делать чистку еще чаще — до 6—8 раз в сутки, что вызывает огромные потери горючего в выгребе. Вместе с тем вследствие прорывов воздуха через слой генераторы часто идут огневым ходом. Такую картину пришлось наблюдать на Красногоровском керамическом заводе при газификации донецких углей Г, ПЖ и пр., в еще более резкой форме на Чусовском заводе и Нижнесалдинском заводе при газификации ленинского и кизеловского каменных углей. В интересной статье инж. К. К. Коюда и инж. Н. И. Топперверх<sup>1</sup> приводятся соответствующие цифры, характеризующие работы газогенераторов Сименса и Моргана до и после испытания.

При газификации углей Г и ПЖ с теплопроизводительностью, близкой к 7 000 кал/кг, мы имеем следующие технические показатели:

Калорийность сухого газа . . . . .	920 кал/м <sup>3</sup>
Расход пара в % от веса сухого угля . . .	63%
Степень разложения пара . . . . .	28,6%
Содержание С в золе . . . . .	50,6%
„ пыли и смолы в газе . . . . .	28 г/м <sup>2</sup>

#### Тепловой баланс

Теплопроизводительность газа . . . . .	49,6%
Физическое тепло . . . . .	14,2%
Тепло влаги . . . . .	1,7%
Теплопроизводительность смолы + пыли . .	11,6%
Теплопроизводительность углерода в золе .	18,3%
Потеря тепла с охлаждающей водой . . . .	1,6%
Лучеиспускание и пр. . . . .	3,0%
Итого . . . . .	100%

Слой держали настолько низким, что иногда при чистке слой оседал ниже вершины дутьевого колпака. После ряда проведенных рационализаторских работ и тщательного теплотехнического контроля удалось значительно поднять теплопроизводительность газа, доведя

<sup>1</sup> «Уголь и железо» № 25—26, 1927 г.

ее до 1 300 кал/м<sup>3</sup> и уменьшить все потери, в том числе и содержание горючего в золе, доведя его до 37%, дальше этого при давлении дутья в 60 мм вод. ст. дойти было нельзя. На генераторах же Сименса при давлении дутья в 180 мм вод. ст. содержание С в золе достигало 23,5%.

Означенная картина знакома каждому инженеру, наблюдавшему работу газогенераторов для печей в Донбассе и на Урале, и выводы из нее напрашиваются сами собой.

Наиболее неправильной оказывается ориентация на богатые летучими топливами в новом строительстве при покупке механизированных генераторов, работающих без очистки газа. Всем памятна неудача с генераторами Вельмана и на Константиновских заводах.

Итак, резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующий вывод: генераторный отопительный газ получается при подаче достаточно сильного и влажного дутья из коксового ореха или средних марок антрацита (кроме штыба) почти того же качества, состава и калорийности, что из битуминозных углей, но с гораздо меньшими трудностями и не загрязненный примесями смолы или сажи, и при этом почти сухой — с минимальным содержанием влаги и с максимальным выходом газа на 1 кг затраченного топлива. Поэтому все старые генераторные установки металлургических, стекольных, керамических и иных заводов, каковые не подлежат в ближайшее время замене, надлежит срочно приспособить под коксовые и антрацитовые отходы (орех и семечко кроме штыба) с установкой соответствующих решеток и паро-воздушных приборов. Применение же битуминозных углей в газогенераторах без использования побочных продуктов прекратить, сберегая их для полного и низковольтного коксования, для выработки светильного газа и для газогенераторов с очисткой и получением побочных продуктов.

Цены на коксовый орешек и антрациты средних (АС, АМ, АО) марок сейчас ниже, чем на угли марок Г, ПЖ и Ф и отчасти Д. Добыча антрацитов может быть форсирована, так как их запасы больше, чем запасы названных битуминозных углей.

Остается, однако, еще один вопрос, интересующий уже не столько производителей, сколько потребителей газа, — это вопрос о лучеиспускательной способности пламени газа. Действительно, кокс или антрацит дают невидимое бесцветное пламя, однако, то же самое получается и при применении всякого очищенного газа, даже и из битуминозного топлива. Опыт, правда, еще небольшой, новой ванной печи завода им. Дзержинского (Гусь-Хрустальный) показал, что на мало светящемся, но высококалорийном (1 600 кал/м<sup>3</sup>) торфяном газе плавка идет даже быстрее, чем ожидалось. Нам пришлось видеть работу туннельной печи Часов-Ярского керамического завода на очищенном газе из коксового орешка, причем вся полость печи была залита равномерным золотистым огнем. Печь эта благополучно работает уже несколько лет. Многие авторы, в том числе Ле-Шаталье, считают, что лучеиспускание пламени в плавильных печах не имеет большого значения благодаря лучеиспусканию нагретого свода. Кроме того, и здесь имеется полная возможность карбюрации газа смолой, мазутом и т. п. перед входом его в горелки, или же в целях «окраски» газа можно один из генераторов батареи оставить на угле, чтобы он давал окрашенный густой газ.



## Б. Выбор топлива для новых газогенераторных станций

Генераторный газ проникает в такие области, где он прежде не применялся: например, в химическую промышленность для отопления многочисленных печей по термической обработке металлов, имевших ранее индивидуальные топки, и т. д., и нам не приходилось видеть ни одного проекта переоборудования газогенераторного хозяйства без центральной газогенераторной станции; индивидуальные установки уже везде выходят из практики. Всякая же газоцентраль немедленно влечет за собой газоочистку. Вследствие сложности и разветвленности газопроводов без газоочистки в этом случае получается немедленное отложение пыли во всех узких местах, клапанах и на всех поворотах. Насколько это имеет место при современных печах, видно из следующего: современная тоннельная керамическая печь фирмы *Keramische Bedarf Industrie* обладает 20 мелкими горелками с каждой стороны, т. е. всего 40 горелок, диаметром прохода около 75 мм, закрываемых коническими клапанами. Современная ванная стеклоплавильная печь с каналом Фуркс на 10 машин оборудована 20 малыми горелками с очень точной регулировкой, так как температура держится в тесных пределах 1 150—1 200° Ц. На больших машиностроительных заводах, как, например, Свердловский, число отдельных потребителей газа достигает 70—80 с большим числом горелок в каждой. Длина газопроводов достигает 2 км, так что возникает уже необходимость в удалении даже остатков влаги газа, которая может зимой замерзнуть и закупорить все узкие места газовой сети. И действительно, требование чистоты газа, предъявляемое иностранными фирмами, строящими печи, очень строги — нормы содержания пыли, смолы или взвешенных веществ в газе от 25 до 500 мг в 1 м<sup>3</sup>; первая цифра является максимумом для двигателей, а вторая — максимумом для печей.

Итак, газоочистка необходима почти во всех новых промышленных печных установках. Но, как мы увидим дальше, газоочистку всегда выгодно связывать с получением первичной смолы, а если возможно, то и других побочных продуктов.

Целый ряд подсчетов показывает, что даже при наличии твердых малосмолистых топлив, как, например, многие сорта сибирских углей (прокопьевские, анжерские и т. д.) и даже антрацита все-таки невыгодно подавать горячий, хотя и незагрязненный, газ по разветвленному трубопроводу или на расстоянии 50—100 и выше метров благодаря высокой стоимости трубопроводов. Это происходит потому, что объем газа при температуре 500—600° Ц втрое больше нормального; скорость газа в газопроводе никак нельзя давать больше 4—5 м/сек во избежание потери давления газа, запас которого вообще невелик — 30—40 мм вод. ст. (работа без экстаустера, а только за счет напора газа под действием воздушного вентилятора с неизбежной потерей части давления в циклонном пылеуловителе). Далее, во избежание охлаждения газа трубопровод приходится футеровать хотя бы в полкирпича, т. е. увеличивать его диаметр на 250 мм. При этих условиях трубопровод становится настолько тяжелым, что стоимость его и фасонных частей, фланцев, клапанов и т. д. покрывает стоимость очистительной установки или немного от нее разнится. Передовые

германские фирмы: Пинч, AVG и др. в своих схемах коксовых генераторных установок производят охлаждение генераторного газа путем использования пара. Например, схема Пинча — генератор, пыльник, испаритель, скруббер, экстаустор; схема AVG — генератор, котел на отходящих газах, экстаустор, оросительный холодильник.

Таким образом для длинных и разветвленных трубопроводов и мелких горелок необходимость очистки может считаться бесспорной, но иногда очистка желательна и чисто тепловых соображений. При очистке газ теряет пары смолы, чем понижается его теплотворная способность, и воду, благодаря чему его теплотворная способность повышается. Вопрос о выгоде очистки много раз обсуждался и почти все авторы признают выгоду охлаждения газа. Наиболее подробно освещает этот вопрос Тейлер<sup>1</sup> в своем описании установки для газификации бурого угля. По его подсчетам при газификации бурого угля получается газ с температурой выхода в 200° Ц и теплотворной способностью около 1 195 кал/м<sup>3</sup>; после удаления смолы при температуре 60° Ц теплопроизводительность газа падает до 1 080 кал/м<sup>3</sup>; но после удаления влаги при температуре 35° Ц теплотворность поднялась до 1 282 кал/м<sup>3</sup>, так что разницы почти не получилось. Однако здесь следует еще отметить, что и в этом случае Тейлер рассматривает лишь случаи очистки обычного генераторного газа и при этом не учитывает того обстоятельства, что значительная часть смолы, находящейся в газе, разлагается в боровах, так что фактически содержание смоляных паров и теплопроизводительность их в газе, входящем в печь, значительно меньше. Так, например, на Карабашском медеплавильном заводе при газификации челябинского угля при спокойном ходе газа (температура 380° Ц и желто-бурый цвет) в боровах отлагалось огромное количество сажи, очевидно, за счет разложения части смол на поворотах и вентилях и т. д. Далее, Тейлер приводит еще гораздо более разительные цифры сравнения обычной газификации бурого угля на горячем ходу с газификацией, соединенной с очисткой и использованием побочных продуктов (табл. 14). Топливом служил бурый уголь с теплотворной способностью 4 900 кал/кг.

Мы видим, что и с тепловой точки зрения очистка газа, соединенная с использованием побочных продуктов, является выгодной.

Работа генераторов AVG на торфе на заводе им. Дзержинского (Гусь-Хрустальный) давала примерно следующие результаты (по цеховому журналу): при торфе средней влажности меньше 30% (26—27%) пропускная способность в сутки была около 40 т. Выход золы 2,4—2,5 т, т. е. около 6%. Содержание углерода в золе совершенно ничтожное и на-глаз незаметное. Характер золы — часть в виде сыпучего песка, часть в виде спекшихся сплавленных шлаков, но в небольших кусках. Анализ газа приведен на табл. 15.

Выход смолы от 5 до 7% с влажностью 5—7%, иногда до 10%, иногда до 3%; теплопроизводительность ее сравнительно низка — около 6 500—6 800 кал/кг, очевидно, вследствие большого содержания кислородных соединений. Реакция смолы кислая. Температура выхода газа из генератора 75—90° Ц. Температура в смолоотделителе Тейзена 75—80° Ц; температура очищенного газа после оросительного холо-

<sup>1</sup> Theiler, Feuerungstechnik, 1923 г., т. 12, вып. 6, стр. 41.



		Газификация с использованием смолы	Обыкновенная газификация
А. Состав газа . . . . .		CO <sub>2</sub> 12,0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	5,0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
		C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> 0,6 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
		O <sub>2</sub> 0,6 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
		CO 20,0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	28,0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
		CH <sub>4</sub> 4,0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	2,5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
		H <sub>2</sub> 25,0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	12,0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
		N <sub>2</sub> 37,8 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	52,1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Итого . . . . .		100 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	100 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
Б. Выход газа м <sup>3</sup> /кг . . . . .		2,05	2,5

Температура газа у потребителя °С	Смола в газе л/м <sup>3</sup>	Вода в газе %	Теплотворная способность		Фактическая низшая теплотворная способность газа + смола + физическое тепло газа кал/м <sup>3</sup>	Выход газа м <sup>3</sup> /кг	Выход смолы %	Теплотворная способность смолы кал/кг угля	Коэффициент полезного действия %
			газа кал/м <sup>3</sup>	газа со смолой кал/м <sup>3</sup>					

## В. Расчет. п. д.

## а. Обыкновенная газификация

200	16	20	1 350	1 494	$1 494 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,3 \cdot 200 = 1 195 + 60 = 1 255$	2,5	5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> из них 1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> в пыли	450	$\frac{1 350 \cdot 2,5 + 450 = 3 825}{4 900 + 150} = 77\%$ <p>150 кал в виде пара (0,2 кг пара на 1 кг угля) 4 900 — теплопроизводит. угля</p>
60	—	20	1 350	1 350	$1 350 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,3 \cdot 60 = 1 080 + 18 = 1 098$				
35	—	5	1 350	1 350	$1 350 \cdot 0,95 + 1 \cdot 0,3 \cdot 35 = 1 282 + 10 = 1 292$				

## б. Газификация с использованием смолы

35	—	5	1 675	—	$1 675 \cdot 0,95 + 1 \cdot 0,3 \cdot 35 = 1 590 + 10 = 1 600$	2,05	10,0	930	$\frac{1 675 \cdot 2,05 + 930 = 3 430 + 930 = 4 360}{4 900 + 350} = 83\%$ <p>350 кал в виде пара (0,5 кг пара на 1 кг угля)</p>
----	---	---	-------	---	--	------	------	-----	---



Таблица 15

№ проб	CO <sub>2</sub>	CO	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
1	6,6	29,1	0,4	3,1	0,4	14,1	46,3
2	6,3	29,1	0,3	3,4	0,3	14,3	—
3	7,8	26,8	0,3	2,68	0,3	14,5	—

дильника 40° Ц; влагосодержание отвечает точке насыщения при этой температуре<sup>1</sup>.

Газификация антрацитов, являющаяся выгодной при прочих разных условиях (одинаковых ценах на топливо франко-завод и т. д.), при сравнении с газификацией с использованием побочных продуктов уже не является выгодной. Еще более невыгодной является газификация битуминозных углей с разложением смолы в так называемых генераторах «двойного огня» (Doppelfeuer) или в генераторах со сжиганием смолы, рекомендуемых в настоящее время многими специалистами.

В самом деле установки, предлагаемые для газификации антрацитов фирмами Гертей и Соважен (Heurtey et Sauvageon), Отто Дейц (Otto Deutz), Пинч и др., мало отличаются от предлагаемых ими же конструкций для газификации битуминозного угля. Схема газоочистки фирмы Гертей состоит из простого воздухоподогревателя — он же воздушный холодильник для газа, каскадного промывателя, центробежного дезинтегратора и коксового скруббера. Во всех этих аппаратах

<sup>1</sup> Детальное приемочное испытание работы газогенераторов Коллер AVG на стекловом заводе им. Дзержинского было произведено Ленинградским отделением Всесоюзного теплотехнического института, причем выяснилась полная пригодность этого типа для газификации кускового торфа; к.п.д. был получен около 91%. Из недостатков установки, выявленных при испытании (и особенно в дальнейшей эксплуатации) станции, нужно отметить наличие в газе органических кислот (уксусной), выделяющихся из торфа при швелевании, разъедающих незащищенные железные элементы установки; пока кислоты нейтрализуют по предложению фирмы содовым раствором в каплеуловителях, но без особенного успеха. Другим недостатком является неравномерный нагрев швелшахты; разница температур между стороной швелшахты, обращенной к рылу бункера, и противоположной — достигала 100°; это объясняется отсортировкой торфа при загрузке швелшахты, причем крупные куски падали тотчас у рыла, мелочь же шла к другой стороне шахты, вследствие чего поток газа в значительной части устремлялся в крупнокусковую часть слоя и нагревал соответствующую сторону швелшахты. Этот недостаток, конечно, легко может быть исправлен переустройством загрузки.

Подробные данные и схему испытания см. в работе инж. Кузьмина, Михеева и Синельникова в вып. 2 Трудов ЛОТИ «Керамические печи», стр. 3. См. также о работе Инсторфа у М. А. Марова, «Торфяное Дело», № 1—1932 г.

Первая газогенераторная станция типа AVG, выстроенная советскими инженерами из советских материалов, пущена в 1931 г. на Нижневыксунском металлургическом заводе (четыре газогенератора диаметром 3,0 м). Станция работает очень спокойно и надежно, правда, на весьма благодарном топливе (смеси торфа и дров в отношении 4 : 1). К сожалению, эксплуатация станции ведется вовсе не идеально: для предотвращения зашлакования работу ведут на дутье с значительным избытком пара (температура паровоздушной смеси до 72—75° Ц, т. е. 330—400 г H<sub>2</sub>O на 1 кг воздуха); нет сомнений, что режим возможно приблизить к установленному на Кулебаках (температура смеси около 50° Ц) или Гусе-Хрустальном (около 45° Ц).

газ промывается водой, расход которой, равно как и расход энергии, очень велик — около 12 м<sup>3</sup> воды на 1 т переработанного угля на промывку и до 0,5 квтч на 100 м<sup>3</sup>/час газа. Такая установка этой фирмы из шести генераторов и с добавочной содовой очисткой поставлена на Летненском керамическом заводе вблизи Воронежа для газификации антрацита. Установка фирмы Отто-Дейц состоит из генератора, первого холодильника, мокро-сухого газоочистителя, экстаустора и второго холодильника. Такая установка для газификации антрацита установлена на Сельмашстрое. Другие фирмы дают примерно аналогичные установки. Коэффициент полезного действия их, считая по холодному ходу, не превышает 70—72%, что и понятно, так как в них в значительной степени пропадает физическое тепло газа за исключением тепла, которым можно воспользоваться для подогрева воздуха и испарения нужной для его насыщения влаги. Пинч для своих установок для газификации кокса и антрацита дает к. п. д. 75% (орешек — Nusskohle); для штыба и огарков (Koksasche, Rauchkammerlösch) он меньше — около 60%, считая по холодному ходу.

Еще хуже обстоит дело в генераторах с разложением или сжиганием смолы. В первом случае, применяемом, главным образом, для торфа и бурых углей, вместе со смолой разлагаются и находящиеся в тазе парообразные и газообразные легкие углеводороды, влага же топлива остается в значительной части неразложенной, частично же разлагается по реакции CO + H<sub>2</sub>O = CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>. При этом газ получается более бедный, чем обычный газ, не говоря уже о газе с использованием смолы. Во втором случае, применяемом, главным образом, для каменных углей, сгорают вместе со смолой и все газы сухой перегонки, влага же разлагается только частью, вследствие этого температура в зоне горения понижается и газ получается во всех отношениях хуже. В обоих случаях газ горячий и содержит в себе большое количество сажи и пыли, так что очистка его в тех же аппаратах, что и при антраците и коксе, совершенно необходима. Для сравнения приведем состав газа при обыкновенной газификации (1), газификации со сжиганием смолы (2) и газификации с использованием смолы (3) (табл. 16).

Таблица 16

Топливо	CO <sub>2</sub> %	CO %	CH <sub>4</sub> %	H <sub>2</sub> %	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> %	Теплопроиз- водительность кал/м <sup>3</sup>	Выход газа м <sup>3</sup> /кг	Коэффициент полезного действия	
								газа %	смолы %
Каменный уголь (1)	8,6	18,3	0,6	14,0	—	981	6,18	70	—
" " (2)	6,5	27,4	2,7	11,8	0,3	1434	—	—	—
" " (3)	4,5	26,1	2,4	11,7	0,2	1346	—	—	—
Буроугольные бри- кеты . . . . (3)	7,7	25,5	3,3	15,7	0,8	1575	2,33	77,40	12,56
								89,96	



Потеря с физической теплотой газа составляет в генераторах с использованием первичной смолы только 2,59% при небольшой сравнительно влажности угля — 15,07%. Таким образом самой невыгодной является газификация с разложением смолы, а самой выгодной — газификация с использованием смолы, так как в этом случае и качество газа и тепловая к. п. д. являются наивысшими, не говоря уже о том, что смола даже как топливо может быть реализована по более высоким ценам, чем первоначальный уголь. На самом же деле из смолы можно получить много ценных веществ, и экономическая выгода ее выделения поэтому еще значительно больше.

Генераторы с разложением и сжиганием смолы применялись в довоенное время, главным образом, для газовых двигателей малой и средней мощностей; в этом случае очистка газа была необходима, а методы переработки и использования смолы были недостаточно изучены, тем более, что количество ее в каждой отдельной установке было слишком незначительно для дальнейшей переработки — особенно в условиях тогдашнего сравнительно низкого спроса на бензин и другие нефтяные продукты. В настоящее же время в связи с огромным ростом потребления бензина и смазочных масел для автомобильных, тракторных и прочих двигателей, вопрос сбыта продуктов переработки смол не вызывает никаких затруднений и зависит только от их качества. Как мы увидим дальше, и с этой стороны дело обстоит сравнительно благополучно. Конкуренция первичной смолы и ее продуктов с нефтяными продуктами, давно уже осуществленная в Германии и Англии, вполне возможна и у нас, поскольку наши огромные нефтяные запасы в значительной их части сконцентрированы на Кавказе, и лишь в последнее время обнаружены новые месторождения (весьма уступающие по мощности) на Урале. Все остальные районы нашего необъятного Союза — Донбасс с его огромными угольными запасами, Украина с ее бурными углями и торфами, весь север и северо-запад нашего Союза с его лесными и торфяными богатствами, — все это в свете теперешней индустриализации страны представляет собой богатейший источник и сырья и сбыта для смоляных продуктов.

Вышеприведенные соображения о применении генераторов с разложением и сжиганием смолы подтверждаются тем фактом, что генераторы эти существовали уже сравнительно давно: их можно найти в проспектах Пинча за 1905 г. и даже раньше, в то время как генераторы с использованием смолы появились в проспектах этой фирмы за 1921, 1922 и т. д. годы. Более совершенный тип должен вытеснить менее совершенный и устарелый.

Некоторый интерес и некоторую конкуренцию упомянутым генераторам могут составить только новые генераторы автомобильного типа с полным распадом смолы и сухой очисткой. Проф. В. Ю. Гитлис в своей работе о транспортных газогенераторах<sup>1</sup> указывает, что при опытах в Ленинградской лаборатории тепловых двигателей (ныне Всесоюзный научно-исследовательский дизельный институт) над газогенератором для автомобильного двигателя при работе на дровах удавалось нацело разложить смолу и перевести ее в сухую пыль при помощи кусков необожженного фарфора, который сильно нагреваясь,

содействовал полному разложению смолы. Имело ли здесь место также и какое-либо каталитическое влияние необожженного фарфора благодаря его пористости, данных не имеется. Можно, однако, предположить, что при работе на угле или торфе, да еще в крупном масштабе, этот способ вряд ли применим в силу следующих причин: сухие смеси из крупных кусков вообще устраивать затруднительно, так как нет никакой уверенности, что они не расслоятся в бункерах, особенно при разном удельном весе угля и фарфора. Еще более это относится к движению смеси в самом генераторе: фарфор может распределиться неравномерно при большом сечении генератора, и разложение смолы может быть неполным. Кроме того, торф и угли имеют часто легкоплавкие шлаки, которые могут сплавляться с кусками фарфора, образуя большие куски, нарушающие ход генератора. Куски твердого фарфора могут застревать при движении их с решетки под стенками генератора к выгрузному ножу и тем опять нарушать ход генератора. Нужно считаться и с неизбежным расходом глины, а больше всего с тем, что вследствие примешивания глины установка теряет свою автоматичность и требует постоянного надзора за работой по смешиванию!

В современных условиях для крупных установок теоретически наиболее рациональной является газификация битуминозного топлива с получением побочных продуктов и с обязательным использованием этих продуктов (в СССР их часто не принимают совсем в калькуляцию, и в результате жидкую смолу выливают в реку или в отвал).

В силу этого наиболее правильным является в случае применения каменноугольного (донецкого) топлива употреблять смолистые газовые или длиннопламенные угли для новых газоцентральных, чтобы оправдать расходы по эксплуатации и амортизации газоочистительной аппаратуры. Однако на сегодняшний день и в ближайшие годы рекомендовать это заводам не приходится по следующим причинам: качество газовых и длиннопламенных углей в смысле зольности и особенно содержания мелочи благодаря отсутствию сортировок настолько низко, что какая-либо рациональная работа на них вообще затруднительна. Кроме того, присущее большинству донецких углей свойство спекания ведет к образованию в зоне сухой перегонки, особенно при применении верхних реторт (швельшахт), сводов из спекшихся комьев угля и тем самым к нарушению всего хода газификации. С другой стороны, сбыт первичной генераторной смолы организован пока еще настолько скверно, что она далеко не всегда используется так, как надо, и в полном количестве.

Печальный пример этого дает Пантелеймоновский динасовый завод: вследствие низкого качества газового угля, спекания и шлакования в генераторе получались непрерывные козлы и прогары. Вся система газоочистки, основанная на раздельном отводе холодного смолистого (200° Ц) газа и горючего (500—600° Ц) газа из полукокса, была спутана, и в результате степень очистки и качество газа и смолы получились весьма невысокими. Сбыт смолы был плохо организован, несмотря на наличие в 10 км Горловского коксо-бензольного завода.

Следует иметь в виду, что в обычном каменноугольном генераторе давление газа в выходном патрубке не превышает 35—40 мм вод ст. Даже при этих условиях обслуживание генератора (загрузка, шуровка

<sup>1</sup> «Известия Теплотехнического института» № 1/44, 1929 г.



и т. д.) сильно затруднено (большая потеря газа, большой унос пыли и т. д.). Этого давления обычно уже нехватает на проталкивание газа через пылеуловитель, запорный вентиль, газосборный трубопровод и разводный газопровод с четырьмя-пятью поворотами и вентилями, даже при очень большом диаметре трубопроводов, рассчитанном на скорость 3—5 м/сек. При большей скорости движения давления газа тем более не хватит, увеличивать же давление воздушного дутья под колосниками отчасти бесполезно из-за большой потери давления в слое топлива, отчасти же невозможно в силу наличия определенной предельной высоты водяного затвора в чаше.

Это делает необходимым отсасывание газа эксгаустером, для чего газ должен быть охлажден и очищен; но схемы очистки здесь будут иные, чем при смолистом угле или торфе. Следует максимально использовать физическую теплоту газа (температура газа 500—600° Ц), лучше всего в испарителе и далее применять сухую очистку газа, чтобы избежать лишних сточных вод. Такие схемы в настоящее время прорабатываются как у нас, так и за границей.

Так, если станция по схеме фирмы Отто-Дейц, установленная в 1929—1930 гг. на Ростсельмаше, не имеет еще использования физической теплоты газа, теряющейся поэтому при промывке, то конструкция фирмы Кертинг, установленная в 1932 г. на Луганстрое, уже предусматривает установку за генератором восьмиатмосферного парового котла, обогреваемого за счет физического тепла отходящих газов. Котел этот включается в общее паровое кольцо для питания молотов, благодаря этому общий к. п. д. согласно гарантии фирмы повышается почти до 80%.

Свойства первичной смолы целиком зависят, конечно, от свойств топлива, от его влажности, от величины кусков, от типа аппаратуры и т. д. Помимо того надо иметь в виду, что различные авторы и фирмы, охотно описывая конечные выходы продуктов, к. п. д. установки, преимущества тех или иных устройств, обычно очень мало пишут о деталях процесса получения смолы, держа это в секрете. Пока что приходится считать идеалом получения при газификации в газогенераторах тех же продуктов и в том же количестве, как и при сухой перегонке в реторте Фишера или во вращающейся печи. Из осторожности многие считают, что выход побочных продуктов при газификации составит не свыше 60% от соответствующих погонов сухой перегонки. Фирма Пинч для челябинского угля дает выход до 80% количества, получаемого в реторте Фишера. Тейлер<sup>1</sup> считает этот выход почти в 100% от выхода сухой перегонки. Он приводит следующие данные о первичной смоле, полученной при газификации бурого угля в установках фирмы AVG. Смола при температуре около 70° была совершенно жидка и текуча. Ее удельный вес был 0,93—0,94, так что она хорошо отстаивалась от воды; содержание влаги в смоле по отстаиванию 0,5%, содержание пыли 0,3%; температура вспышки 90°, начало кипения 170—180°, до 300° отгоняется до 70%; содержание парафина 16—21%, содержание кислых масел 10—14%. Примерный состав и выход различных продуктов дестилляции смолы следующие: белого парафина 13%, смазочного масла 15%, горючего масла 40%, то и другое средней тепло-

производительностью в 9 500 кал, веретенного масла 4%, машинного масла — 17%, с вязкостью 4—4½ при 50°; красных продуктов 2%, кокса 4%, потери 5%. Горючие масла представляют собой готовое топливо для дизельных установок; при этом стоимость первичной смолы составляет до 2/3 стоимости горючих масел, полученных после перегонки.

Фрейнд<sup>1</sup> указывает следующие результаты газификации бурых углей на генераторах Геллера: угли имели влажность 37,2%, зольность в 5,7%, органическая масса 56—73%, уголь при экстрагировании давал до 5,03% битумов и гуминовых кислот. Выход первичной смолы по Фишеру был 18—19%; выход ее при газификации был около 90% теоретического, причем эта смола имела следующий состав: асфальтовых масел 8,3% с точкой размягчения 61° Ц; фенолов 23,5%, не вязких нейтральных масел 26,1%, вязких смазочных масел 29,3%, сырого парафина 7,2% с точкой размягчения 5,4°, красных продуктов 3,1%. Дихелюн<sup>2</sup> опровергал многие выводы Фрейнда, действительно, весьма неясные, также подтверждая последние цифры. Торфяная смола, полученная при газификации торфа на генераторах AVG, на заводе им. Дзержинского (Гусь-Хрустальный), дает выход 6—8% от сырого торфа, содержащего 26—28% влаги; смола выделяется в дезинтеграторе Тейсена и каплеуловителе при температуре, равной 74—80° Ц, совершенно жидкой, содержание влаги в ней от 3% до 5,5—7%. Влагосодержание смолы увеличивается с увеличением влажности торфа, который иногда подается на завод влажным, как мох. Теплопроизводительность смолы меньше обычной — около 6 800 кал, содержание парафина, повидимому, велико, потому что при охлаждении смола застывает, и ее берут лопатами. Реакция смолы, равно как и подемольной воды, кислая, повидимому, от присутствия фенолов и кислот, несмотря на присутствие аммиачных соединений. Содержание пыли, повидимому, очень, незначительно, так как ее почти незаметно; вся пыль с некоторой частью тяжелой смолы, повидимому, осаждается в первом трубопроводе и гидравлике; эта часть смолы не включается в ее общий выход.

Таким образом имеющийся материал позволяет с уверенностью сказать, что смола из газогенераторов с швельшахтой получается почти в том же количестве — не менее 80—90%, что и при полукочковании, и притом несколько лучшего качества — по сравнению со смолой, получаемой из вращающихся печей. Несколько меньший выход объясняется, может быть, даже не столько фактическим уменьшением ее выхода, сколько трудностью конденсации и поглощения паров смолы генераторного газа, имеющего значительно больший объем, чем газы при сухой перегонке. Лучшее же ее качество объясняется меньшим количеством пыли, образуемым топливным слоем генераторов по сравнению с вращающимися печами, а также и меньшим перегревом смолы при правильном режиме, в результате чего смола меньше разлагается и не дает сажи. Фриц Фишер<sup>1</sup> также указывает, что генераторная смола обычно является менее расщепленной, чем печная. Возможно, однако, что можно еще улучшить качество

<sup>1</sup> Feuerungstechnik, 1923, XII, 6, стр. 41.

<sup>1</sup> Freünd, Chemische Zeitung, 1923, 10, стр. 41.

<sup>2</sup> «Превращение углей в жидкое топливо», стр. 112.



и выход первичной смолы, если учесть следующее обстоятельство: тепловой баланс генератора с использованием побочных продуктов показывает, что предельная влажность топлива — бурого угля или торфа, при которой возможна газификация с получением хорошего генераторного газа, не превышает примерно 37% (фирма AVG поставила условием для Гусевской станции предельную влажность в 35%). Выше этого предела тепла, развиваемого в зоне газообразования и восстановления (Vergasungzone), уже не хватает для подсушки топлива и выделения титрогенизационной воды. Последняя доходит до огневой зоны, понижая в ней температуру и способствуя реакции  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$  и  $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ . Ниже этого предела получается избыток тепла, и часть горячего генераторного газа отводится по нижней отводной трубе, минуя швельшахту. Однако при влажности топлива 30% и выше приходится весь газ проводить через зону сухой перегонки, и первое, что встречает на своем пути горячий газ, — это зону смолы. Это приводит к частичному перегреву смолы и ее распаду; между тем, уменьшить пропускаемое количество горячего газа мы не можем, ибо иначе не хватит тепла для подсушки топлива. Вследствие этого возникла мысль передавать горячий газ из зоны газогенерации прямо в зону подсушки, минуя зону смолы. Конструктивно это могло бы быть выполнено различными способами: например, в обычном генераторе типа Пинча со швельшахтой или другом — с двумя газоотводящими трубами для горячего и смолы — можно сделать отвод из трубопровода горячего газа в швельшахту в зону подсушки топлива. Имея на этом патрубке шибер, можно регулировать проведение нужной части газов через зону смолы и другой части — через патрубков. Очевидно, что при открытом шибере и достаточном сечении трубы, почти весь газ пойдет по трубе в силу большого различия сопротивлений трубы и зоны смолы. Этим можно парализовать и другую опасность разложения смолы — благодаря более продолжительному пребыванию ее в горячем пространстве; при меньшем количестве генераторного газа, проходящего через зону смолы, скорость паров смолы будет меньшей и они будут медленнее выноситься из зоны смолы в верхние зоны. Балансируя между этими двумя крайностями, можно добиться оптимальных условий выхода смолы.

Как мы уже сказали, само ведение процесса газификации чрезвычайно разнообразно, и каких-либо стандартных инструкций здесь дать нельзя. К тому же, как мы уже говорили, и в литературе обычно очень мало данных по этому вопросу, даже для совершенно конкретных случаев применительно к определенному топливу и данной установке.

Очень интересными являются в этом отношении наблюдения над работой торфяных генераторов фирмы AVG, на стеклозаводе им. Дзержинского в Гусе-Хрустальном. Температуры по зонам распределялись следующим образом: низ швельшахты — 288, 240, 186°; середина — 165, 150, 110°, выход из швельшахты 80—90°, иногда и меньше.

Влажность торфа была 26—28% (все цифры любезно сообщены проф. К. И. Шарашкиным). Это прежде всего указывает на то, что швельшахта является камерой для подсушки топлива, так как даже максимальная температура 288° отвечает лишь началу интенсивного

смолы выделения, которое продолжается, очевидно, уже собственно в генераторе. Характер и ход газификации меняются довольно резко: из шуровочных отверстий, расположенных по окружности верхней крышки нижней шахты генератора (у подножия швельшахты), идет то слабо заметный беловатый «редкий» дымок, отвечающий газу из полуккокса, то газ густого желто-белого цвета, отвечающий газу смешанному с продуктами сухой перегонки. Тот и другой газ обладают большой горючестью, так как взрываются при вытаскивании раскаленной измерительной штанги, но состав их безусловно различен. Распределение зон по высоте генератора для конструкции AVG, где весь газ проходит через швельшахту, еще не имеет особого значения, но для конструкции с двумя и тремя отводами газа это обстоятельство имеет весьма существенное значение, определяя собой рациональную высоту расположения нижней газоотводной трубы и высоту зоны «собственно газогенерации».

Необходимы опытные работы в этом направлении<sup>1</sup>.

О влиянии спекаемости, величины кусков и содержания мелочи в топливе на ход процесса точных количественных данных очень мало. Фирма Дейц вообще отказывается давать какие-либо генераторы для спекающихся углей, мотивируя это невозможностью получить хороший газ с теплопроизводительностью выше 1 000 кал/м<sup>3</sup>. Фирма Пинч считает возможным применять «не сильно спекающиеся угли» (nicht stark backende Kohle), так как спекающиеся куски затрудняют проход газов по всему сечению шахты, заставляя их прорываться по отдельным кратчайшим путям. По той же причине недопустимо содержание мелочи меньше 15 мм в количестве свыше 5%. С этой точки зрения наилучшим топливом для получения первичной смолы и вообще добычи побочных продуктов является торф, так как это, пожалуй, единственное из наших топлив, которое обладает свойством сохранять при полуккоксовании свою первоначальную форму куска, не рассыпаясь в мелочь, как челябинский, лисичанский или подмосковный угли, и не спекаясь в лепешки, как ПЖ, отчасти газовый уголь, кузнецкие угли. Вместе с тем торф, повидимому, хорошо прококсовывается во всю толщину куска, так как опыт стеклозавода им. Дзержинского показывает вполне хорошие результаты даже на крупных кусках (до 200 мм, станция работает пока без торфорезок). Зато содержание пыли губительно действует на ход газификации, вызывая неравномерный ход генератора и заставляя повышать давление воздуха под решеткой до такой степени, что выбрасывалась вода из водяного затвора (чаши). Те же данные получаются как будто бы и при газификации донецкого газового угля в газогенераторах с добыванием побочных продуктов системы Лангерсдорфа (с верхней шахтой). На Пантелеймоновском заводе пыль забивает проходы между кусками угля, швеление идет неравномерно, и смола, перемешанная с большим количеством механически увлеченной пыли, не обладает текучестью и застревает в тру-

<sup>1</sup> В настоящее время Инсторфом разработана детальная схема переработки торфяной смолы на получение горячих погонов, фенолов и т. д. (пущен опытный цех в Гусе-Хрустальном). О смоле подмосковного угля см. у проф. Н. М. Караваева и В. И. Каржева, Хим. Тверд. Топл., № 7, 1932. О торфяных газогенераторах см. раб. А. А. Мягкова, Торф. Дело, № 6, 1927.



бопроводах. Эти данные наблюдались, впрочем, еще до подобного испытания установки.

В общем можно согласиться с выводами проф. Красусского и инж. Гофтмана<sup>1</sup>, что для лисичанского угля величина кусков выше определенного предела не имеет большого значения, так как коксование угля легко идет по всей толщине куска, наоборот, присутствие мелочи губительно действует на ход полукоксования и на качество первичной смолы вследствие засорения ее пылью.

Эти же выводы кажется нам возможным принять и к швелелеванию в генераторах для всех вообще неспекающихся топлив вроде лисичанского, челябинского угля, торфа и т. д., хотя, конечно, идеалом является применение строго сортированного топлива размером около 50 мм.

Весьма интересными являются соображения Гудлера (Hudler), хотя и нельзя принять их для всех без исключения случаев. В своей интересной работе<sup>2</sup> он указывает на следующее: газификация с получением первичной смолы по его мнению (так же, как и Тейлера и других авторов) является очень выгодной. Выход смолы при газификации германских буроугольных брикетов или грохоченого бурого угля достигает до 100% лабораторного выхода (в его случае — 19%). Пропускная способность генератора при этом топливе достигала до 100 т в сутки, теплопроизводительность газа была на 275 кал/м<sup>3</sup> выше, чем при обыкновенной газификации. Еще лучшие результаты были достигнуты в Англии инженерами Лимном и Рэмбушем (Lynn and Rambush) на генераторе высотой 4 000 мм. Благодаря введению в генератор большого количества пара и полному его разложению удалось получить газ теплопроизводительностью 1 600 кал/м<sup>3</sup>. В полученной смоле содержалось до 10% тепла угля. Общей к. п. д. достигал 92%. По мнению Гудлера возможно еще большее введение пара в генератор без ущерба для его разложения, что позволит еще больше обогатить газ.

Однако получение первичной смолы имеет и свои обратные стороны. Первое — это обилие резко пахнущих сточных вод от промывки газа. Спускать эти воды в открытые водоемы нельзя. Поэтому их пытались спустить в дренажи, но так как это вызывало загрязнение грунтовых вод, то это тоже было запрещено. Тогда решили выпаривать эти воды и пар выпускать в трубу, в результате это вызывало загрязнение атмосферного воздуха. Далее Гудлер указывает, что хотя охлаждение и осушка газа и повышают теплотворность, но для печей во многих случаях полезнее и выгоднее использование явной теплоты газов, так как повышение теплотворной способности газа вместе с тем к повышению потери с отходящими газами, т. е. к. п. д. печи уменьшается. Поэтому Гудлер высказывается против охлаждения газа в целях его осушки при газификации мало влажных высокосортных каменных углей. Против естественной конденсации можно применить усиленную изоляцию трубопроводов. Так как по мнению Гудлера выделение смолы из каменноугольного газа не требует охлаждения газа, то можно выгодно совместить отбор смолы с горячим ходом газа. Однако

<sup>1</sup> «Коксование лисичанского угля при низких температурах».

<sup>2</sup> Feuerungstechnik, № 6, 1928, стр. 43.

Гудлер оспаривает выгодность и самого отбора смолы из газа. Ценность каменноугольной первичной смолы по Гудлеру меньше бурого угольной, а расходы по смолоочистке велики. С другой стороны лучеиспускание в печах увеличивается при содержании паров смолы в газе, так как при их расщеплении получается много чистого углерода, горящего светящим пламенем. Теплотворная способность смолистого газа тоже выше, чем очищенного от смолы, и, выше, чем обыкновенного. При этом получение смолистого газа имеет еще ряд преимуществ по сравнению с нормальной газификацией. Газ, как мы видели, получается значительно лучшего качества — почти на 275 кал/м<sup>3</sup>, и, кроме того, он не требует для своего сжигания переменного количества воздуха, как обыкновенный газ, по следующим причинам: добавляемая порция угля при обычном процессе падает на горячее зеркало газификации и сразу выделяет большое количество летучих, требующих для своего сжигания добавочное количество воздуха, в то время как в генераторах с получением первичной смолы уголь падает на сравнительно холодную поверхность слоя топлива и медленное выделение летучих почти не влияет на количество вторичного воздуха.

В силу этого, а также и по другим соображениям, Гудлер приходит к выводу, что идеалом газификации каменного угля является газификация с получением смолы, но без ее конденсации и осушки газа. Статья его так и названа «Urteergenerator» (генератор с получением смолы, но без ее выделения — ohne Urteergewinnung).

Взгляд этот можно признать правильным только для газификации смолистых каменных углей с малой влажностью и только в индивидуальных установках, не требующих очистки, при больших горелках и мало разветвленном трубопроводе, например, в случае вращающихся обжигательных печей, отапливаемых газом из двух больших генераторов и т. д. При большем количестве генераторов изменение состава газа в зависимости от свежей засыпки играет меньшую роль, в особенности, если устроить автоматическую засыпку.

Вообще надо отметить, что газификация каменных углей с использованием побочных продуктов может представить некоторые трудности в связи со спекаемостью углей. На это, как уже было указано, обращают внимание все заграничные фирмы (Дейц, Пинч и другие), и неудачная пока работа генераторов Пантелеймоновского завода на высокосортном донецком газовом угле по сравнению с очень хорошей работой генераторов Гуся-Хрустального на «низкосортном» торфяном топливе подтверждает это. Между тем, большинство углей Донбасса и Кузбасса обладает свойством в большей или меньшей степени спекаться. Это относится как к газовым углям, так еще более и к углям типа ПЖ, Ф, отчасти ПС с выходом летучих около 20—30%, газификация которых может иметь место, особенно в Кузбассе по условиям близости рудников к потребителю, т. е. малой перевозки. До сих пор немецкие фирмы избегали применять в генераторах с получением смолы мешалки типа Чепмена, справедливо указывая, что это ведет к сильному загрязнению смолы пылью и процесс не достигает своей главной цели — получения жидкой, текучей в горячем состоянии смолы. Теперь же с введением электрической очистки газов по способу Котреля (Cottrell), можно как будто бы этого не бояться, учитывая, что выходящие из швелешахты грязные газы будут сперва без



охлаждения очищаться от пыли электростатическим способом, а затем уже охлаждаться и выделять смолу или каким-либо обычным, или тем же электростатическим способом. Возможность делать камеры котлов из кирпича с хорошей изоляцией при сравнительно невысокой температуре выходящих из швеллшахты газов (около 200° Ц) дает основание не бояться конденсации паров смолы на стенках камер. Смола при дальнейшей конденсации получится почти обеспыленная. Подобный способ дробной очистки уже принят на сернокислотных заводах для очистки газов тарельчатых печей сперва от пыли, а потом от паров мышьяка после его конденсации<sup>1</sup>.

Вопрос о газификации спекающихся углей типа ПЖ, ПС вообще представляется мало изученным в Западной Европе. В Союзе ССР по вышеизложенным соображениям для газификации применяются, главным образом, марки Г и Д, частично улучшаемые добавлением марок ПЖ и Ф, главным образом в силу большей чистоты и калорийности этих углей. Газификация одних углей ПЖ, ПС и Ф или их смесей у нас неизвестна. В Германии тоже как будто бы с такими углями не работали, благодаря наличию больших количеств газового кокса, отходов металлургического кокса, газовых углей, бурых углей и т. д. Газификацией спекающихся углей занимались главным образом в Англии и Америке, где и появились поэтому первые конструкции генераторов с мешалками типа Вельмана (Wellman), Юза (Houghes), Чепмана (Charman) и т. д. Фирма Хут Ретгер (Huth Röttger) приводит результаты своих испытаний на сильно спекающемся австрийском угле и карвинском угле в своих генераторах с мешалкой Чепмана (табл. 17).

Таблица 17

	Австрийский уголь	Карвинский уголь
CO <sub>2</sub>	2,75	3,03
CO	28,30	29,00
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	0,35	0,41
O <sub>2</sub>	0,00	0,19
CH <sub>4</sub>	2,44	1,94
H <sub>2</sub>	13,20	13,43
N <sub>2</sub>	52,96	52,00
Теплотворная способность	1 497 кал/м <sup>3</sup>	1 440 кал/м <sup>3</sup>

Из случаев газификации специального характера следует прежде всего указать на газификацию с жидким шлакоудалением. Этот способ возбудил сперва большие надежды в смысле упрощения всего процесса — автоматизации шлакоудаления, отпадения главной части генератора-решетки, отсутствия нужды в паре и т. д. На деле оказалось, однако, наоборот. Установленные в нескольких местах генераторы на жидком шлаке не пошли или пошли плохо. Так это имело

<sup>1</sup> Об электрической очистке газов см. работу Б. Л. Шнейерсона и Н. Н. Егорова, 1933, а также их статьи в «Химстрой» 1930 и 1931 гг.

место в 1926 г. на заводе им. Дзержинского в Днепропетровске, где был поставлен генератор Сепюлькра на газовом угле. Постоянное образование козлов, прилипание к стенкам, необходимость чуть не каждые полчаса выливать шлаки, газ плохого качества заставили после года работы переделать генератор на обыкновенный колосниковый Сименс<sup>1</sup>. В 1925 г. Донуголь ставил опыты по газификации антрацитовых штыбов на заводе им. Дзержинского в Гусе-Хрустальном. Опыты были удачнее, но большой расход энергии — 75 квтч на тонну угля — и опять-таки затруднения со шлаками не дали окончательного разрешения вопроса. В качестве присадки (плавней) применялся мартеновский шлак: состав газа был CO<sub>2</sub> до 1%, CO — 33%, H<sub>2</sub> — 1%.

В Германии по сообщению Пинча фирмой установлено всего лишь несколько таких установок и вообще по его мнению эти генераторы не могут иметь промышленного значения, применяясь лишь в специальных случаях. Топливом для них служит только кокс крупный или мелкий средней зольности, так как только он дает наиболее равномерное опускание топливного слоя и надлежащую температуру в зоне горения. При спекающемся угле слой закоксовывается и застревает в шахте, при влажном буром угле химически связанная вода достигает зоны горения и понижает ее температуру. При употреблении же кокса и без примеси пара газ получается состоящим почти из одной окиси углерода, с теплопроизводительностью около 1 000 кал/м<sup>3</sup>. Газ этот слишком беден для печей и употребляется, главным образом, взамен и как примесь к доменному газу для газомоторов, которые при работе на доменном газе имеют высокую компрессию и в силу этого требуют газ с минимальным содержанием водорода во избежание преждевременной вспышки. Другое назначение этого газа — это сырье для некоторых химических производств, например, для производства муравьиной кислоты, где важен максимум CO при отсутствии H<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, мешающих реакции, для производства фосгена и т. д.

К этим соображениям необходимо прибавить еще и то, что вообще составление всякого рода топливных смесей всегда затрудняет и удорожает производство. Это обстоятельство уже отмечалось при описании автомобильных дровяных генераторов, работающих с примесью необожженного фарфора или чего-либо подобного.

Пинч дает следующие результаты работы своей установки на одном из германских доменных заводов; газ проходит через очистную установку для доменного газа, топливом служит кокс с 10,22% золы в пересчете на сухое вещество. Зола следующего состава:

Состав золы:		Состав флюса:	
SiO <sub>2</sub>	46,06%	Fe	27,91% Бурый железняк
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,79%	Mn	4,00% (из Gross-Iselde)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,34%	Al <sub>2</sub> P	1,05%
CaO	2,79%	O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub>	6,92%
MgO	0,37%	CaO	12,86%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,73%	MgO	1,16%
		H <sub>2</sub> O	6,06%
Итого	. . 97,08%		

<sup>1</sup> «Уголь и железо», № 25, 1927.



Состав шлаков по удалении всех металлических частиц:

SiO <sub>2</sub>	31,30 — 32,82	CaO	25,32 — 24,92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,22 — 18,10	MgO	0,24 — 0,32
FeO	17,58 — 15,09	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,50 — 0,56
MnO	5,80 — 5,47		

Шлаки при ежечасном опоражнивании текли совершенно свободно.

Газ имел средний состав: CO<sub>2</sub> — 1,5%; O<sub>2</sub> — 0,2%; CO — 32,2%, H<sub>2</sub> — 0,5%; давление газа — 35 мм вод. ст. при давлении воздуха 535 мм, теплотворная способность газа — 990 кал/м<sup>3</sup>; температура дутья 8° Ц<sup>1</sup>.

Диаметр генератора 900 мм в свету. Кожух генератора охлаждался водой. При подогреве воздуха и увеличении диаметра генератора результаты по мнению Пинча получились бы еще лучшими<sup>2</sup>.

Генератор Пинча на жидком шлаке был установлен на Кинешемском заводе Центрохимтреста и пущен в 1928 г. Его назначение — вырабатывать газ для синтеза формиата натрия, т. е. для синтеза натровой соли муравьиной кислоты. Технические условия при заказе: газ для этой цели должен содержать 0,3—0,5% CO<sub>2</sub>, остальное — CO и N<sub>2</sub>, без водорода, метана и каких-либо смолистых паров. Генератор имел внутренний диаметр верхней части 1 000 мм, нижней части — 450 мм при толщине огнеупорной футеровки в 175 мм и изоляционной прослойке в 50 мм. Снаружи генератор заключен в железный кожух, орошаемый в средней части водой. Высота генератора полная 4 300 мм, в узкой части 1 720 мм, в конической 1 380 мм и в широкой 1 200 мм. Генератор имеет пять дутьевых сопел, расположенных по винтовой линии, и три шлаковых отверстия, закрываемых пробками на глине. Воздух для дутья проходит сперва через подогреватель, служащий одновременно для охлаждения газа, нагревается до 200° Ц и проходит через сопла в генератор. Дутье, конечно, сухое без всякого подвода пара, давление воздуха, измеренное перед подогревателем, в среднем 575 мм; давление у сопел не измерялось. Газ при выходе из генератора имеет температуру 550° Ц и давление 125—150 мм вод. ст., несет в себе довольно много пыли и подвергается очистке и охлаждению. Сперва его пропускают через теплообменный аппарат, где он охлаждается первичным воздухом, идущим в генератор, до температуры, допустимой для работы эксгаустора, за эксгаустором находятся два водяных скруббера и два скруббера с известковым молоком, где газ очищается от углекислоты. Воздушный подогреватель представляет собой трубчатку из железных труб диаметром 30 мм, длиной 1 100 мм, всего 40 трубок; воздух меняет направление при проходе через трубки: сперва он идет сверху вниз, затем снизу вверх. Аппарат снабжен пылеуловителем, но большого заноса пылью трубок не наблюдалось. За 8 мес. из строя вышли (перегорели) две трубки.

Топливом для генератора служил кокс размером 30—50 мм и менее. Гарантийная суточная производительность генератора 12 000 м<sup>3</sup>

в сутки или 500 м<sup>3</sup> в час; практически он, однако, все время работает с недогрузкой: состав газа CO<sub>2</sub> 0,5—2%; CO 30%. К коксу прибавлялся в качестве флюса в небольшом количестве, без всякого образования козлов. Наблюдалось оплавление обмуровки выше сопел. Генератор в отличие от описанного в брошюре Пинча «Die Gasgeneratoren» не имеет выдвижной тележки, и шлакоудаление производится через боковые сопла.

Как видно из вышеописанного, газификация топлива с получением жидкого шлака вполне возможна и не затруднительна при соблюдении соответствующих условий: небольшой производительности, употреблении кокса-орешка и использования теплоты воздуха для подогрева дутья. Применение жидкого шлакования для всех вообще топлив и всех целей газификации, как это было предложено в свое время многими авторами и весьма неудачно испробовано на многих заводах, в частности, на заводе им. Петровского в Днепропетровске, конечно, не рационально. Возможно, что выгодным окажется применение метода жидкого шлакоудаления для антрацитового штыба с легкоплавкой золой. Судить об этом пока еще трудно, поскольку опыты Донугля на старом заводе Гусь-Хрустальный не дали окончательных результатов.

Относительно газификации нефти данных очень немного, поскольку это случай сравнительно редкий. Газификация нефти может иметь значение при отоплении печей с регулируемым нагревом, как, например, всякого рода металлургические нагревательные печи. Регулировка количеством подаваемой нефти недостаточно удобна, так как уменьшая сечение труб, мы рискуем засорить их. Кроме того, при недостаточно высокой температуре нефть плохо сгорает с образованием сажи, которая ложится на обогреваемых предметах, давая неровную закалку. Это и было замечено в сварочном цехе Никополь-Мариупольского завода. Цех, имея в своем распоряжении нефть, производил газификацию ее самым простым способом: в газопровод, соединявший генераторы со сварочными печами, была вставлена нефте-паровая форсунка, которая через неплотность вокруг форсунки всасывала в себя некоторое количество воздуха. Этого было достаточно, чтобы нефть сгорала налету с образованием очень хорошего газа, причем количество сажи было невелико — не больше, чем ее было в каменноугольном генераторном газе. Состав газа дан в табл. 18<sup>1</sup>.

Выводами из всего вышеизложенного являются следующие положения:

1. Для получения «собственно» генераторного газа содержание летучих веществ играет малую роль.

а) Поэтому для старых установок без очистки газа следует употреблять главным образом, бессмольные топлива — коксик, антрациты АМ, АС, АО; подлежит опытной проверке вопрос о газификации антрацитовых штыбов и тощих углей, требующих применения высокого давления дутья; все это имеет особое значение для промышленности Донбасса, Кузбасса и отчасти Урала.

б) Для новых установок, где очистка газа почти всегда необходима по условиям разветвленности газопровода и малых размеров горелок,

<sup>1</sup> «Вестник металлопромышленности» № 163, 1923, стр. 4—5.

<sup>1</sup> Почти безметанистый газ получен был проф. В. К. Климовым при газификации шунгитов (см. В. К. Климов, Б. Ланян, Н. Пугачев, Хим. Тв. Топл. № 9—10, 1932).

<sup>2</sup> Все данные получены в Техническом отделе б. Центрохимтреста. О газификации сланцев с жидким шлакоудалением см. работу М. А. Поляцкина в Я. А. Ланда, сборник ВИТГЭО «За советское энергооборудование», 1934.



Таблица 18

№ проб	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	H <sub>2</sub>	Теплотворная способность кал/м <sup>3</sup>
1	4,8	0,2	5,6	11,2	32,8	1 578,9
2	4,8	0,4	8,6	17,6	7,4	1 394,0
3	2,0	0,4	6,8	16,6	15,8	1 436,0
4	2,6	0,6	8,0	19,2	14,4	1 572,0

предпочтительнее применение битуминозного топлива, с обязательным использованием побочных продуктов, особенно смолы, так как это окупает не только расходы по очистке газа, но отчасти и основные эксплуатационные расходы (зарплата персонала и стоимость топлива). Особо стоит вопрос об очистке от серы, которая дорога и сложна и которую желательно было соединить с использованием продуктов очистки, в частности, в виде элементарной серы. Вопрос этот получил уже сложную, но весьма интересную проработку, здесь мы не можем на нем остановиться<sup>1</sup>.

Современные методы очистки газа дают полную возможность получить прекрасный газ в 1 500—1 600 кал/м<sup>3</sup> из самого влажного и зольного низкосортного топлива — торфа, бурых углей, подмосковного угля и т. п.

Однако назначение битуминозных углей на газификацию вместо антрацита и сопряженный с этим отбор побочных продуктов должны быть обусловлены тщательной проработкой и подготовкой как конструктивной, так и эксплуатационной стороны процесса; без этого замена антрацита может повлечь серьезные нарушения производства газа.

2. При установках с очисткой газа следует обязательно прорабатывать вопрос об использовании смолы как топлива для котлов, для двигателей типа дизеля или же для переработки на разного рода химические продукты на специальных заводах, если таковые имеются поблизости.

3. При проектировании центральных генераторных станций для углей мало влажных или мало смолистых следует прежде всего выяснить характер потребителей и тип газопровода для возможности выявить целесообразность применения горячего или холодного газа.

4. Что касается собственно процесса газификации, то таковой ведется, как правило, с паровоздушным дутьем от вентилятора при температуре насыщения около 55—70°, что приблизительно отвечает расходу пара от 200 до 300 г/кг кокса или полукокса. Давление дутья по опыту стеклозавода в Гусь-Хрустальном, Часов-Ярского завода и др., а также данных заграничной практики колеблется от 60—70 до 250 мм вод. ст. в зависимости от шлакуемости, спекаемости и содержания пыли. Для расчета следует полагать давление равным не ме-

<sup>1</sup> О способах очистки газа от сернистых соединений см. у Gluud «Handbuch der Kokerei» (есть русский перевод), у Г. О. Нусинова «Очистка технических газов от серы» (под ред. проф. В. С. Швецова), у Мулержа «Сера в угле», перевод под ред. Н. М. Караваева, 1932, и у Тренклера «Газогенераторы», где имеются указания на журнальную литературу. Ред.

нее 300 мм вод. ст., соответственно с этим высоту водяного поддона генератора следует брать около 500 мм. Во всяком случае это давление должно быть достаточным, чтобы держать под давлением весь трубопровод до входа в печь (до перекидного клапана и т. д.) в установках с горячим ходом без отсасывания и весь трубопровод и аппаратуру (холодильники, скруббера и т. д.) до высасывающего газового эксгаустора для установок с охлаждением и отсасыванием газа<sup>1</sup>.

5. Генераторы на жидком шлаке могут работать только на коксе или антраците, давая газ для специальных целей — для примеси к доменному газу или для химпромышленности как сырье. Для Донбасса могло быть интересным применение антрацитовых штыбов, и в этом отношении желательно продолжать опыты, производившиеся Донуглем в 1925 г. на Гусь-Хрустальном. Следует впрочем заметить, что этот вопрос сейчас с применением штыба на мощных электроцентралях, работающих на пылевидном топливе, уже потерял свою остроту.

6. Применение водяного охлаждения шахты генератора, как правило, чрезвычайно облегчает процесс. Газификация легко шлакующегося челябинского угля на генераторе Гильгера с водяным охлаждением на Карабашском медеплавильном заводе и газификации торфа на стеклозаводе в Гусь-Хрустальном на генераторах AVG с паровым охлаждением протекают без всяких затруднений в отношении плавления шлаков и припекания их к стенкам шахты, наблюдающихся на всех конструкциях с шамотной обмуровкой (Пинча, Ленгерсдорфа, Вельмана, Петтера и т. д.). Передовые германские фирмы, как AVG, также переходят на водяное охлаждение. Вода из водяной рубашки может быть использована для парообразования, так что потеря с охлаждающей водой отпадает. Разные фирмы — Дейц, AVG, Керпели и т. д. — по-разному конструктивно решают вопрос, но в принципе он ясен. Невыясненным является пока вопрос о качестве воды и влиянии накипи, но и это может быть устранено продувкой. Применение системы AVG с высоко поднятым барабанным паросборником и замкнутой системой труб обеспечивает циркуляцию воды и предохраняет паровую рубашку от перегрева<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> В Гусь-Хрустальном давление в трубопроводе сырого газа держится около 5 мм вод. ст.; путем специальных сигнальных трубопроводов коллектор сырого газа связан с регуляторами давления на трубопроводах воздушном и очищенного газа, что и поддерживает давление постоянным.

<sup>2</sup> Мы здесь не касаемся очень важного способа газификации — получения двойного водяного газа, имеющего большое значение для отопления некоторых технологических агрегатов. Этот метод должен получить у нас серьезное промышленное значение, несмотря на сравнительную дороговизну основного оборудования (см., например, проект генератора двойного водяного газа на торфу ишж. А. Б. Чернышева, осуществляемый на Ижорском заводе). Монография J. Gwosdz «Двойной водяной газ» выходит в ближайшее время в русском издании (под ред. проф. В. П. Федорова).



### ЧАСТЬ III

## СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

### 1. КРАТКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ<sup>1</sup>

Первым производственным генератором, официально носившим это название, можно считать генератор Сименса, существующий и поныне во многих разновидностях. Генератор этот сохранил в себе черты обычной полугазовой топки — кирпичная шахта прямоугольного сечения без железного кожуха, только стянутая обычным балочным каркасом, с решеткой из обыкновенных чугуновых колосников и поддувалом, приспособленным, главным образом, для естественной тяги. Размеры шахты, расположение колосников и т. д. бывают различны в зависимости от сорта и размера топлива, потребной производительности и других условий.

Горизонтальные и наклонные колосники дают большие провалы, особенно во время чистки. Ступенчатые колосники довольно хорошо предохраняют от провала, но стоят дороже. С другой стороны, более крупный уголь требует более высокого слоя газификации, получаемого при отводе газа из верхней части шахты, т. е. без разложения летучих веществ; наоборот, более мелкий уголь требует более тонкого слоя газификации, который получается при нижнем отводе газа, т. е. с разложением летучих. Для этого шахта снабжается особой перевальной стенкой-перегородкой, не доходящей до низа. Таким образом горизонтальные колосники и по смыслу процесса и конструктивно лучше увязываются с верхним отводом газа, а ступенчатые — с нижним отводом. Впрочем, далеко не всегда это соблюдается. Кроме того, очень часто применяют и ступенчатые и горизонтальные колосники, последние играют роль шлаковых колосников для дожигания шлаков.

Живое сечение и число колосников рассчитываются в зависимости от нагрузки решетки, свойств топлива и шлаков и т. д. При этом следует, однако, помнить, что в генераторах Сименса и не стремились к выжиганию остаточного углерода в шлаке, как это имело место в последующих конструкциях. Как правило, выгорание всего получающегося в зоне газификации кокса или древесного угля идет медленно и не успевает закончиться за время от чистки до чистки. Это явление имеет место и в полугазовых топках и тем более в генераторах, где

слой топлива выше, т. е. сопротивление слоя больше, а тяга меньше, поскольку генераторы при мартеновских, стекольных, прокатных и тому подобных печах работают только своим статическим напором, обыкновенно небольшим, и еще должны преодолевать сопротивление газовых каналов, обыкновенно достаточно засоренных смолой и сажей. С другой стороны, поскольку генератор вышел из габарита печи и отодвинулся от нее на некоторое расстояние и единый прежде процесс сгорания топлива резко разделился на два самостоятельных процесса — газификацию и сжигание газа в печи, то естественно, что процесс газификации старались вести с получением газа наилучшего качества, чтобы возместить неизбежную потерю на охлаждение газа в каналах. При отсутствии в то время каких-либо измерительных приборов единственным критерием качества газа служил его цвет, имевший разные оттенки — от бело-желтоватого до темнокоричневого и почти черного, в зависимости от хода процесса. Бледность цвета газа являлась признаком прогаров и ухудшения качества газа; в этом случае надлежало давать свежее топливо, для которого требовалось освободить место. Поэтому приходилось чистить решетку, удаляя шлак и одновременно и углеродистый остаток — древесный уголь или кокс, которые, как выше уже сказано, не дают видимого газа. В связи с этим большое содержание негоревшего углерода в золе являлось вовсе не случайным и логически вытекало из метода контроля. При дровах, где выход летучих веществ составляет до 75% от веса дров, древесный уголь пористый и легко горит, золы мало и она не шлакуется, — это еще не имело особенного значения, давая потерю в 1—5% от веса топлива<sup>1</sup>. Но при каменном угле, где выход летучих — 30—35%, кокс горит медленно и золы образуется много, причем она часто дает легкоплавкий шлак, все это вызывало потерю топлива 18—30% и выше и частые чистки решетки, связанные с нарушением режима работы генераторов<sup>2</sup>. Для борьбы с этим в каменноугольных генераторах ввели применение воздушного, а затем и паро-воздушного дутья. Последнее — для предотвращения шлакования и обогащения газа водородом. Там, где пара не было или подавать его было неудобно, применяли различные способы насыщения воздуха парами воды — наливали воду в поддувало, для чего иногда ставили на под зольника железный ящик (ванну) с водой. Иногда проводили воздух через чугуновую коробку, расположенную под колосниками, и впрыскивали в нее воду, которая, падая на раскаленный чугун, испарялась, и пары воды примешивались к воздуху. Содержание пара в паро-воздушном дутье контролируется по температуре паро-воздушной смеси, которой соответствует определенное содержание насыщенного пара. В случае ненасыщенного пара его содержание можно подсчитать по количеству воздуха, давлению пара и температуре смеси. Для каменных углей температура смеси держится около 50—60° Ц. Производительность генераторов при этом сильно возросла: если без дутья можно было сжигать около 40—50 кг/м<sup>2</sup> в час, то с дутьем можно сжигать до 90—100 кг/м<sup>2</sup> в час, что при пло-

<sup>1</sup> Проф. В. П. Федоров, «Тепловой баланс стекловаренной печи», «Известия Всесоюзного теплотехнического института», № 4 (6), 1925.

<sup>2</sup> А. Г. Членов, Рациональное использование топлива в генераторах, «Тепло и сила» № 2, 1930.

<sup>1</sup> Подробнее см. у Тренклера «Газогенераторы», перевод и переработка Н. Н. Лазарева, Энергоиздат, 1933 г.



щади колосников в горизонтальной проекции около  $3 \text{ м}^2$  дает производительность  $3 \cdot 100 \cdot 24 = 7200 \text{ кг}$  в сутки вместо прежних 2—3 т. Однако в условиях обычной эксплуатации часто недостаточно наблюдают за поддержанием необходимого количества воды в поддувале. При сухом же дутье колосники часто сгорают, гнутся и плавятся, особенно в условиях ручной чистки, когда трудно сохранить золовую подушку и зона горения опускается на колосники.

Очистка колосников производится, как и при обычной шахтной топке, с помощью длинных ломов и резаков, которыми разбивают комья шлака и кокса, и гребков для выгребания разбитых кусков из зольника. Шлак и кокс тут же заливаются водой так же, как и при обыкновенной топке.

Колосники горизонтальные и наклонные опираются на двутавровые балки или трубы с водяным охлаждением. Ступенчатые колосники вставляются в специальные пластины (тетивы), в свою очередь опирающиеся на балки или чугунные коробки с воздушным или водяным охлаждением, пропущенные сквозь стенки шахты.

В последнее время предложены конструкции наклонных зубчатых дутьевых колосников с малыми прозорами для мелкого топлива. Применяются также колосники Вильтона с мелкими дырами; они удобнее простых плитчатых колосников, поскольку впадины (треугольные) между колосниками дают возможность удобно подрывать шлак.

Непрерывной принадлежностью всякой шахтной топки является чугунная гляделка конической формы, которая позволяет обзирать поверхность слоя топлива и шуровать его сверху, т. е. длинным ломом разбивать спекшиеся куски угля и выравнивать слой.

Загрузочные отверстия, поддувальные дверцы и т. п. такие же, как и при обычных шахтных топках. Загрузочные воронки представляют собой чугунные коробки прямоугольного или круглого сечения обычно с двойным затвором в виде колокола или в виде плоских заслонок. Но при этом в отличие от котельных шахтных топок, работающих под разрежением, газогенераторы имеют наверху над слоем некоторое давление: при самодувных генераторах 2—3 мм вод. ст., а при дутьевых генераторах — до 10—15 мм. Поэтому загрузочные воронки снабжаются еще гидравлическими затворами во избежание утечки газа. Однако практически все эти предосторожности мало помогают, так как герметичности здесь добиться трудно, тем более, что при частых прогарах нижние заслонки, попадая под действие горящих газов, коробятся и гнутся. Поэтому при всякой загрузке свежего топлива из загрузочной воронки обычно вырываются клубы газа, несмотря на двойной затвор<sup>1</sup>.

Что касается результатов работы на газогенераторах Сименса, то они весьма разнообразны в зависимости от сорта и свойств топлива, размеров его кусков, от напряжения решетки, от давления дутья или силы тяги, от геометрических соотношений шахты и газовых вылетов, от наклона колосников, наконец, от тщательности работы обслуживающего персонала, поскольку генератор основан на ручной работе.

Для характеристики диапазона колебаний можно привести резуль-

<sup>1</sup> Подробнее о конструкциях затворов см. у В. Е. Грум-Гржимайло. Пламенные печи, т. III и IV и у Тренклера. Газогенераторы. Ред.

таты испытаний двух генераторов Сименса — дровяного при листопркатных печах Кулебакского и Воткинского заводов и каменноугольного — при мартенах завода им. Петровского в Днепропетровске (табл. 19).

Газогенераторы Сименса в свое время сыграли огромную роль в развитии газовых печей металлургической и стекольной промышленности. В настоящее время они могут быть рекомендованы для установок небольшой мощности с применением дров или малозольного торфа или в виде полугазовых топок или же в виде отдельных генераторов, поставленных вблизи печи и соединенных с ней коротким по возможности прямым газоотводом во избежание засорения (фиг. 6).

При кусковом антраците и особенно коксовом орехе возможно применение их в качестве агрегатов центральной станции без газоочистки.

Опыт Константиновского цинкового завода показал, что длинные, но чистые газоотводы при небольших скоростях газа — около 2—3 м/сек, — дают очень небольшое сопротивление порядка нескольких миллиметров водяного столба. Поэтому для проведения через них газа достаточно того небольшого дутья — около 30—50 мм водяного столба, которое дается под колосники генератора Сименса без опасения утечки газа. Такой случай может, например, иметь место в огнеупорном цеху металлургического завода для отопления нескольких небольших газовых печей для обжига кирпича, для подогрева подов в печах Герсгоффа для обжига сернистых руд и т. д.

Для каменных углей генераторов Сименса применять не следует, так как сильного дутья в них давать нельзя и поэтому нельзя хорошо выжечь кокс. Кроме того, спекаемость угля, перегорание колосников, шлакование и трудность чистки вызывают плохую работу их даже в качестве полугазовых топок, где не так важно качество газа.

Таблица 19

А. Кулебакский завод

Генератор Сименса без дутья

Приход тепла		Расход тепла	
Теплопроизводительность дров 100%		Теплопроизводительность газа . . . . .	74,10%
Состав газа в %:		Теплопроизводительность смолы . . . . .	8,24 „
CO <sub>2</sub>	7,60	Физическое тепло газа . .	12,16 „
CO	19,44	Потеря в провале . . . . .	2,29 „
CH <sub>4</sub>	2,80	Потеря на лучеиспускание	3,21 „
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	0,79		
H <sub>2</sub>	11,00		
O <sub>2</sub>	0,75		
N <sub>2</sub>	57,10		
Теплотворная способность 1115 кал/м <sup>3</sup>			
Температура газа 200° Ц			
Содержание углерода в золе; 39,0%			



**Б. Воткинский завод**

Генератор Сименса без дутья

Теплопроизводительность дров 100%	Теплопроизводительность сухого газа . . . . .	66,70%
Состав газа в %:	Теплопроизводительность смолы . . . . .	16,15 „
CO <sub>2</sub> 4,8 — 11,0	Тепло водяного пара . . .	0,78 „
CO 31,3 — 17,2	Физическое тепло газа . .	4,23 „
CH <sub>4</sub> 4,5 — 2,7	Потеря в золе . . . . .	3,44 „
H <sub>2</sub> 6,7 — 10,2	Потеря на лучеиспускание	8,70 „
O <sub>2</sub> 0,1 — 0,5		
N <sub>2</sub> 53,7 — 58,4		

Теплотворная способн. 1498 — 1017 кал/м<sup>3</sup>

Содержание С в золе 35 до 80%<sup>1</sup>

**В. Завод им. Дзержинского в Днепропетровске**

Генератор Сименса с дутьем

Теплопроизводительность газового угля . . . . . 100%	Теплопроизводительность газа и смолы . . . . .	67,9%
Состав газа в %:	Физическое тепло газа . . .	13,9%
CO <sub>2</sub> — 7,80		
CO — 17,30		
CH <sub>4</sub> — 3,15		
H <sub>2</sub> — 10,35		
O <sub>2</sub> — 0,00		
N <sub>2</sub> — 61,40		

Итого . . . 100

Температура газа 720°

Теплопроизводительность газа 1060 кал/м<sup>3</sup>

Содержание С в золе 28,0%

**Г. Завод им. Петровского**

Генератор Моргана

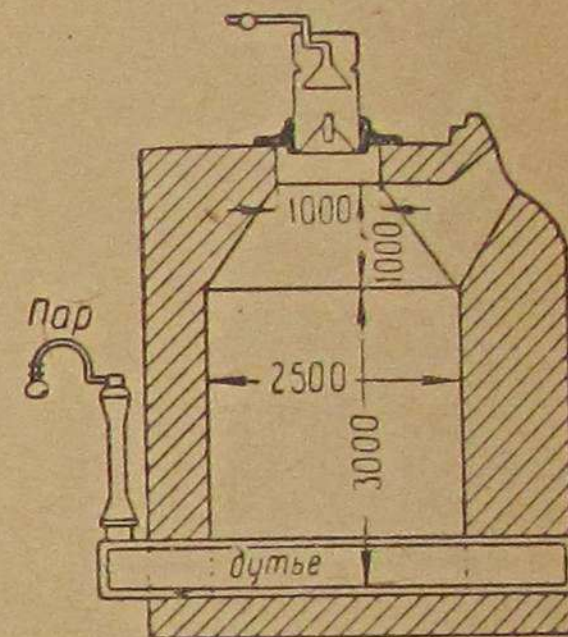
Приход тепла	Расход тепла
Теплопроизводительность газового угля . . . . . 100%	Теплопроизводительность газа 49,1%
Состав газа в %:	Физическое тепло газа . . . . . 14,2%
CO <sub>2</sub> 10,30	Тепло в смоле и пыли . . . . . 11,6%
CO 14,90	Потеря углерода в золе . . . . . 18,3%
CH <sub>4</sub> 1,70	Потеря с охлаждающей водой . 1,6%
H <sub>2</sub> 12,00	Лучеиспускание и пр. . . . . 4,7%
O <sub>2</sub> 0,00	
N <sub>2</sub> 61,10	Итого . . . . . 100%

Теплотворная способность газа . . . . . 860 кал/м<sup>3</sup>

Содержание углерода в золе . . . . . 50%

<sup>1</sup> Часть углерода в провале выгорает уже на ходу поддувала; в выборе из решетки содержание углерода доходит до 90%.

С увеличением мощности печных установок естественно должна была повыситься производительность газогенераторов. Это могло быть достигнуто с помощью увеличения их размеров, т. е. площади колосниковой решетки, а также применением дутья. Последнее особенно необходимо при каменном угле, как мы это уже видели раньше. Однако в скором времени выяснилось, что генераторы Сименса мало удовлетворяют этому требованию, так как увеличение размеров ограничено возможностью достаточно удобной очистки колосниковой решетки, которую затруднительно очищать от шлака уже при глубине более 1,2—1,5 м в горизонтальной проекции. Дутье также плохо увязывается с формой генератора Сименса, так как распределение его получается не вполне равномерное. В связи с этим, появляются новые типы газогенераторов, например, системы Вильсона, работающих до настоящего времени на старом бутылочном и зеркальном заводе в Константиновке (фиг. 7). Эти газогенераторы представляют собой кирпичную шахту прямоугольного сечения, наглухо замурованную. В середине пода находятся каналы из огнеупорного кирпича с рядом отверстий. В каналы подводится при помощи инжектора паро-воздушная смесь, которая более или менее равномерно распределяется по сечению шахты. Этот газогенератор работает с переменной высотой слоя топлива, так как шлак из него не убирается и постепенно высота слоя доходит до таких пределов, при которых газификация становится невозможной. После этого генератор останавливается, выбивается кирпичное заполнение в нижней арке, зола и негоревший уголь удаляются и генератор чистится. Затем его вновь разжигают и т. д. Производительность таких генераторов составляла по данным Константиновских заводов до 3—4 т донецкого газового или длиннопламенного угля. Однако в скором времени эти газогенераторы были вытеснены более мощными и более рационально устроенными газогенераторами, приближающимися к современным аппаратам. Генератор Вильсона обладал сравнительно небольшими размерами — меньше 2 м в стороне квадрата, требовал периодической продолжительности остановки для очистки и новой зарядки, давал газ переменного качества, так как естественно, что с увеличением высоты шлаковой подушки и уменьшением высоты зоны активной газификации качество газа ухудшалось.

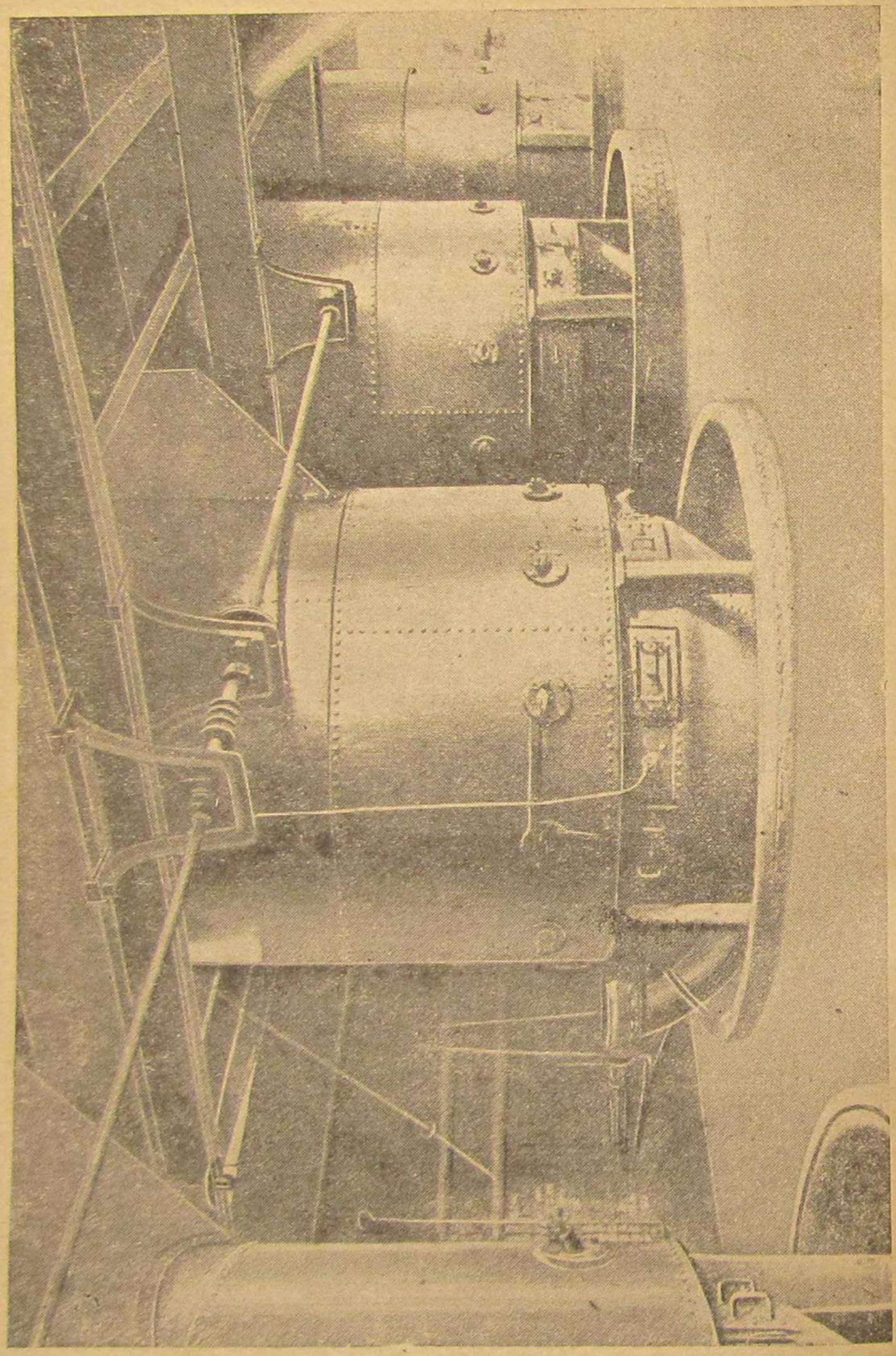


Фиг. 7. Генератор Вильсона (Константиновский стеклозавод).

Представителем нового типа газогенераторов можно считать газогенератор ДUFFа и особенно Моргана, в котором уже имеются важнейшие отличительные черты современных газогенераторов (фиг. 8). Требование равномерного распределения дутья по всему сечению газогенератора приводило к круглой форме генератора. Круглая форма для своей герметичности и прочности требовала металлического обхвата. Так появился железный кожух вокруг шамотной шахты. При

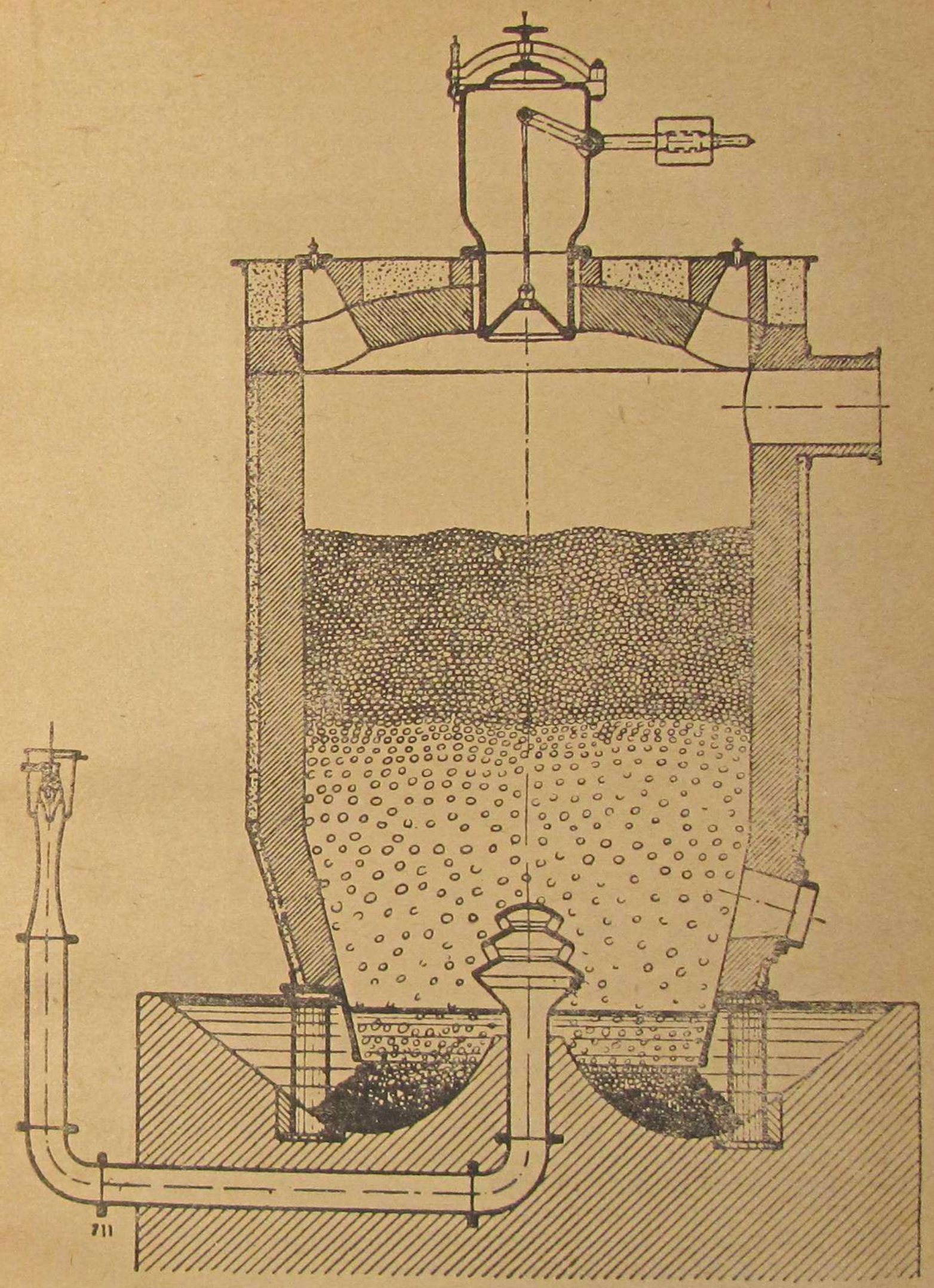


удалении золы ранее приходилось бы выключать дутье и тем самым почти прекращать выработку газа. Поэтому стремились найти такую



Фиг. 8. Генератор системы Моргана с неподвижным поддоном (фирма Хуг-Реггер.)

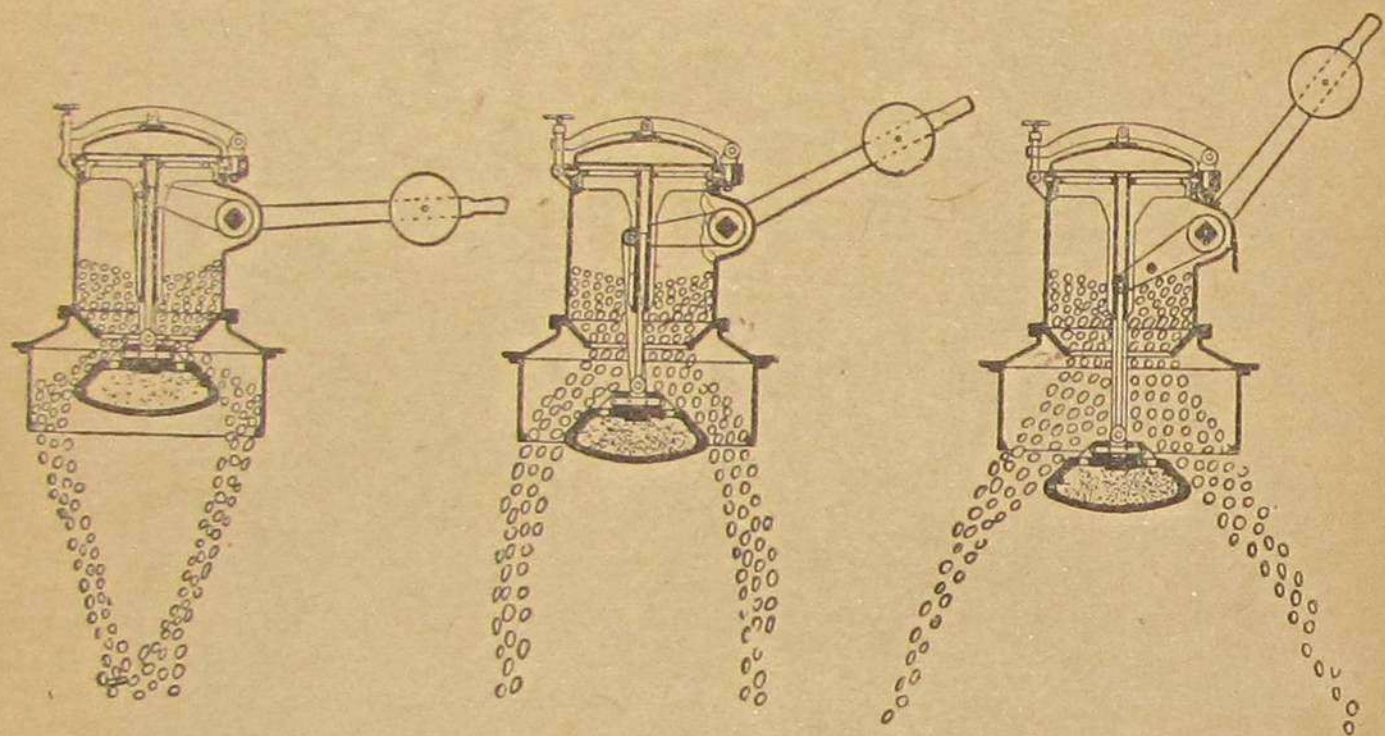
конструкцию, при которой золоудаление могло производиться без выключения дутья. Такая конструкция была найдена в виде замены



Фиг. 9. Генератор Моргана с паронжекторным дутьем.



прежнего шамотного пода генератора чугуной чашей с водой, в которую опущена шахта газогенератора. Вода, наливаемая в чашу, образует в кольцевом пространстве между погруженным в нее нижним концом шахты и стенками золовой чаши гидравлический затвор, сопротивление которого больше нормального давления дутья, обычно и теперь не превышающего 200—250 м. Благодаря этому представляется возможность чистить генератор на ходу, нагребая золу из чаши при помощи лопат, совков и тому подобных инструментов. Зола, находящаяся за стенками шахты под действием столба топлива, постепенно сползает на края чаши, проползая под стенками шахты. Выборание золы производят обычно также при помощи специальных крючков или ломов, так как часто зола плавится, образует так называемые мосты и своды, опирающиеся на внутренние стенки шахты и т. п. С этой целью в стенке шахты устраиваются специальные шуровочные



Фиг. 10. Колокольный загрузочный аппарат системы Бамаг с различными положениями клапана.

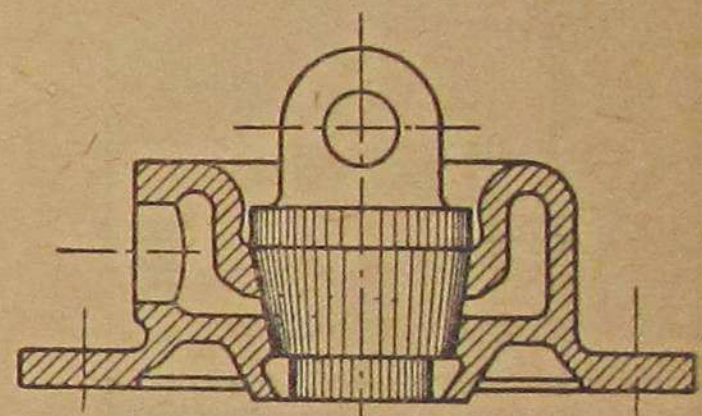
отверстия, через которые можно снизу разбивать шлаковые комья и сталкивать их на дно и края чаши (фиг. 9).

Поскольку в этой конструкции уничтожено кирпичное основание шахты, шахту подвешивают при помощи специальных чугуных лап или колонн, к которым приклепывают кожух газогенератора. Таким образом кожух становится главной несущей частью газогенератора, воспринимающей давление распора от слоя топлива, а также вес крышки и засыпного устройства. Благодаря этому отпала необходимость устраивать толстые кирпичные стены в 2—2,5 кирпича, заменяя их только огнеупорной изоляцией в один кирпич. В последних конструкциях применяется футеровка в половину огнеупорного кирпича, причем между кирпичом и железным кожухом кладется изолирующая прокладка в 50—80 мм толщиной (например из шамотной муки). Таким образом от кирпичной шахты, слегка стянутой железными связями, перешли к металлической конструкции, только футерованной огнеупорным кирпичом.

Для большего удобства обслуживания и достижения необходимой герметичности верхняя часть газогенератора тоже претерпела измене-

ния. Обычно она состоит из железной или чугуной крышки, футерованной изнутри огнеупорным кирпичом в виде свода. На ней монтируется при помощи болтов засыпное устройство, состоящее из железного или чугуного цилиндра с двойным затвором. Верхний затвор представляет собой чугуную крышку, поворачивающуюся на шарнирной оси и прижимающуюся к цилиндру при помощи противовеса. Нижний затвор обычно представляет собой чугуный конусный колокол, подвешанный на вертикальной оси и прижимаемый к седлу клапана также при помощи другого противовеса. Поднимая противовес наверх, мы заставляем колокол спускаться вниз и, в зависимости от степени опускания колокола, топливо падает в середину или к стенкам шахты. Для того чтобы колокол не качался и не уклонялся от вертикальной оси, он ходит в специальных направляющих (затвор системы Бамаг, см. фиг. 10).

На крышке газогенератора монтируются также чугуные гляделки, служащие одновременно для вертикальной шуровки при помощи железного лома, которым разбивают спекшиеся куски угля и прилипшие к стенкам шлаки. В последнее время с повышением рабочего давления в газогенераторах шуровочные отверстия стали снабжать специальными паровыми или воздушными завесами, затрудняющими выход газа из генератора при открывании этих отверстий (фиг. 11).



Фиг. 11. Шуровочный затвор с воздушной завесой.

Железный клепанный футерованный изнутри газоход, присоединенный к верхней части шахты, служит для отвода вырабатываемого газа.

В основном мы встречаем здесь почти все характерные черты современного газогенератора.

Газогенераторы Моргана нашли значительное применение в Европе и США. У нас они уже до войны применялись на больших металлургических заводах Юга, работавших на донецком топливе. В частности, такие газогенераторы установлены на заводе им. Петровского в Днепропетровске для обслуживания мартеновских печей<sup>1</sup>. На Нижнесалдинском заводе (Урал) они работают в прокатном цеху на кизеловских углях.

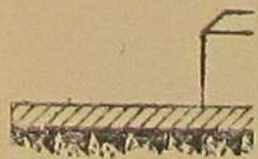
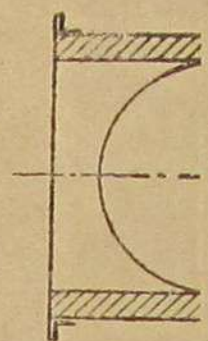
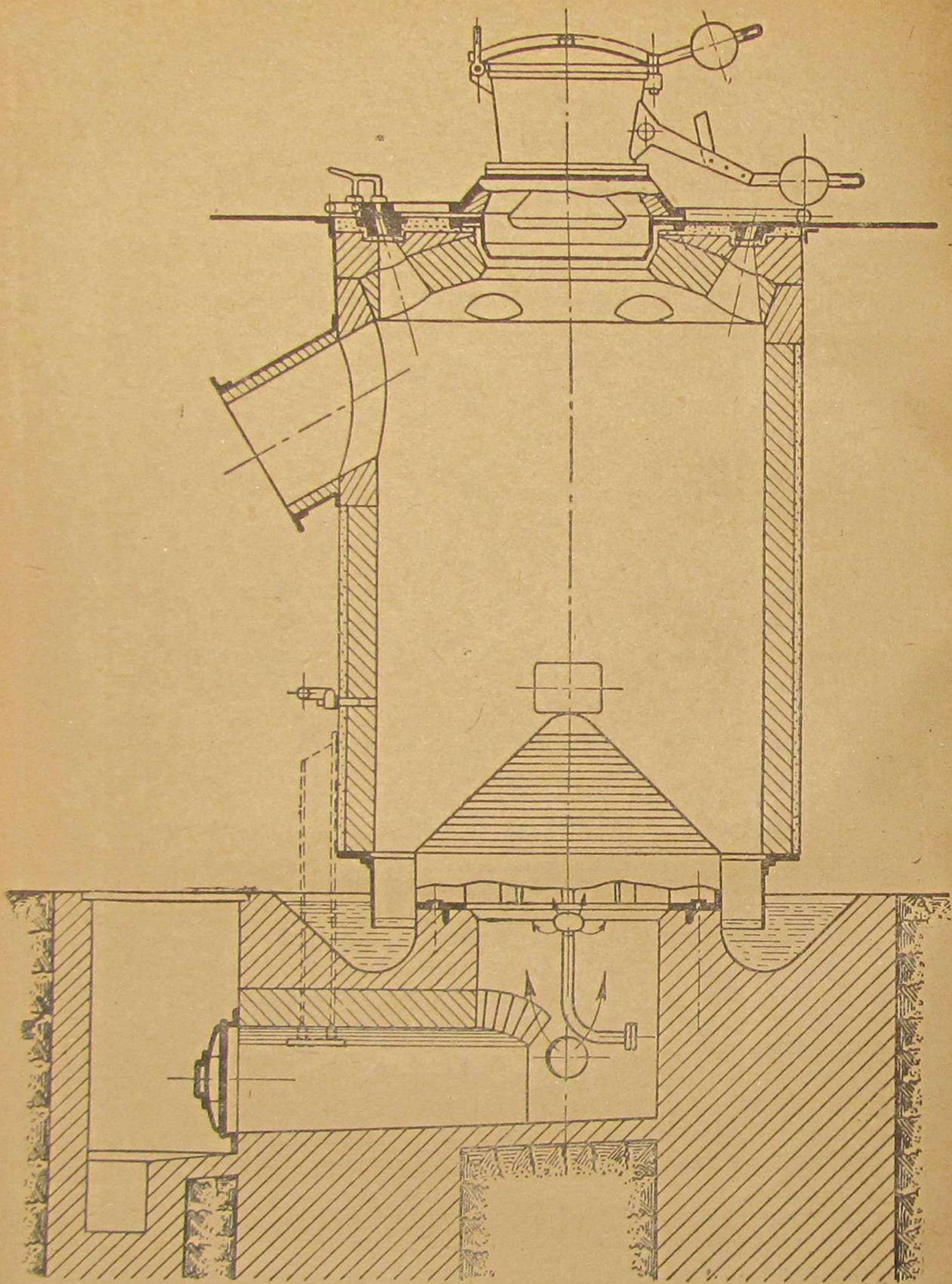
Производительность таких газогенераторов может быть весьма велика. По данным инж. Коюда<sup>2</sup> производительность их составляла почти 18 т каменного угля при диаметре 2,6 м, правда, при очень плохом качестве газа. Фирма Тиссен изготовляет эти газогенераторы до 3 м в диаметре с производительностью 10—12 т в сутки, причем, однако, фирма указывает, что при такой производительности на каменном угле ход их легко расстраивается.

Следует еще упомянуть о колосниковой решетке этих газогенераторов или вернее о той форме, которую она приняла. В первых конструк-

<sup>1</sup> См. журнал «Уголь и железо» № 6—7 за 1927 г., статья инженеров Коюда и Топерверх «Газогенераторное хозяйство металлургического завода».

<sup>2</sup> «Уголь и железо» № 8 и 9, 1927.

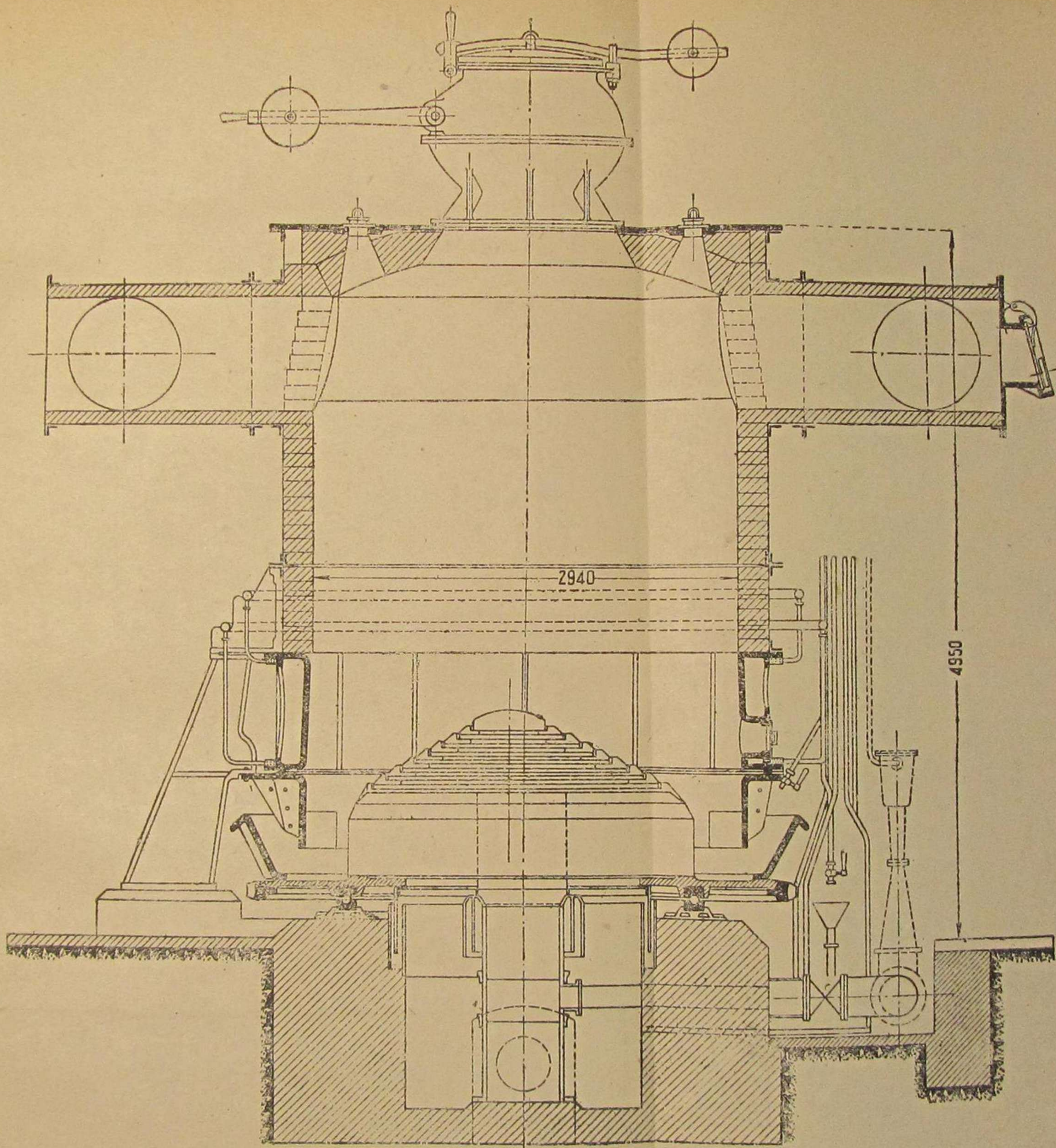




Фиг. 12. Газогенератор фирмы Юлиус Пинч (круглорешеточный).

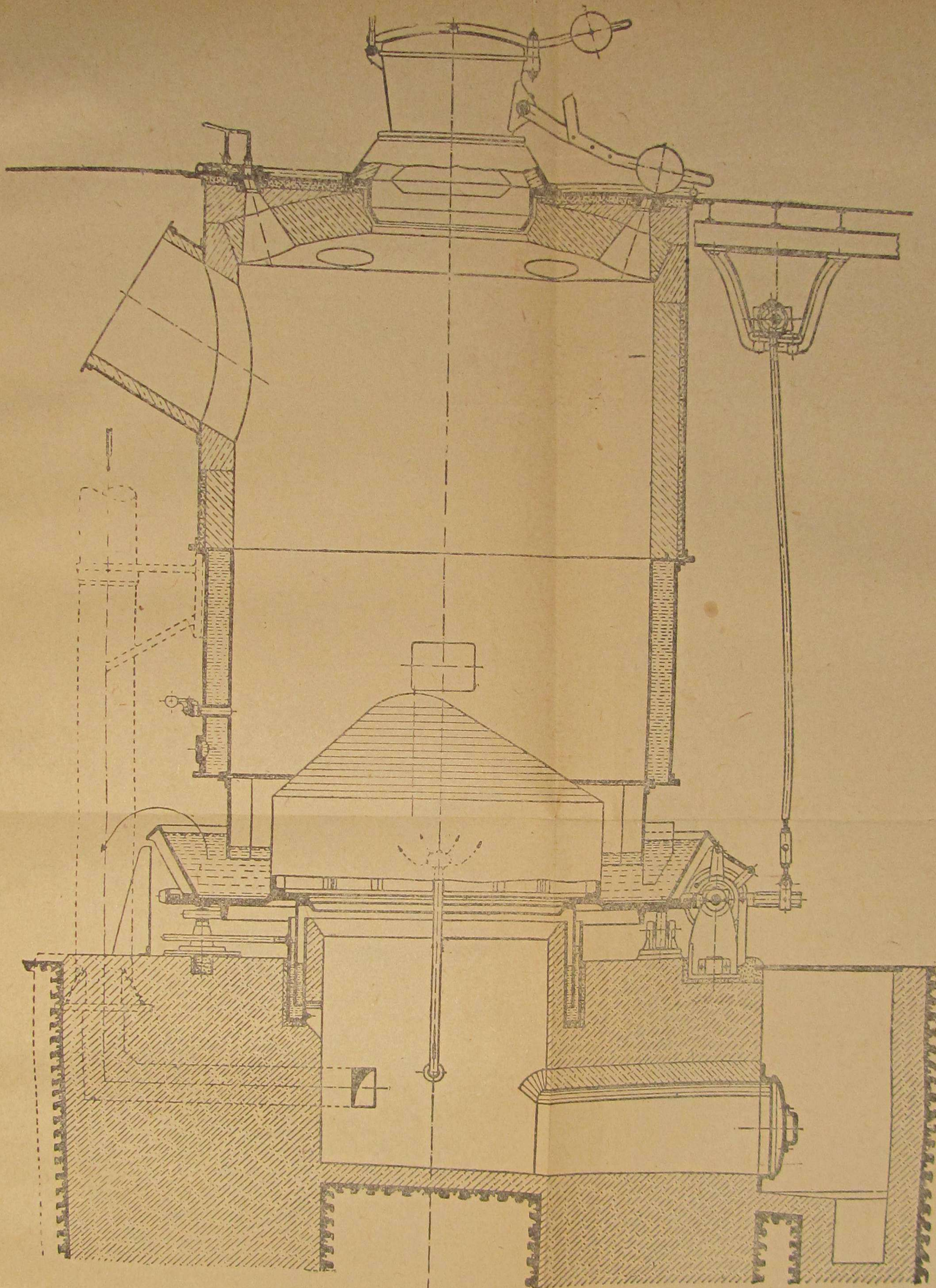
дшеле-  
 больше  
 выше-  
 тиц по  
 из-под  
 е шла-  
 щается.  
 отно-





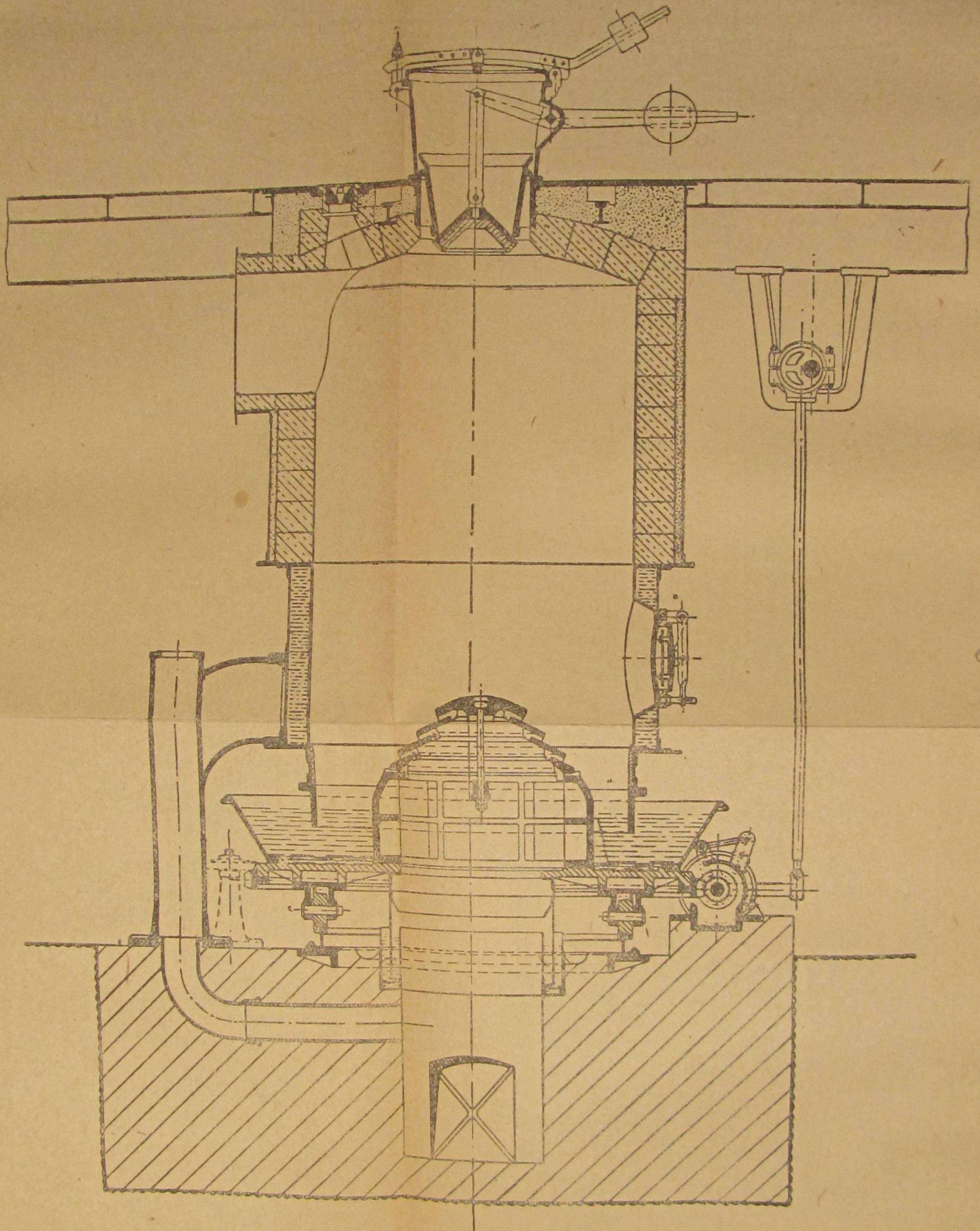
Фиг. 13. Газогенератор Керпели Краматорского завода.





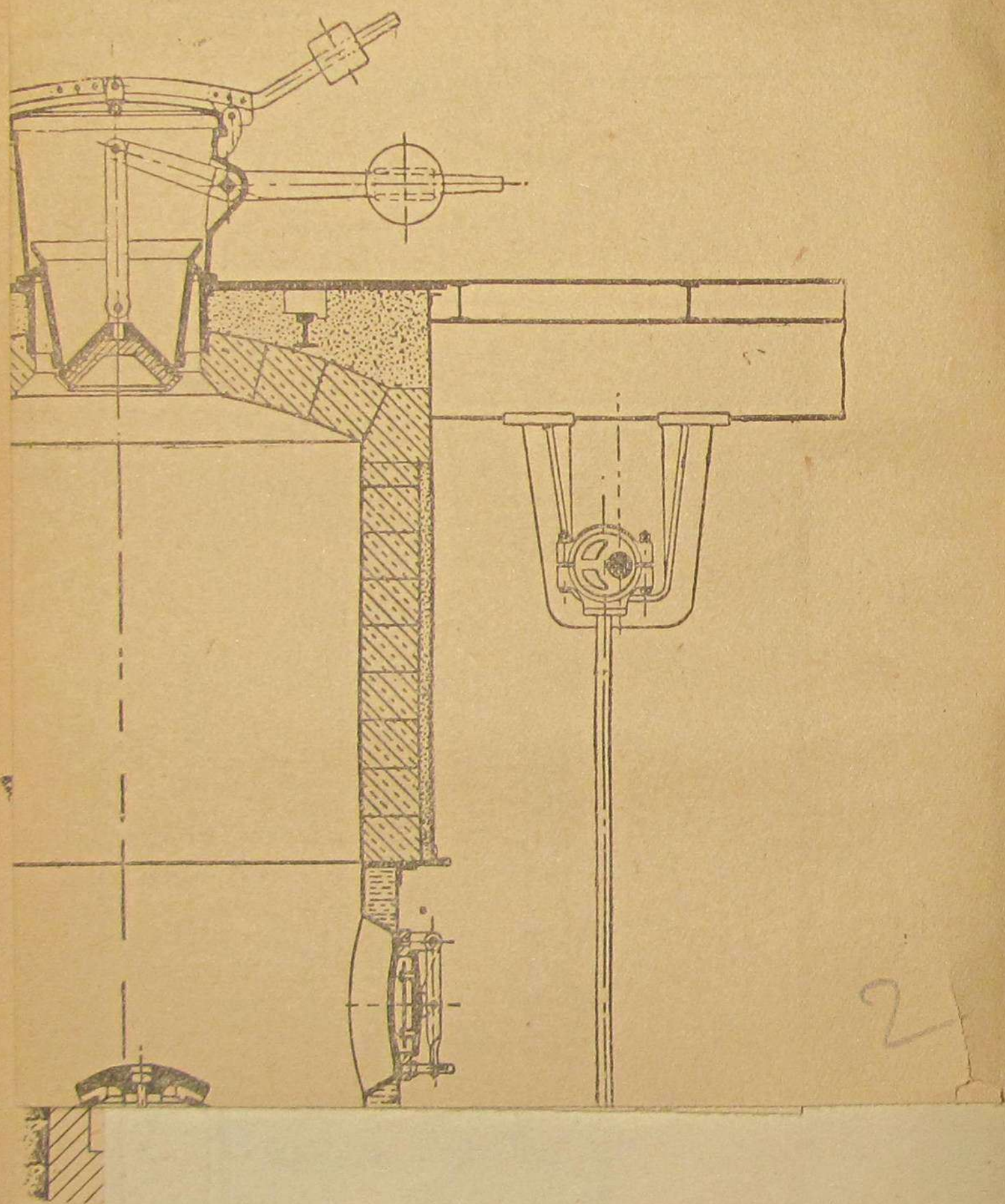
Фиг. 14. Генератор Пинч с вращающейся решеткой и водяной рубашкой.





Фиг. 15. Газогенератор Тиссена с водяным охлаждением шахты.





циях Моргана и ДUFFа мы имеем просто трубу, выведенную на некоторую высоту над чашей в середине шахты. На трубу надет чугунный или стальной чепец, предохраняющий ее от засыпания мелкой шлаковой пылью. Позднее этот чепец стал двухступенчатым и даже четырехступенчатым, очевидно для более равномерного распределения воздуха. Несколько иначе разрешила этот вопрос фирма Юлиус Пинч в своей конструкции круглорешеточного газогенератора (Rundrost) (фиг. 12). Здесь мы видим многоступенчатую чугунную решетку, состоящую из нескольких конусных колец, вставленных одно в другое. Решетка эта имеет значительно больший диаметр, чем чепец Моргана или ДUFFа, и является прототипом современной вращающейся решетки Пинча.

Однако скоро обнаружилось, что при сравнительно большом диаметре шахты — свыше 2 м — распределение дутья из центра по периферии является недостаточно равномерным. Поэтому ввели еще добавочное дутье в виде отдельных сопел по окружности газогенератора. Это в значительной мере себя оправдало и применяется сейчас в некоторых конструкциях.

Однако по мере повышения цен на топливо и рабсилу, а также с увеличением требований на необходимую стабильность состава газа эти газогенераторы перестали удовлетворять производителей. Ручное золоудаление требовало большой и часто весьма тягостной работы, особенно при легкоплавкой золе, которая образовывала большие куски, затем арки и своды, разбивать которые было весьма трудно. Кроме того, разрушение такого свода всегда вызывало сильную осадку слоя топлива и тем самым перепутывало все зоны и нарушало ход газогенератора. Применение же низкосортного многозольного топлива, в частности бурых углей, требовало почти непрерывного золоудаления и делало работу почти невозможной. Отсюда возникла мысль об устройстве непрерывного и равномерного золоудаления, которое и было осуществлено при помощи вращающихся колосниковых решеток.

## 2. СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВРАЩАЮЩИХСЯ РЕШЕТОК

Первым изобретателем вращающихся решеток был Керпели, который в 1903 г. испытал свой газогенератор на австрийских бурых углях. Газогенератор Керпели открыл новую современную эпоху в газогенераторостроении, и большинство существующих конструкций представляет собой развитие этого типа генератора. Генератор Керпели в исполнении Краматорского завода изображен на фиг. 13. Газогенератор типа Пинча, весьма похожий на Керпели, изображен на фиг. 14.

Преимущества работы с вращающейся решеткой заключаются в следующем:

При вращении чаши слой шлака, лежащий на ней, захватывается силой трения и, вращаясь, в свою очередь увлекает за собой вышележащий слой топлива. Очевидно, что эта сила вращения будет больше для частиц, лежащих непосредственно на дне чаши, чем для вышележащих, т. е. получается относительное смещение нижних частиц по сравнению с верхними. Нижние частицы как бы выскальзывают из-под верхних. Благодаря этому происходит известное переламывание шлаков, и опасность образования больших слившихся масс уменьшается. Кроме того, весь столб топлива получает некоторое смещение в отно-



шении неподвижных стенок шахты и благодаря этому не может сильно припекаться к ним.

Но такое простое смещение слоев все же недостаточно; поэтому при шлакующем топливе решетке газогенератора обычно придают так называемый эксцентриситет, т. е. геометрический центр решетки или только ее верхней части не совпадает с геометрической осью шахты и чаши. В этом случае при вращении чаши решетка оказывает воздействие по окружности, диаметр которой больше диаметра самой решетки. При этом решетка сдавливает шлак, лежащий в чаше, и сдвигает его по направлению к краям чаши по некоторой спирали; крупные куски шлака решеткой легко разбиваются, и таким образом предупреждается сильное шлакование.

Под нажимом решетки шлак движется по некоторой спирали от центра к периферии и проползает под стенками шахты, погруженными в воду, в наружный кольцевой желоб чаши (между стенками чаши и шахты). Здесь, продолжая вращаться вместе с чашей, он встречает наклонный железный сошник, так называемый шлаковый нож, которым и выбрасывается за борт обычно по подставляемому желобу в вагонетку. Шлаковый нож может устанавливаться на разной высоте при помощи ручного маховичка с червячным ходом или же в более старых конструкциях при помощи закрепляющих винтов.

Поднимая или опуская нож, мы регулируем степень золоудаления. Число оборотов чаши обычно очень невелико и вращение едва заметно для глаза; в среднем чаша делает от 0,2 до 5 оборотов в час. Такое сниженное число оборотов требует сложного многоступенчатого привода, состоящего обычно из следующих элементов: на чашу надето большое червячное колесо, сцепленное с червячным винтом. На червячном валу находится храповое колесо, приводимое во вращение при помощи храповика, находящегося на штоке эксцентрика. Эксцентрик насажен на главный трансмиссионный вал, приводимый во вращение от мотора при помощи ременного или зубчатого привода. Храповик соединен со штоком эксцентрика при помощи рычага и шарнирной оси, которая может передвигаться при помощи установочного винта, благодаря чему меняется расстояние между храповиком и осью. Тем самым меняется радиус качания храповика и число его зацеплений с храповым колесом. Таким образом изменяется длина дуги поворота червячного вала и связанного с ним зубчатого колеса чаши. Этим также регулируется степень золоудаления. В новейших конструкциях вместо храпового колеса делают фрикционный привод, причем одно из фрикционных колес является перпендикулярным к плоскости другого и может, передвигаясь вдоль своей оси, менять радиус точки приложения силы вращения и, таким образом, длину дуги поворота. В этой конструкции мы имеем непрерывное вращение взамен прерывистого толчкообразного при храповом приводе.

Работа решетки на практике, конечно, не всегда протекает так гладко, в зависимости от нагрузки генератора, точки плавления золы, количества подводимого пара и других факторов шлаки могут быть крепче или слабее и по-разному реагировать на нажим со стороны решетки. С увеличением сопротивления шлаков увеличивается расход механической силы на вращение решетки, увеличивается износ поддерживающих решетку роликов или шариков и прочих частей

чаши и т. п. Для преодоления этих затруднений предлагалось очень большое количество конструкций решеток и чаш, часто разнящихся между собой незначительными деталями. Правда, большую роль здесь играют патентные соображения отдельных фирм, вводящих различные изменения в существующие конструкции часто только для обхода патента. Перечислять их все, конечно, нет возможности и надобности, почему мы и ограничимся только несколькими главнейшими типами (из предлагавшихся нам в последнее время иностранными фирмами).

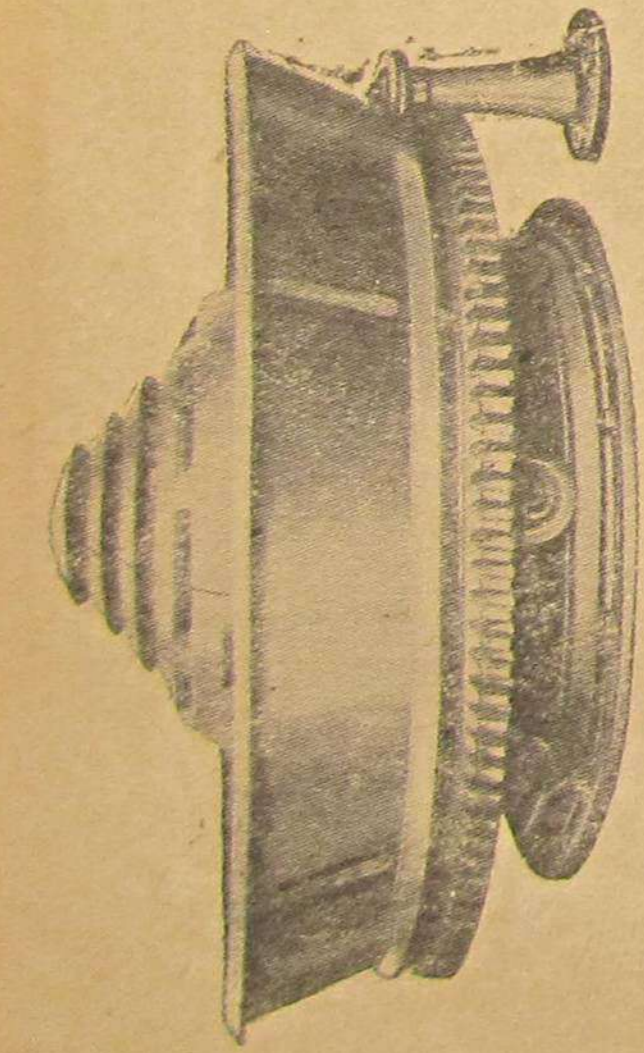
Решетка Керпели в исполнении Краматорского завода видна на фиг. 13. Она представляет собой ступенчатый конус, составленный из восьми чугунных колец все уменьшающегося диаметра, вставленных одно в другое при помощи чугунных приливов с отверстиями для стяжных болтов. Отличительными чертами этой решетки являются: во-первых, радиальный выход воздуха (строго по горизонтали, так как нижняя и верхняя поверхности колец, ограничивающие прозоры между ступенями, горизонтальны), вследствие чего решетка хуже защищена от провала мелкого шлака и кокса в дутьевой колодец; во-вторых, наличие перегородки между ступенями, благодаря чему возможен двойной впуск воздуха в центр и на периферию; в-третьих, наличие эксцентриситета: основание решетки центрировано по отношению к оси генератора, но сам конус (ступени) сдвинут на 100 мм. Решетка увенчана чугунной шапкой с отверстиями, служащими для введения некоторого количества воздуха в середину шахты. Отверстия эти (диаметром около 10 мм), конечно, засыпаются шлаком и большого значения не имеют. Чаша генератора с горизонтальным дном и с двумя концентрическими железными кольцами для образования кольцевого водяного затвора в воздуходувном колодце. Чаша газогенератора опирается на сплошную шариковую опору, что можно признать неудобным, так как попадающая в шариковые гнезда пыль затрудняет вращение чаши, а очистка шариковых гнезд и шариков весьма затруднительна.

Похожа на решетку Керпели решетка Тиссена (Демаг), изображенная на фиг. 15 и 16. Она ниже решетки Керпели, имеет всего 3—5 ступеней, подвод воздуха центральный, вылет воздуха — по радиусу с наклоном вниз, чаша опирается на четыре ролика, причем в отличие от других конструкций ролики эти поставлены на дно чаши и бегают по круговому рельсу, что уменьшает трение и тем самым износ и расход энергии.

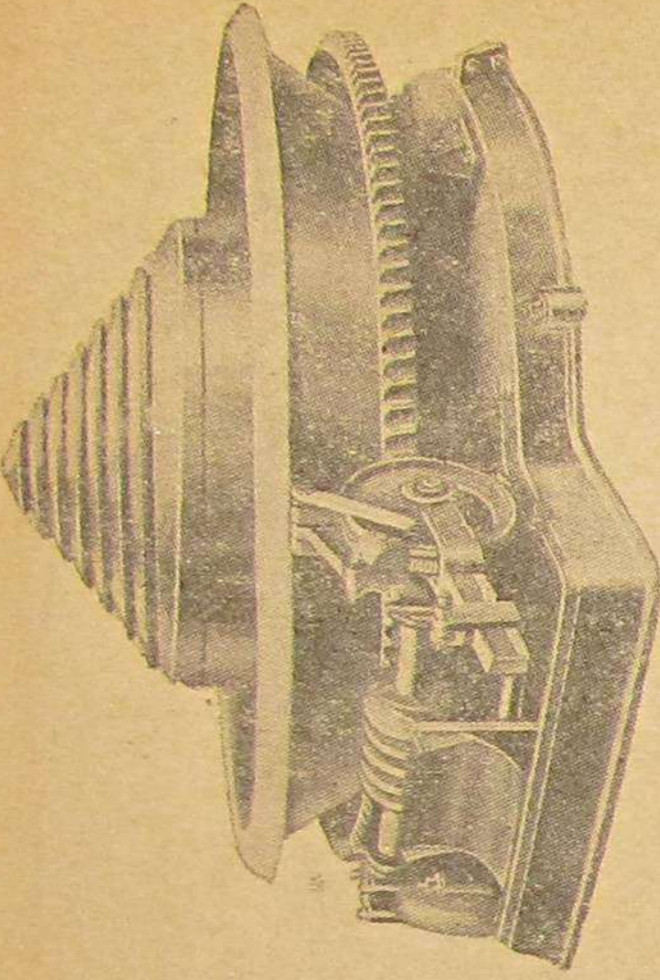
Решетка Юлиуса Пинча в двух вариантах изображена на фиг. 17 и 14, первая без эксцентриситета, для нешлакующего топлива; вторая — с сильно развитым эксцентриситетом для шлакующего топлива. Решетка 8-ступенчатая и 12-ступенчатая с радиальным выходом воздуха вниз, так как ступени имеют наклонную поверхность; подвод воздуха в центре, дно чаши горизонтальное, опоры чаши — восемь роликов, установленных на фундаменте; дно чаши скользит по вращающимся роликам.

Генераторы Пинча хорошо известны за границей и в СССР применяются с успехом во многих случаях (на Часов-Ярском и Красногоровском керамических заводах в Донбассе, в измененном виде — с сужим золоудалением — на Московском газовом заводе для водяного газа и др.).

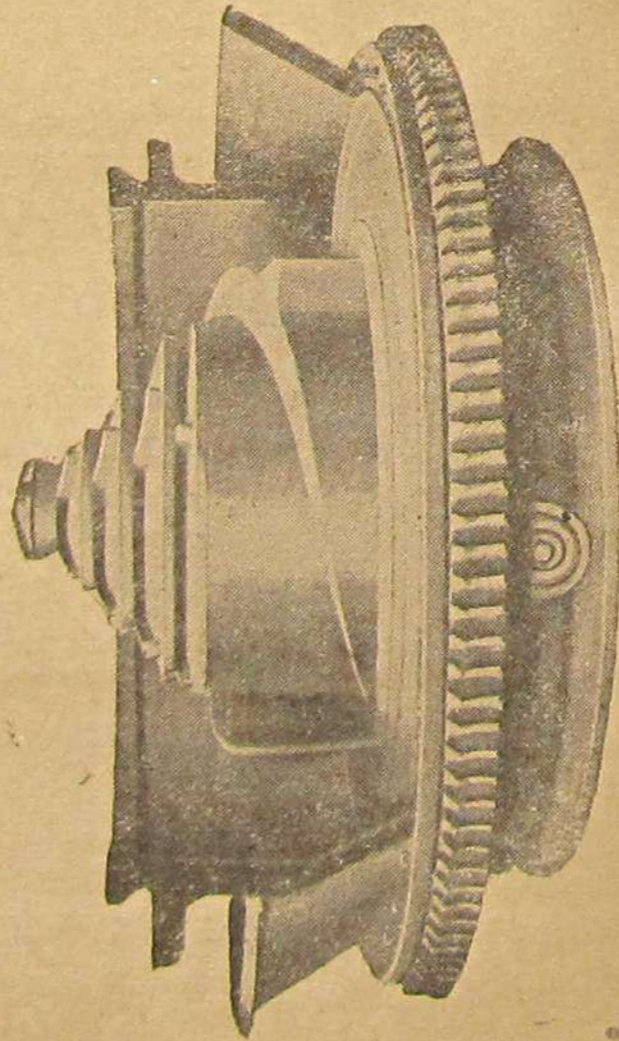




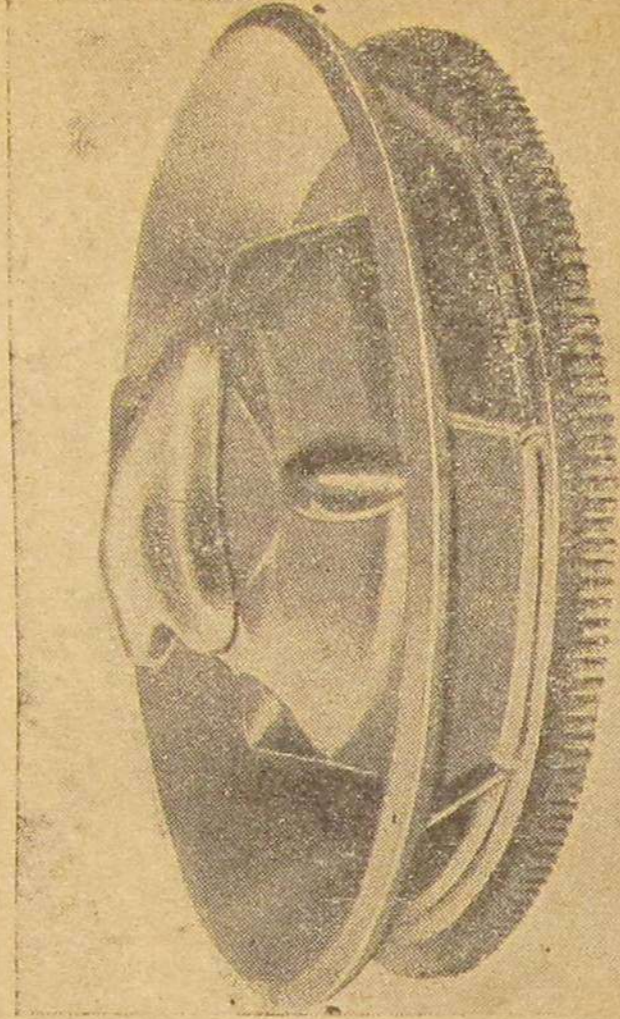
Фиг. 16. Вращающаяся коническая эксцентрическая решетка Тиссена с четырьмя ступенями.



Фиг. 17. Вращающаяся решетка системы Пинч (центральная, многоступенчатая).

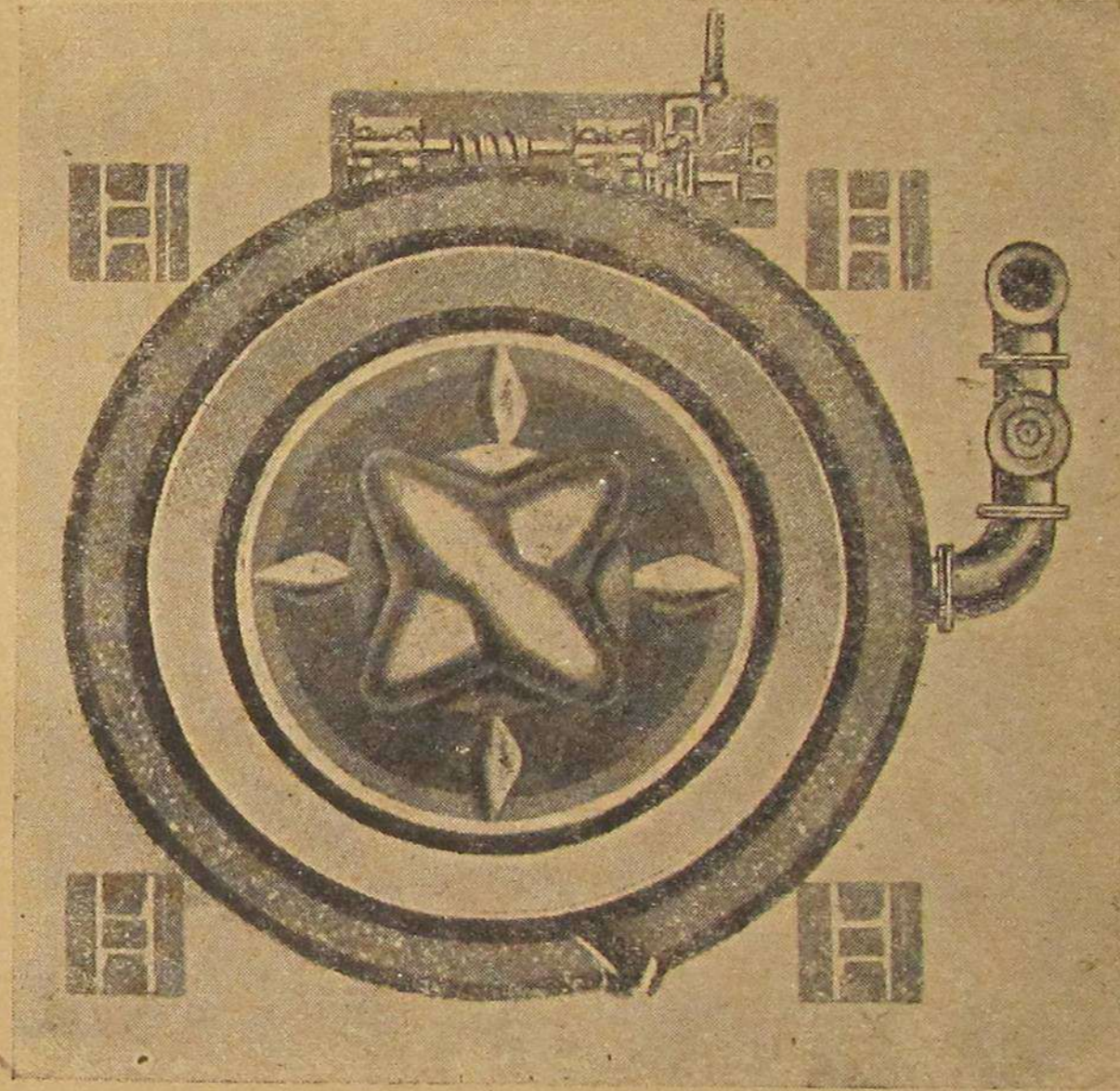


Фиг. 18. Спиральная эксцентрическая решетка Хут-Ретгера.



Фиг. 19. Решетка Гильгера в исполнении фирмы Цеттер (вращающаяся, центральная).

Решетка Хут-Ретгера (Huth Röttger), изображенная на фиг. 18, похожа на решетку Тиссена с центральным подводом и радиальным распределением воздуха, причем вылет воздуха из прозоров решетки направлен вниз. Решетка снабжена ребрами, помогающими разбивать шлаки. Основание снабжено спиральным приливом для той же цели; основание центрировано, сама решетка — эксцентрична. Вращение чаши — на роликах, катящихся по крутовому рельсу; впрочем изготовляют и конструкцию с роликами, установленными на фундаменте. Дно чаши горизонтальное, без направляющих полос. Особенностью генератора, не связанной непосредственно с решеткой, является «позонное тушение» огня в шахте, т. е. периферийный подвод пара при



Фиг. 20 Решетка Гильгера (вид сверху).

помощи отдельных сопел по окружности шахты генератора. Благодаря этому представляется возможность в том случае, если в каком-либо месте слоя около стенки замечен прогар (например, наощупь) погасить его действием пара. Пар подводится в круговое кольцо, в котором он подогревается, перепревается и выходит в генератор, частично поднимаясь вверх вдоль стенок, частично проникая вглубь шахты; в том и другом случае происходят охлаждение зоны и смягчение шлака, что и требуется.

Генераторы Хут-Ретгера, к сожалению, мало известны в СССР, — они были установлены еще в довоенное время на Чусовском металлургическом заводе, где работали на кольчугинском (ныне ленинском)



угле Кузбасса, причем в шлаке было много кокса. Конечно чувской генератор не имеет последних усовершенствований фирмы Хут-Ретгер.

Несколько особое положение занимает весьма распространенная в прежнее время решетка Петтер (Гильгера) (фиг. 19—21). Она одноступенчатая и имеет форму четырехконечной звезды с особыми приливами, расположенными во впадинах между ее выступами. Этими выступами и приливами решетка должна не плохо разбивать шлаки. Зато она центрирована относительно оси шахты, т. е. не имеет эксцентриситета; так как она имеет лишь одну ступень, то воздух выходит только на одном горизонте по окружности решетки и направляется

вертикально вниз. Вследствие этого над решеткой может образоваться довольно высокий столб шлака и топлива, непродуваемый воздухом, со всеми вредными последствиями этого в виде недожога и непрогара получающегося кокса и плохого качества газа в этом столбе, а косвенно и во всем генераторе (фиг. 23).

В некоторых конструкциях Петтера, например, в генераторах, стоявших на Карабашском заводе, звезда имеет ряд дырочек, через которые проходит воздух. Однако при этом происходит в большей или меньшей степени засыпание воздухопроводящего канала шлаковой пылью, чего не может быть в оригинальной конструкции Петтера.

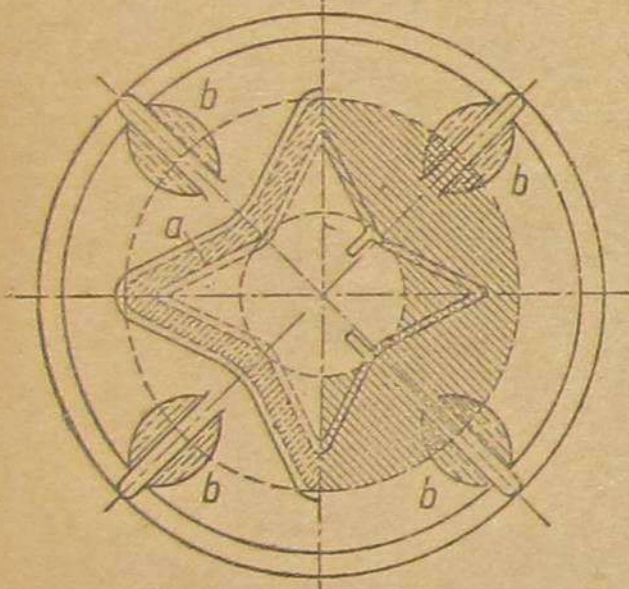
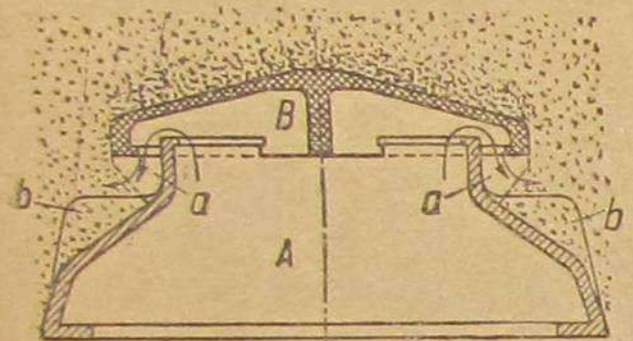
Решетка Гильгера-Петтера наряду с решеткой Керпели принадлежит к одной из старейших конструкций и поэтому сохранила в себе некоторые устарелые черты: так, например, чаша опирается на шарики, что, как уже было сказано, нежелательно ввиду

попадания пыли в шариковые гнезда и затруднительности смены, смазки и очистки шариков, дно чаши горизонтальное, без направляющих.

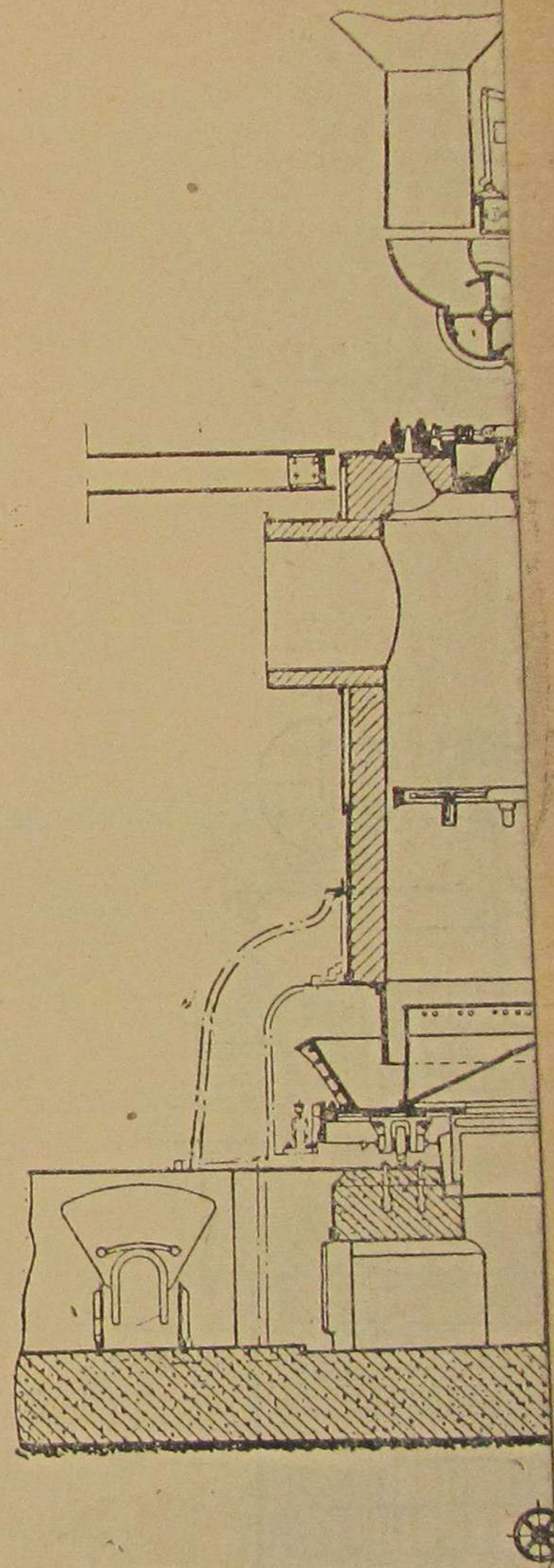
Генераторы Петтера установлены у нас в большом количестве на «Красном путиловце», Ижорском, Обуховском и других заводах в Ленинграде, на Белоречном, Златоустинском, Саткинском, Магнитовом заводах на Урале, на Константиновском металлургическом в Донбассе, на заводе Донсода и др.<sup>1</sup>

Конструкцию Гильгера-Петтера следует модернизировать, сделав звезду трех- и четырехступенчатой, дно чаши наклонным, опору вращения чаши на роликах и т. д. В этом случае она сможет поспорить со многими лучшими конструкциями; известное улучшение можно ожидать уже от введенной фирмой дополнительной вершинной ступени

<sup>1</sup> О работе генераторов Гильгера см. в статье инж. Г. И. Шах-Паронианц, Практика генераторного процесса, «Химстрой», № 9, 1933, стр. 2477, и в статье инж. Н. В. Шишакова «Известия ВТИ», № 4/82 1933 (газ. кор. Челяб. угля).

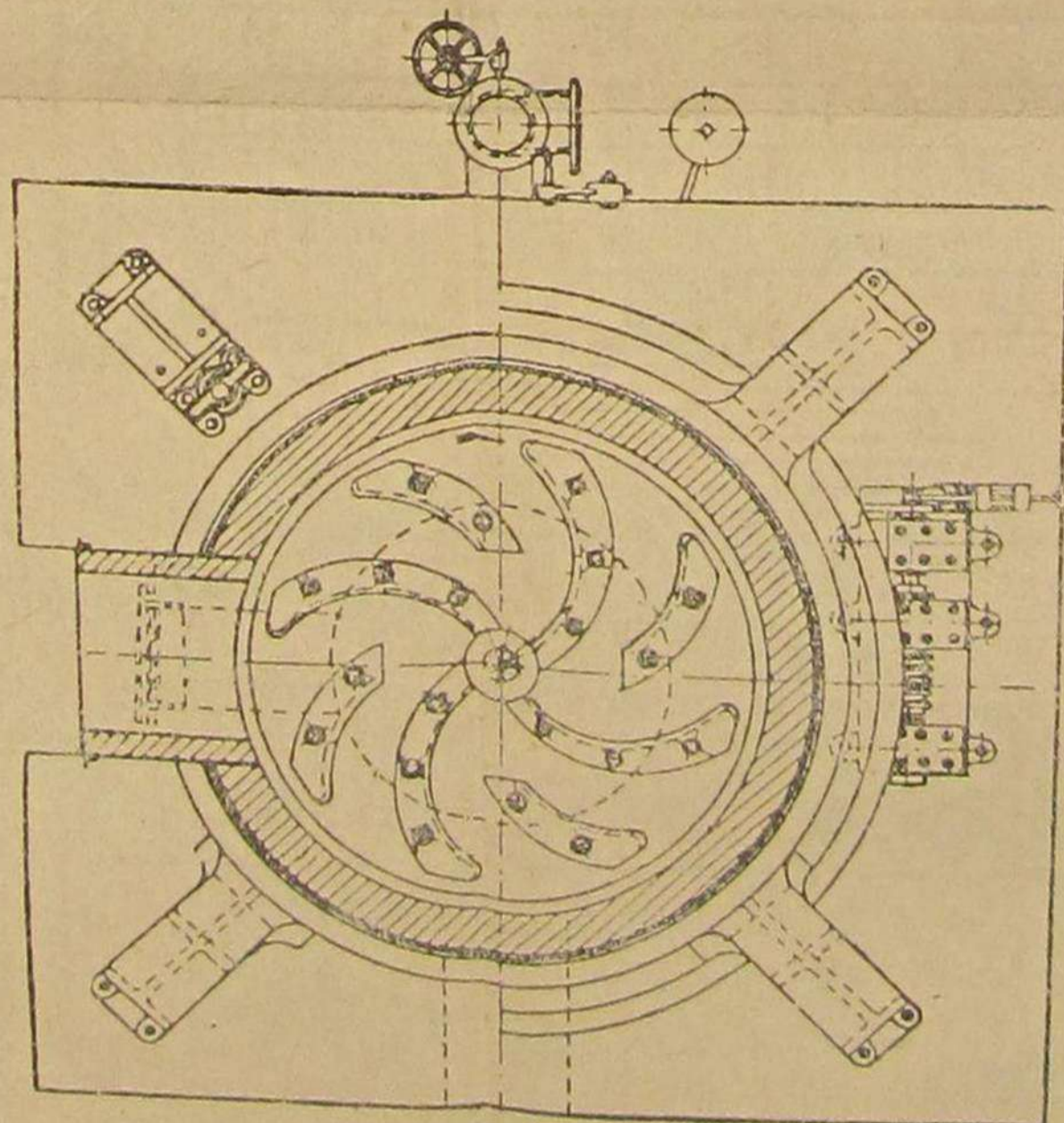
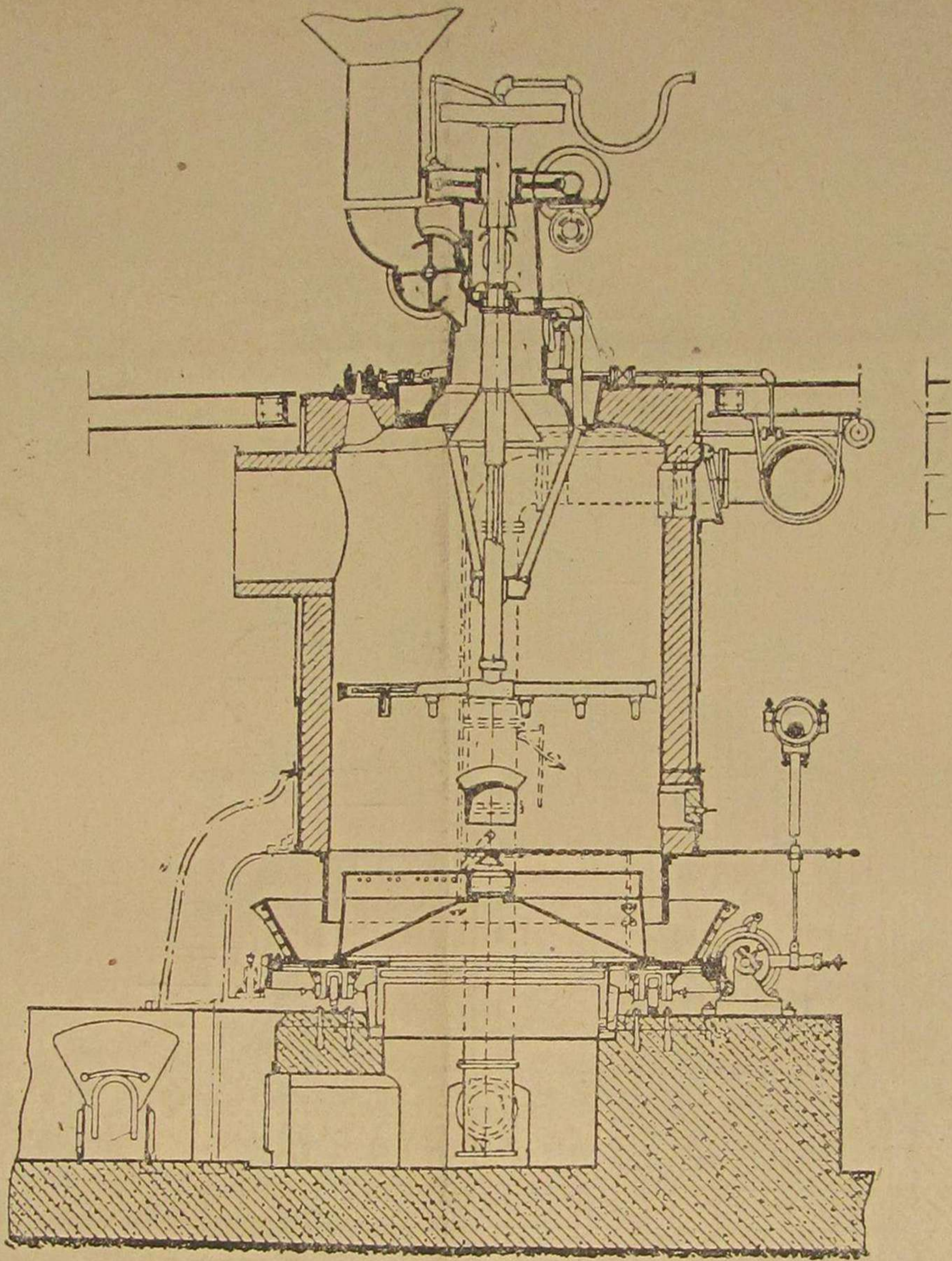


Фиг. 21. Решетка Гильгера (разрез).



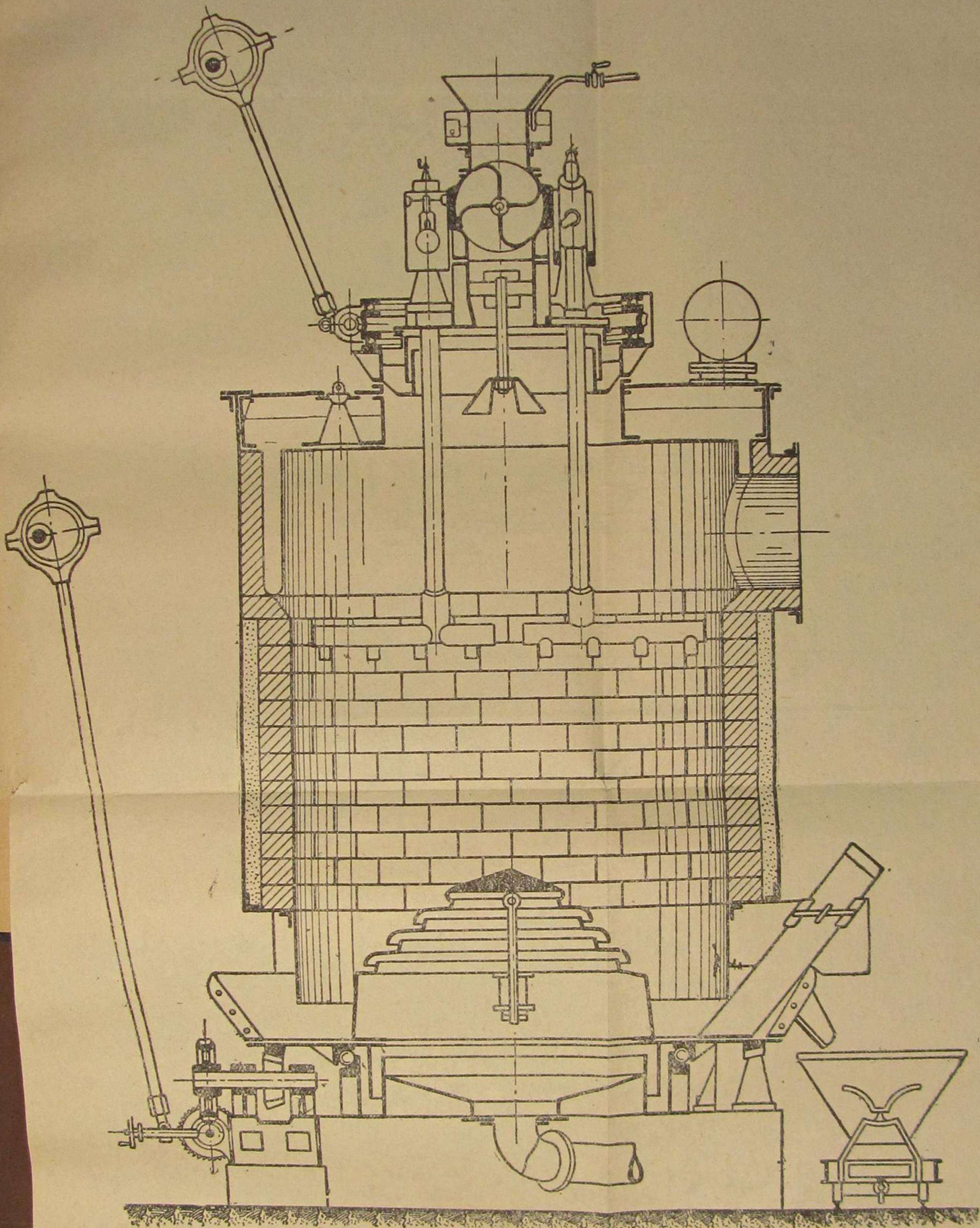
Фиг. 24. Решетка Гертей и Соважен.





Фиг. 26. Решетка проф. В. Е. Грум-Гржимайло (Генератор Чешман-Грум. П. Салдинского завода (по материалам инж. А. М. Брискиной, ВТИ).

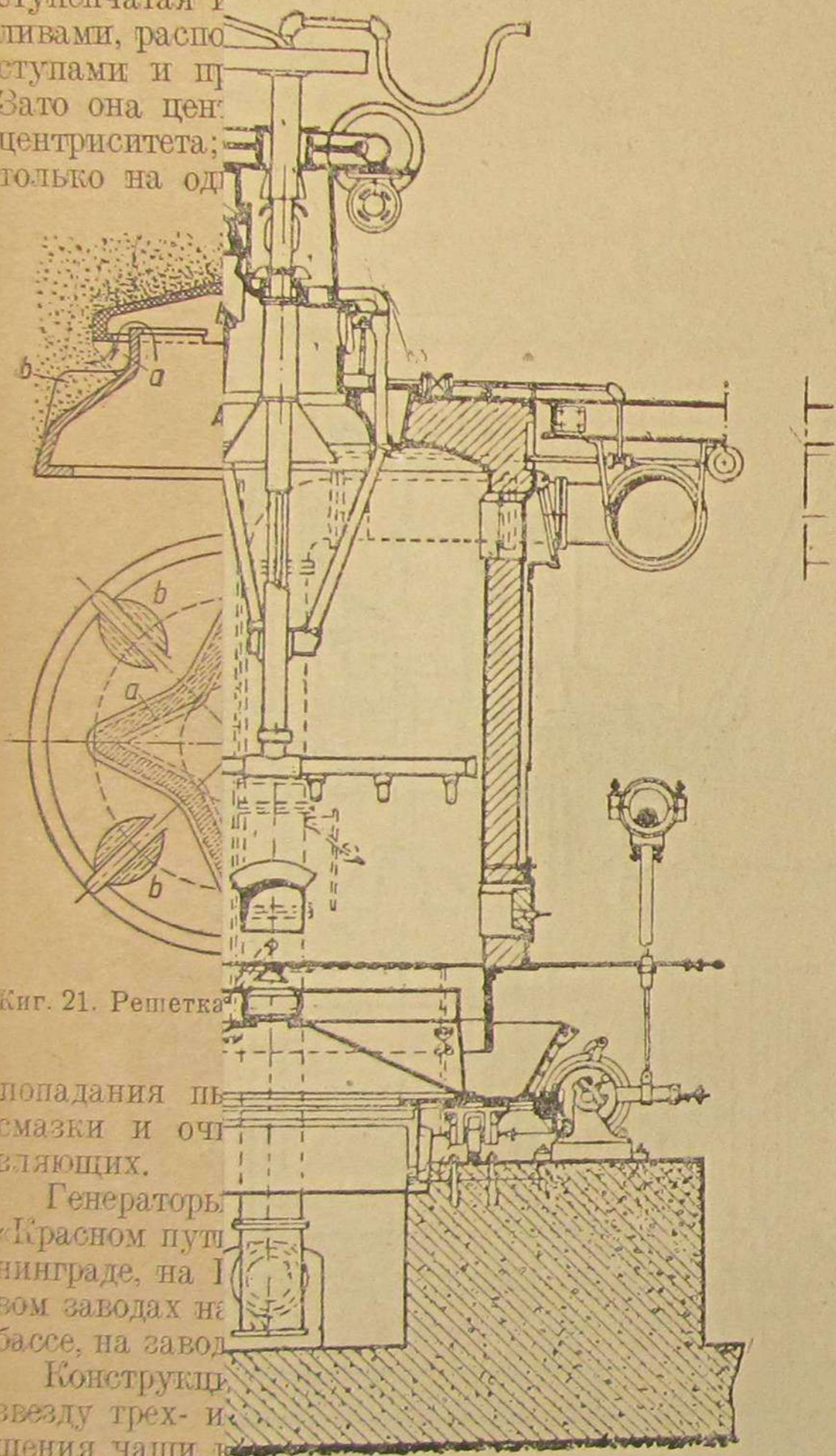




Фиг. 22. Газогенератор Гертей и Соважен.



угле Кузбасса  
генератор не т  
Несколько  
в прежнее вре  
ступенчатая и  
ливами, распо  
ступами и ш  
Зато она цен  
центриситета;  
только на од



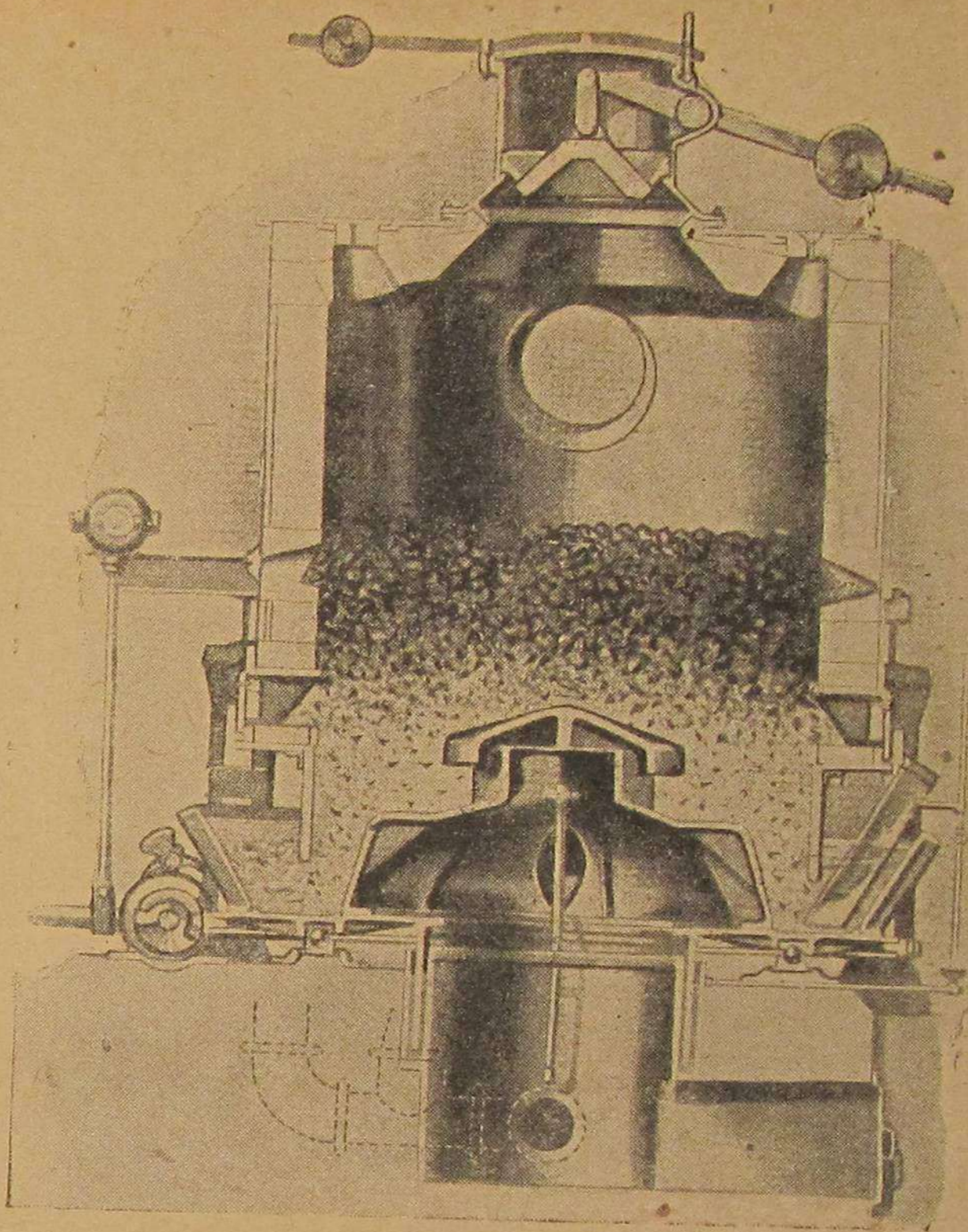
Киг. 21. Решетка

попадания пы  
смазки и оч  
вляющих.

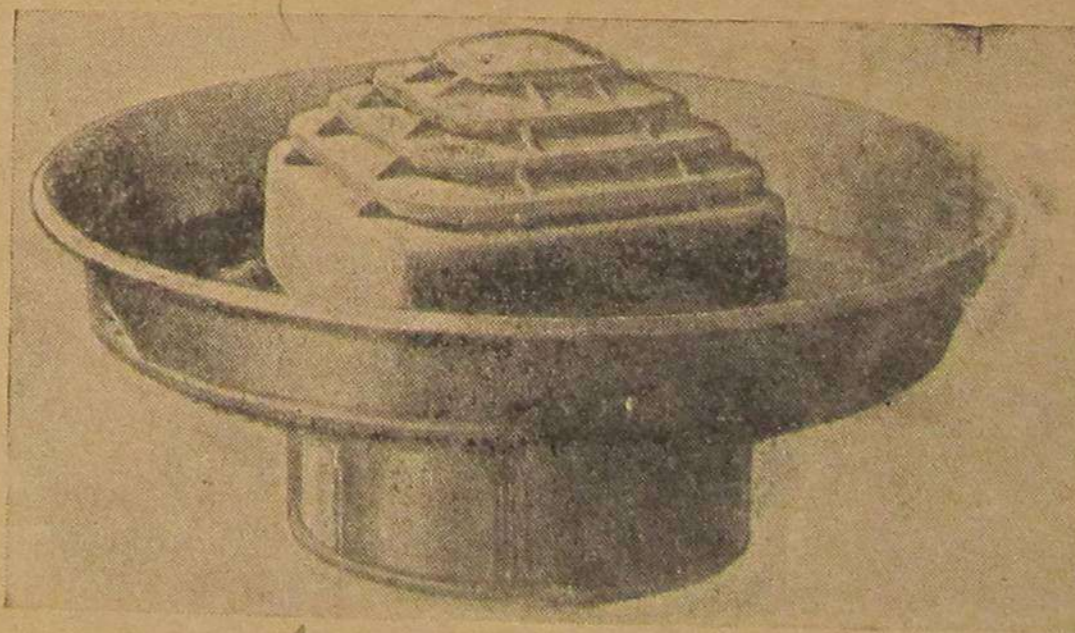
Генераторы  
«Красном пут  
нинграде, на I  
вом заводах на  
бассе, на завод

Конструкция  
звезду трех- и  
щения чаши в  
многими лучш  
дать уже от 1

<sup>1</sup> О работе генератора см. в статье инж. Г. И. Шах-Паронианц, Практика генераторного процесса, «Химстрой», № 9, 1933, стр. 2477, и в статье инж. Н. В. Шишакова «Известия ВТИ», № 4/82 1933 (газ. кор. Челяб. угля).



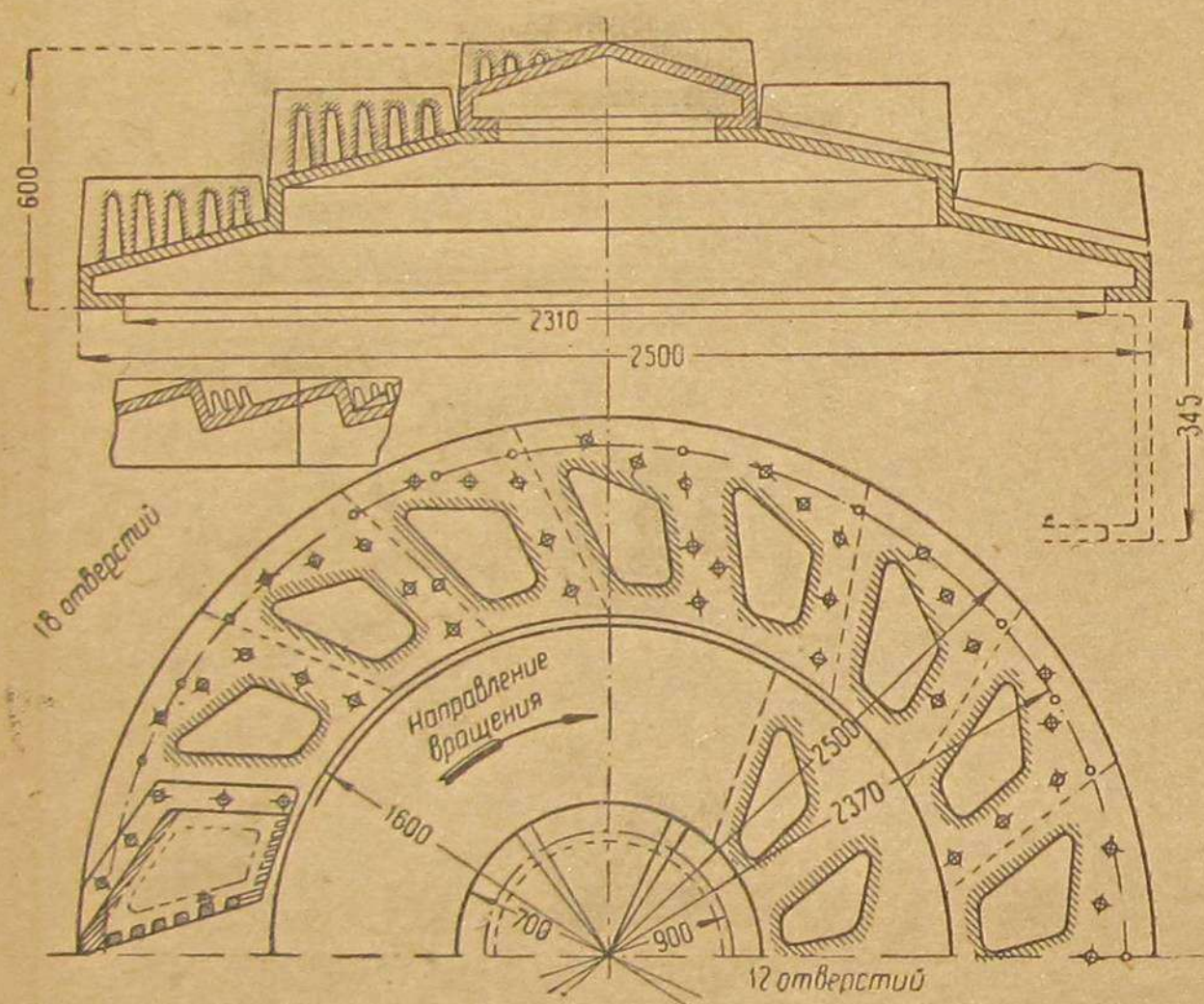
Фиг. 23. Генератор Гильгера-Питтера с ручной загрузкой.



Фиг. 24. Решетка Гертей и Соважен.



с центральным дутьем (фиг. 43). К тому же типу решеток можно до некоторой степени отнести французскую решетку Гертей и Соважен (Heurtey et Sauvageon, фиг. 22 и 24), несмотря на целый ряд ее отличий. Решетка в плане имеет квадратную форму, благодаря чему она разбивает шлаки своими углами наподобие решетки Гильгера. Центр ее смещен относительно оси шахты на 100 мм, и, кроме того, верхняя головка неправильной формы имеет эксцентриситет относительно собственной оси решетки. Благодаря всему этому решетка должна довольно хорошо разбивать шлаки. Подвод воздуха центральный с радиальным распределением и вылетом вниз, так же как и у Петтера, так что воздух должен делать поворот на 180°. Вследствие этого создается



Фиг. 25. Решетка Юнгблойда (фирмы Ленгерсдорф).

большое сопротивление (зато дутьевой колодец хорошо защищается от провала) и возможно, что это и послужило одной из причин неудачной работы этих генераторов на Семилукском шамотном заводе № 9 (вблизи Воронежа). Генераторы эти при диаметре 2,6 м и в условиях нормального противодавления газохода (так как газ был очищенный) обладали пропускной способностью только 8—12 т крупного антрацита, в то время как такие же генераторы Пинча, Демаг, AVG и т. д. давали при том же диаметре пропускную способность в 18—25 т. Были сделаны опыты работы с обрубленными ребрами, но существенного улучшения это не внесло, а засыпание дутьевого колодца шлаком увеличилось. Во всяком случае вопрос этот пока еще не вполне выяснен, так как слабая работа генераторов могла зависеть от ряда других причин: слабого дутья, малого содержания влаги в подводимом воздухе, свойств самого антрацита и т. д.

В остальном решетка не представляет никаких особенностей: дно чаши горизонтальное, опора чаши на шариках, соединение чаши с дутьевым колодцем осуществлено так же, как и во всех выше рассмотренных конструкциях, при помощи гидравлического затвора, т. е. при помощи кругового железного листа, вставленного в кольцевой железный сосуд с водой.

Решетка фирмы Société de les Fours Stein (Общество Фурштейн) почти во всем подобна решетке Хут-Петтер и представляет собой, по видимому, лишь французский вариант той же конструкции.

Описанные конструкции обладают одной особенностью, имеющей некоторые отрицательные стороны, а именно благодаря радиальному подводу воздуха по всей окружности ступени создается на известном радиусе вокруг нее сплошной очаг непрерывного горения с высокой температурой. Если при этом в каком-либо месте образовался прогар, то он будет в этом случае все больше и больше усиливаться. Поэтому многие фирмы перешли на применение решеток с тангенциальным подводом воздуха — по касательной к окружности решетки; в теле колосника устраиваются спиральные каналы, по которым воздух подводится из центра к периферии и выходит в направлении, противоположном вращению решетки. При этом дутье непрерывно отступает вместе с колосником назад от огня, который вследствие этого непрерывно передвигается, чем и устраняется возможность неравномерного горения.

В качестве примера такой конструкции может быть приведена решетка фирмы Ленгерсдорф конструкции Юнгблойд. Она установлена на Пантелеймоновском динасовом заводе в Донбассе (фиг. 25). Решетка эта при работе на легко шлакующем донецком газовом угле дает в среднем очень хорошие шлаки с содержанием углерода 6—8% при средней производительности 12—15 т в сутки. Решетка высокая, трехступенчатая с центральным подводом воздуха и вылетом его по касательной через разрезы в ребрах, закрепленных на ступенях. Благодаря этим ребрам решетка получает профилированную форму, позволяющую хорошо разбивать шлаки.

Однако генераторы Ленгерсдорфа работали весьма неважно и едва не провалили всего производства. Не касаясь вопроса о конструкции самого генератора — о неправильной установке швельшахты с внутренней ретортой, о спекаемости угля и т. п., о чем будет сказано дальше, укажем лишь на одно обстоятельство, сильнее всего повлиявшее на работу генератора: решетка непомерно велика для шахты 2 600 мм и почти равна диаметру шахты. Даже кольцо гидравлического затвора закреплено на наружной стенке шахты, а не на внутренней стороне, как обычно. Благодаря этому получается кольцо высокой температуры в непосредственной близости от стенки и вследствие этого сильнейшее шлакование в самом неприятном месте — у обмуровки, к которой шлаки прилипают. Шлаки эти приходилось разбивать ломом с невероятным трудом, что, конечно, нарушало весь ход генератора<sup>1</sup>.

Вышеупомянутого недостатка не имеет также решетка проф.

<sup>1</sup> В настоящее время завод перешел на коксик для улучшения хода процесса.



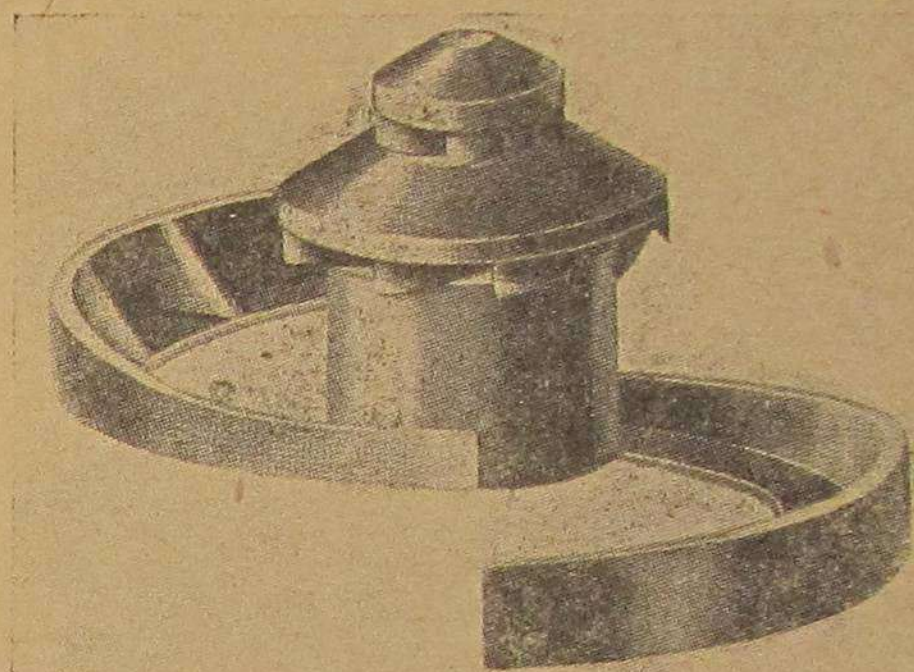
В. Е. Грум-Гржимайло, изображенная на фиг. 26. Проф. В. Е. Грум-Гржимайло дает такое описание своей решетки: «Предлагаемая конструкция представляет собою чашу, дно которой есть конус естественного откоса песка в воде  $-24^\circ$ . Движение золы по поверхности этого конуса облегчается кривыми лопатками, вдоль верхнего теневого края которых расположено сто штук круглых отверстий-сопел по 25 мм в диаметре, рассеянных по всей площади сечения генератора. Таким образом линия огня в предлагаемом генераторе вытянута на длину в 10 м, тогда как у Гильгера сплошное кольцо огня будет не больше  $4\frac{1}{2}$  м; но вследствие своей сплошности оно неподвижно, тогда как линия огня в предлагаемом генераторе движется, отступая при 2—3 оборотах в час на 5—7 см/сек. Такое расположение сопел, движущихся по всему сечению, обеспечивает генератор от возможностей образования постоянных центров высокой температуры и получения комьев спекшейся золы. Во многих системах генераторов, например, Моргана, шахта делается суживающейся книзу; это ошибочно — шахта должна быть прямая или расширяющаяся книзу, что предупреждает остановку у стенок шахты настывшей и комьев золы и способствует их опусканию. Сужение шахты может быть полезно только в области остывшей золы. Тут это сужение предупреждает слишком быстрое выгревание золы у стенок и, следовательно, чересчур быстрое и энергичное опускание угля по краям. Предлагаемое поддувало гарантирует равномерное опускание золы по всему сечению газогенератора»<sup>1</sup>.

Решетка была испытана на опытном генераторе системы треста Мосуголь, но не дала хорошего выжигания углерода, содержание которого в шлаке доходило до 60% и выше. Одна из наиболее важных причин этого явления заключается в том, что решетка эта одноступенчатая и слишком низкая; поэтому весь воздух вдувался на одном лишь горизонте и при том на самом низком, где зола уже настолько остыла, что выжечь из нее оставшиеся частицы углерода было невозможно. Решетка Гильгера, испытанная на подмосковном угле на Дятьковском стеклозаводе Брянского округа, дала в смысле выжигания шлаков значительно лучшие результаты (около 18% углерода в золе) при большей производительности (до 24 т вместо 18 т в сутки).

Решетки Демаг (фиг. 27, 28, 29 и 44), AVG — Коллера (фиг. 30) и другие принадлежат, наоборот, к решеткам малого диаметра — столбикообразным решеткам; у них отношение диаметра решетки к диаметру шахты составляет  $\frac{1}{5}$ . Оси решеток совпадают с осью шахты, т. е. эксцентриситет отсутствует, чем по мнению этих фирм достигаются большая устойчивость всей зольной чаши, отсутствие перекосов и меньший износ несущих и в особенности боковых роликов. Взамен этого на дне имеются специально прилитые к нему спиральные ребра, которыми осуществляется не разбивание, а «подрезание» — фрезерование — шлаков и тем самым равномерное опускание всей топливной

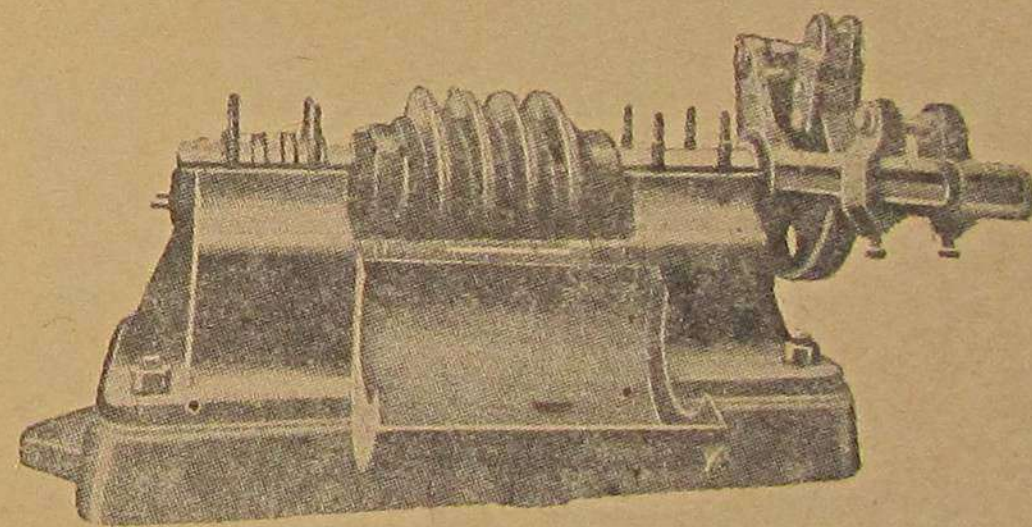
<sup>1</sup> «Пламенные печи». На фиг. 26 дан газогенератор с мешалкой Чепмана с решеткой Грум-Гржимайло (Чепман-Грум) Н. Салдинского завода (по материалам обследования газогенераторных установок Урала, произведенного Всес. Тепло-техн. Инст. — инж. А. М. Брискиной в 1932 г.). Генератор дает до 20 т/сутки на ленинском угле при  $D = 2,6$  м.

насадки вниз и выталкивание шлаков на периферию. Чаша Демаг имеет горизонтальное дно и опору в виде шести несущих роликов и четырех боковых роликов, закрепленных на фундаменте (фиг. 29, также 44); чаша AVG имеет уклон (около  $20-25^\circ$ ) и опору на шариках. Решетка Демаг двухступенчатая с тангенциальным вылетом



Фиг. 27. Решетка Демаг с шлаковыми ребрами.

воздуха. Решетка AVG — Коллера четырехступенчатая с радиальным вылетом воздуха. Обе эти конструкции имеются в ОСОР: Деماج на Беловском цинковом заводе в Кузбассе, где работает на журином угле, и на Торецком болтовом заводе в Донбассе. В последнем слу-

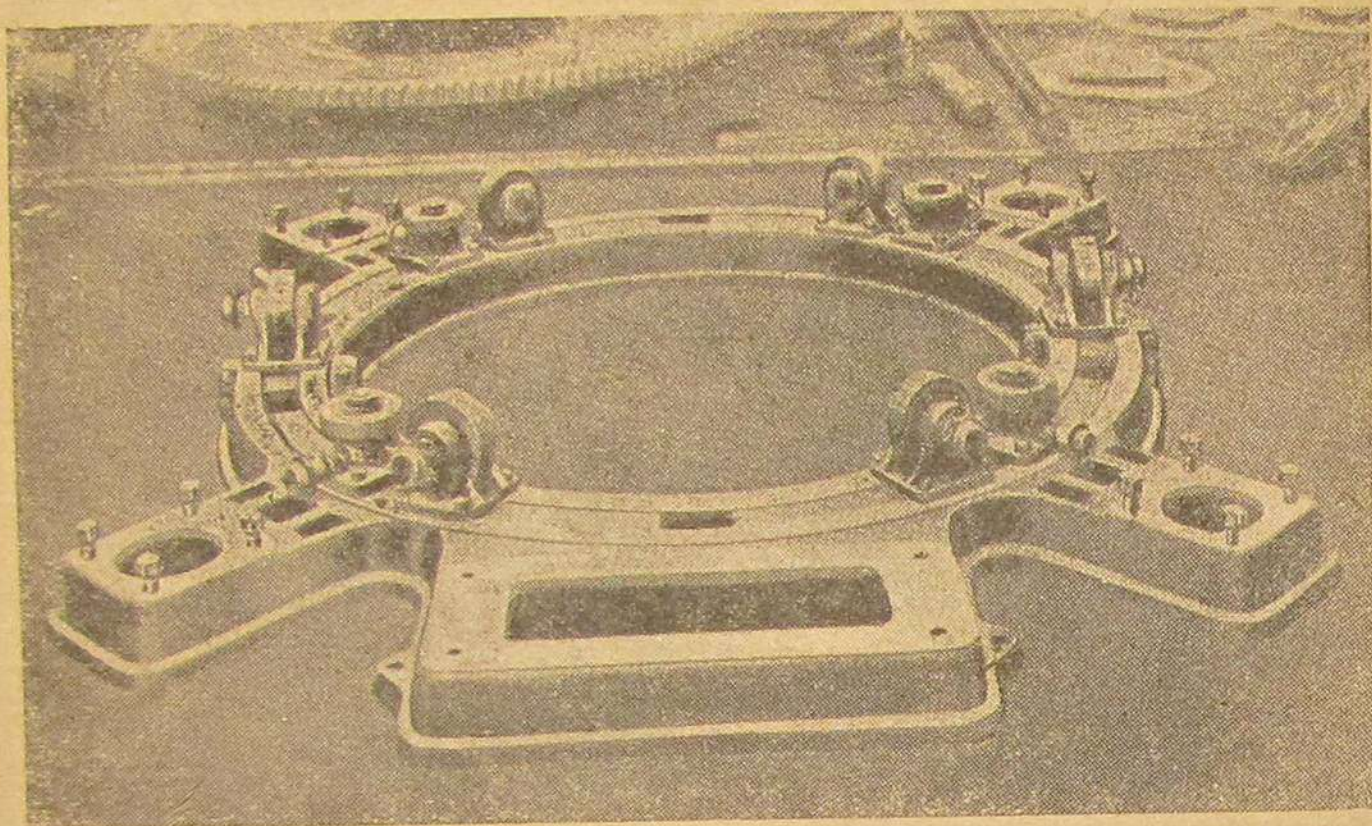


Фиг. 28. Привод решетки Демаг.

чае — в измененной конструкции для получения водяного газа из антрацита — с сухим затвором. Конструкция AVG известна по своей работе в Гусе-Хрустальном и Уралмашстрое — на торфу и в Сухоложском и Билимбаевском керамических заводах — на челябинском угле. В силу небольшого диаметра решетки и вышеупомянутого свойства «подрезать», а не разбивать шлаки, обе решетки хорошо работают на топливах с тугоплавкой золой, дающих однородные неболь-

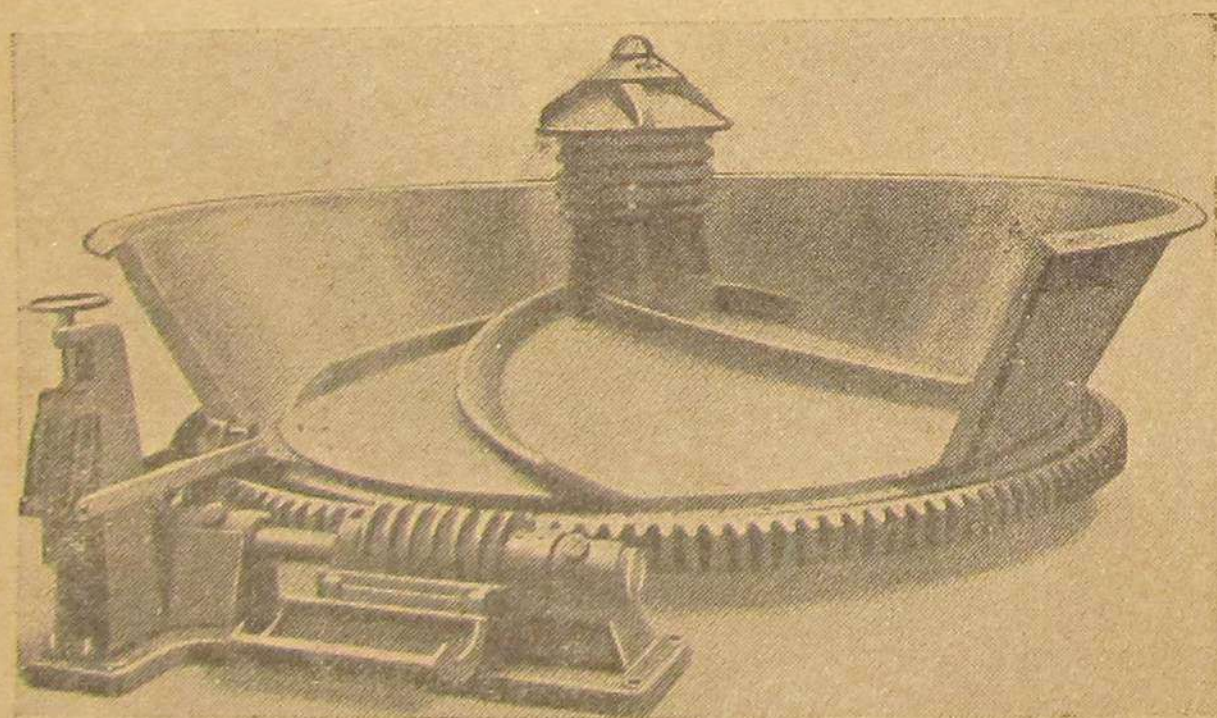


шие кусочки шлака, позволяющие равномерно распределить воздух по всему сечению шахты. Для шлакующихся топлив она мало подходит.



Фиг. 29. Фундаментная плита с несущими и ведущими роликами (Деماج)

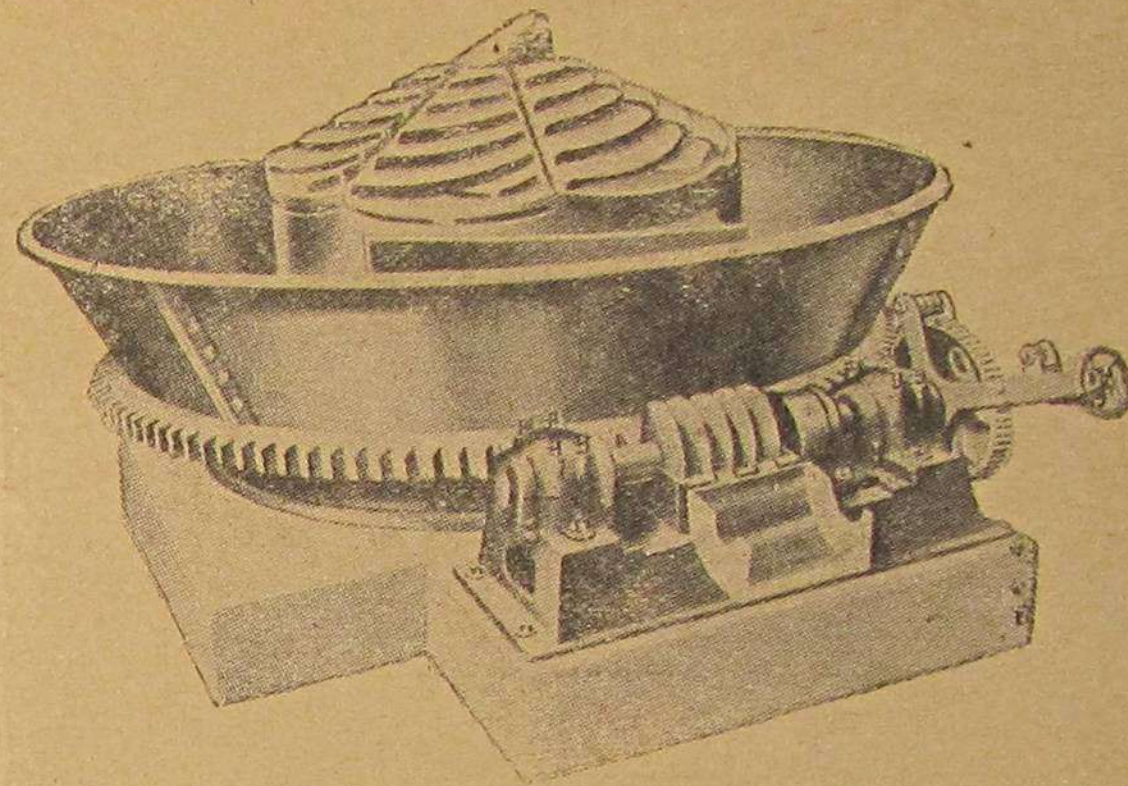
Решетка Коллера AVG хорошо работала на торфу при напряжении до  $230 \text{ кг/м}^2$ , давая шлаки с содержанием углерода около 5%; на подмосковном угле при том же напряжении работа шла несколько



Фиг. 30. Решетка системы Коллера со спиральными шлаковыми ребрами на дне чаши, червячной и фрикционной передачей.

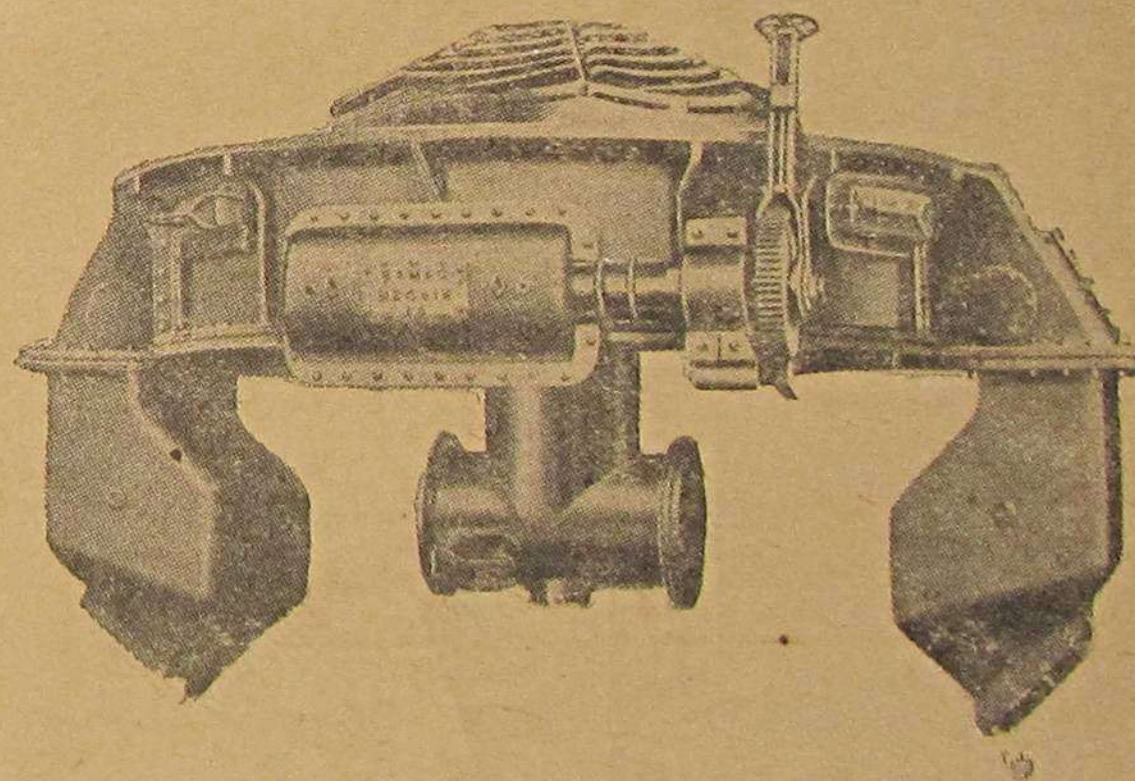
хуже — наблюдалось шлакование, а при работе на челябинском угле при вдвое меньшем напряжении —  $115 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$  — шлакование было весьма сильным и ставило предел дальнейшему увеличению производительности. Генератор Деماج при работе на антраците (на водяной газ) показывал сильнейшее шлакование.

В остальном решетка и чаша AVG могут считаться в механическом отношении одними из совершенных. В отличие от всех вышеприведенных конструкций, где связь чаши с дутьевым колодцем осуще-



Фиг. 31. Решетка системы Бамаг для мокрого золоудаления.

ствляется при помощи гидравлического затвора — путем погружения круглой трубы в кольцевой сосуд, соединенный с воздухоподводом, здесь эта связь осуществлена при помощи уплотняющей асбестовой прокладки, что позволяет применить большее давление. Передача от

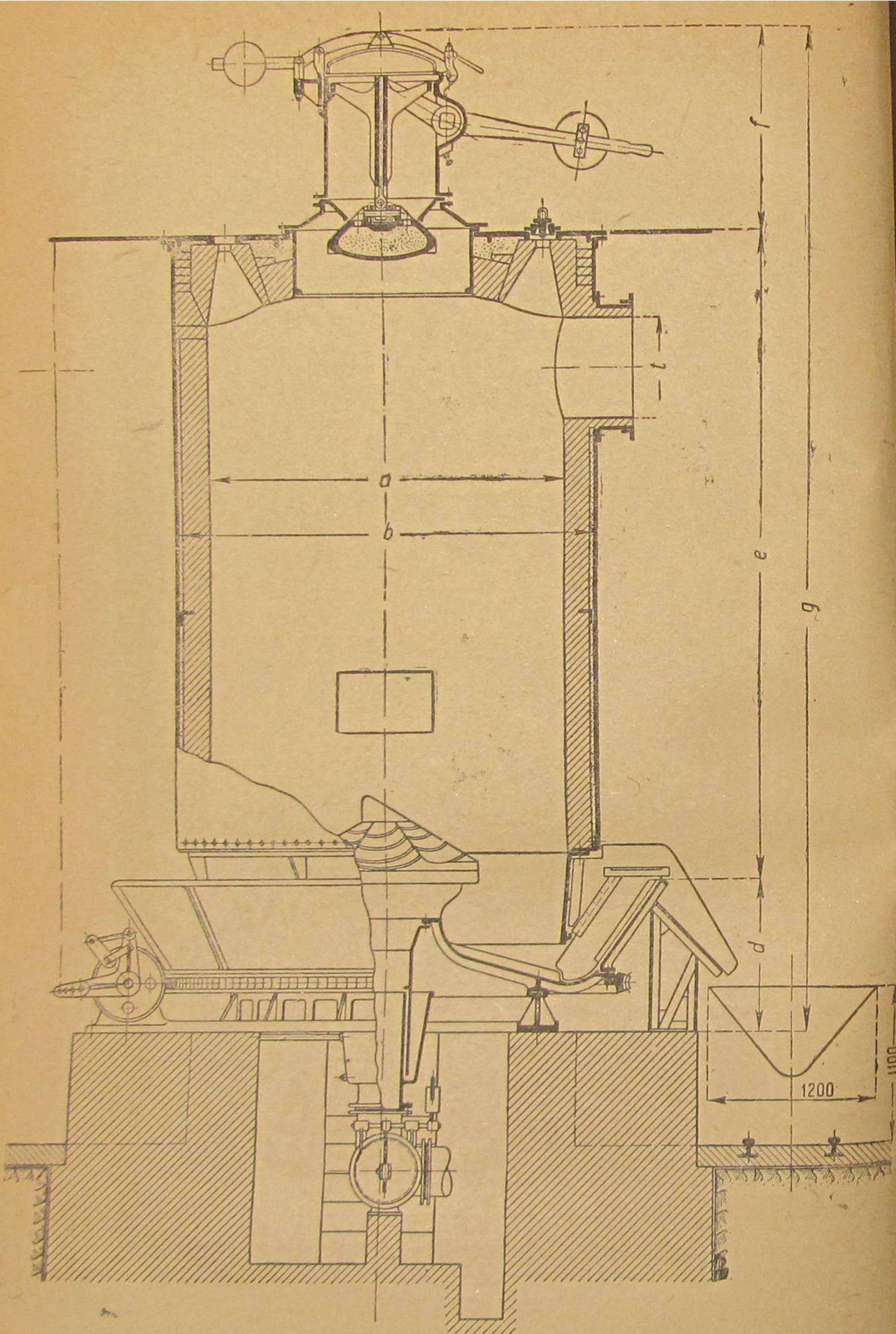


Фиг. 32. Решетка Бамаг для сухого золоудаления и дутья высокого давления.

эксцентрика к червячному валу осуществлена при помощи фрикционного колеса и пальца взамен обычного храпового колеса и собачки.

«Карманная» решетка Бамаг (Taschenrost, фиг. 32) принадлежит к числу профильных решеток сравнительно большого диаметра (отношение диаметра решетки к диаметру шахты 0,46).





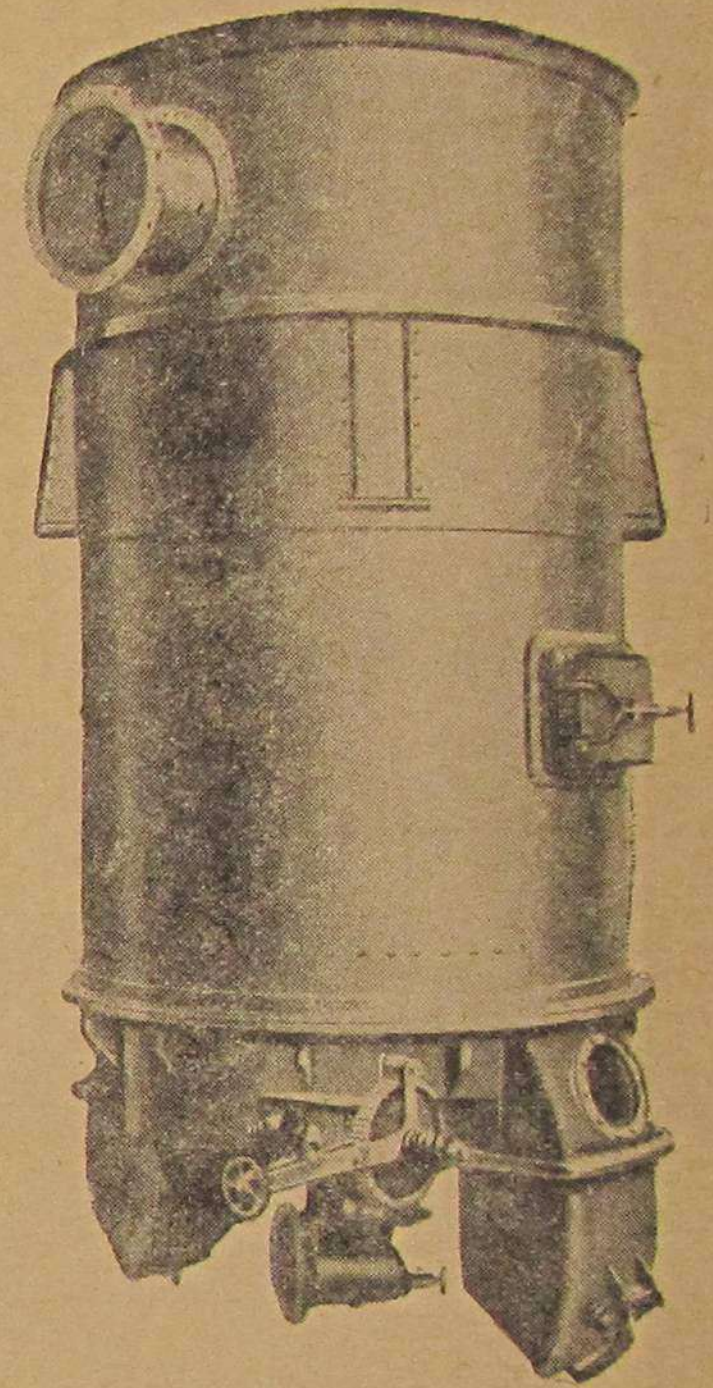
Фиг. 33. Газогенератор Бамаг.

Подвод воздуха центральный, но выход воздуха против движения решетки по касательной вниз через многочисленные щели (карманы). Подрезание шлака осуществляется специальными ребрами, укрепленными на основании решетки. Решетка центрирована, и частичное разбивание шлака происходит лишь за счет неправильной формы выпуклостей на ступенях решетки, образующей, таким образом, ломаный контур, составленный из отдельных дуг, разделенных наклонными щелями. Для сильно шлакующего топлива решетка недостаточна.

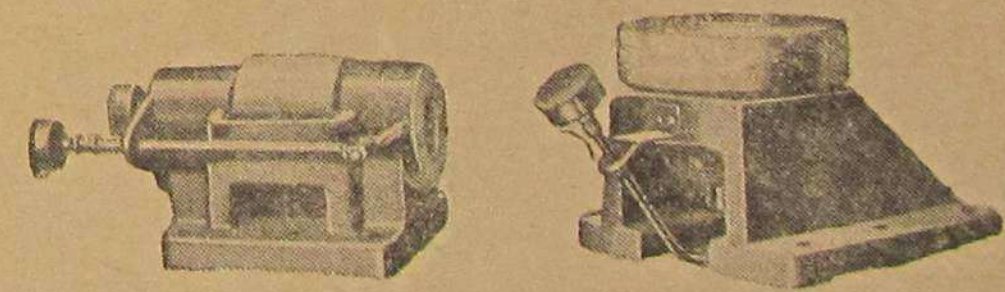
Чаша Бамаг имеет наклонное дно — см. фиг. 33 (прежняя ее конструкция имела горизонтальное дно — см. фиг. 63). Опора чаши — на роликах, причем чаша имеет специальное полированное кольцо, непосредственно скользящее по роликам (фиг. 35). Привод обычный — через храповик, но соединение с воздушным колодцем через гидравлический затвор.

Генераторы Бамаг установлены у нас на Ревдинском металлургическом заводе (на Урале) для работы на ленинском угле Кузбасса.

Очень оригинальна и, к сожалению, мало распространена решетка Ремана (фиг. 36). Эта решетка расположена центрально, но снабжена двумя приливами в виде малых решеток, действующих благодаря большому радиусу вращения как дробилка для шлака. Решетка четырехступенчатая с радиальным вылетом воздуха круто вниз. Воздух подводится под все три



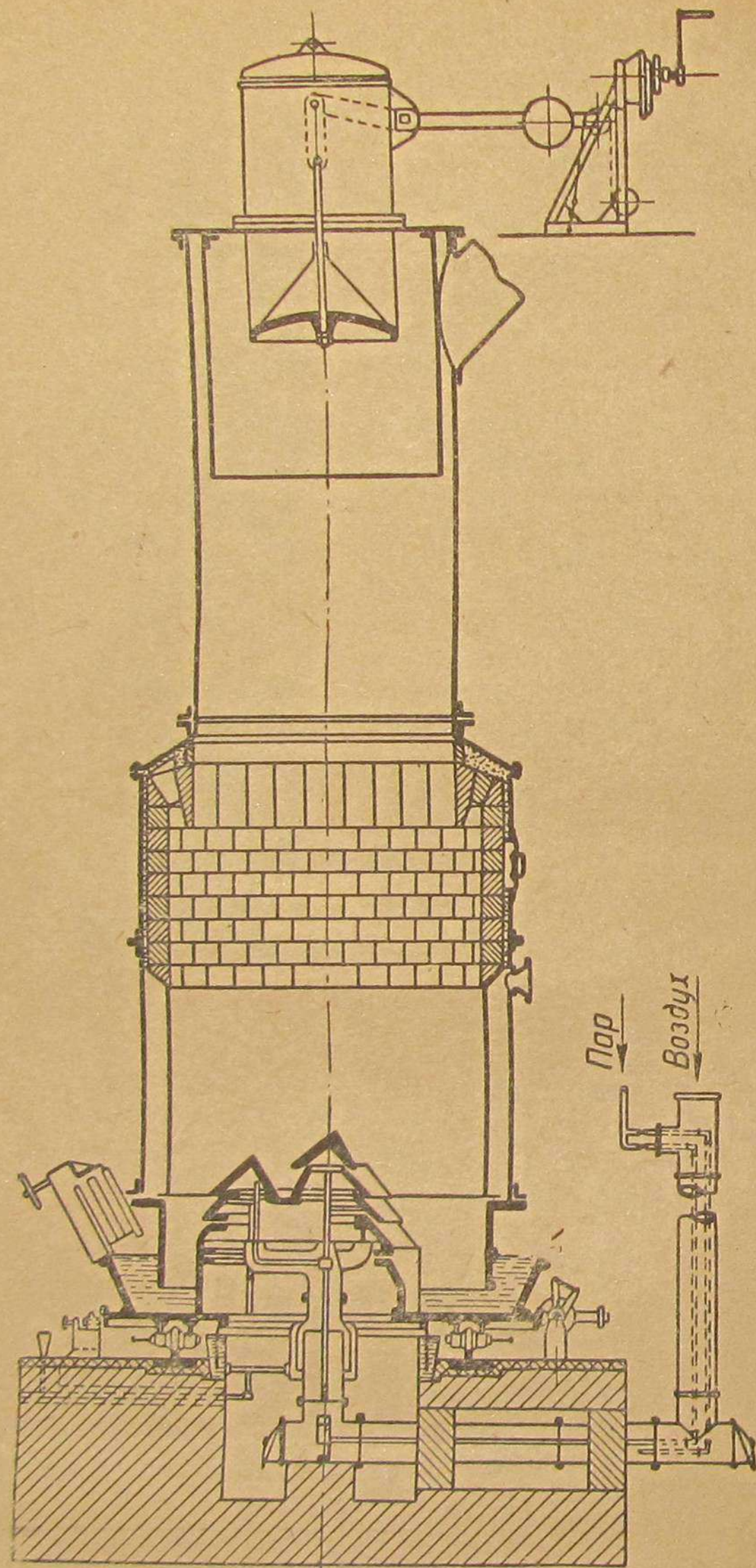
Фиг. 34. Газогенератор Бамаг (внешний вид).



Фиг. 35. Несущий и ведущий ролики генератора Бамаг.

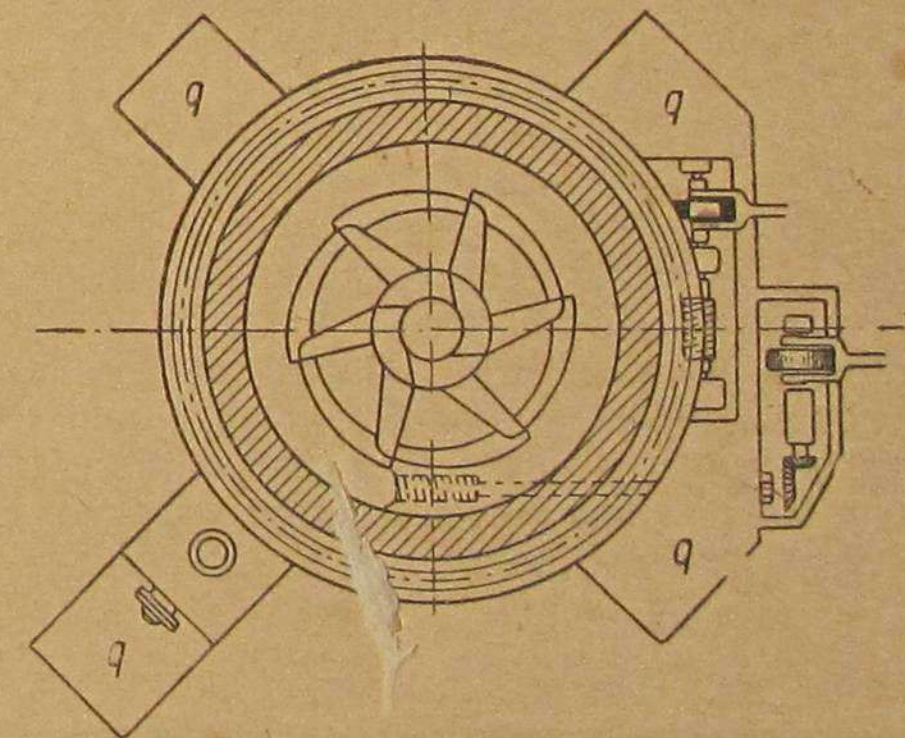
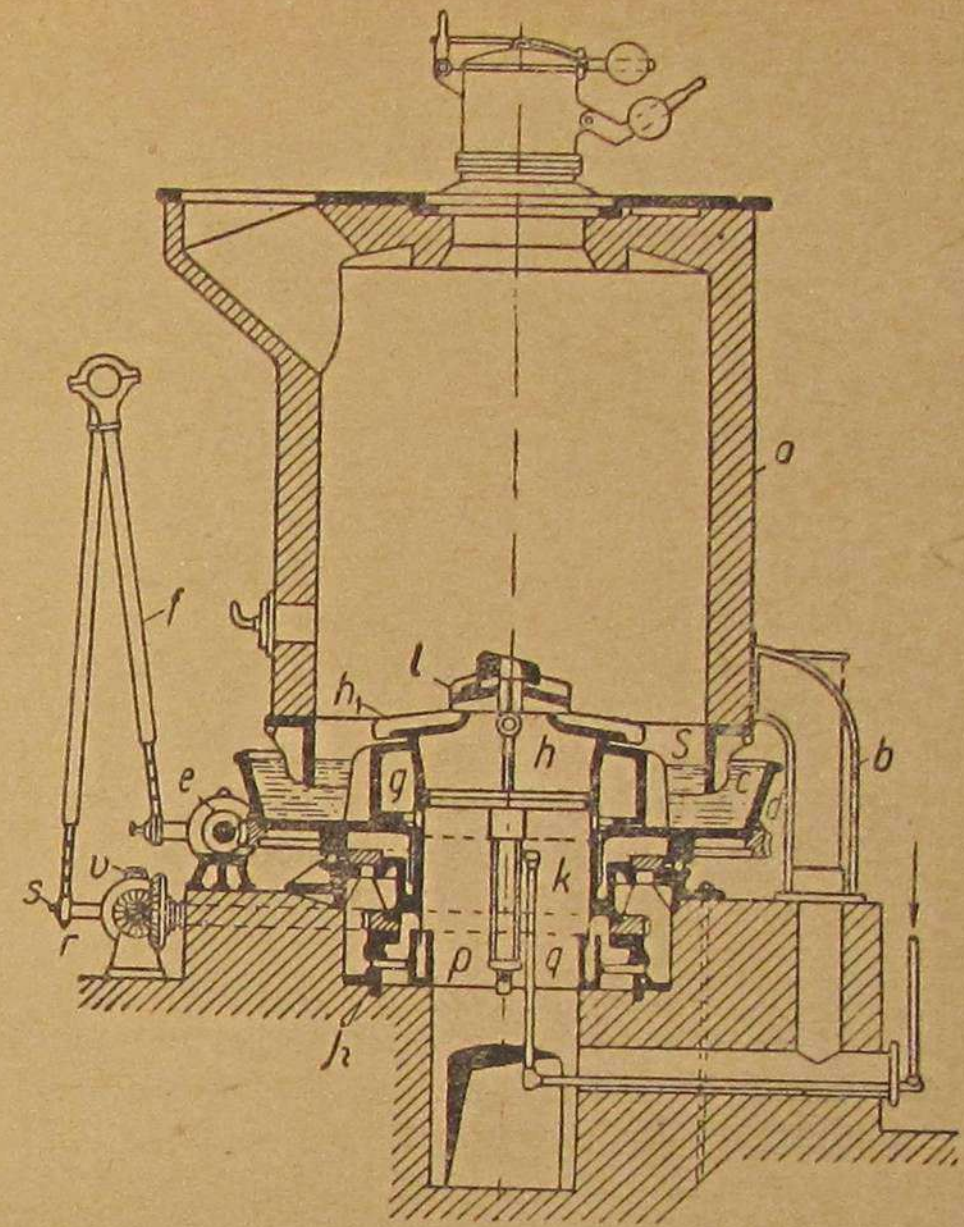
решетки, для чего воздухопровод имеет два кольцевых гидравлических затвора. Кроме паровоздушной смеси под самые головки решеток подведен пар, которым можно смягчать шлаки по прекра-





Фиг. 36. Газогенератор с решеткой Ремана.

щении дутья. Вся решетка имеет сильно скошенную неправильную форму опять-таки в целях наилучшего разбивания шлаков. Эксцен-



Фиг. 37. Газогенератор Витковицкого завода с двумя самостоятельными приводами для решетки и чашки.

триситет решетки очень велик, так как расстояние между осями решеток 600 мм, так что решетка сдвигает шлаки на окружности



радиусом около 1 000 мм, т. е. почти на полном сечении шахты. Решетка ремана работает с 1913 г. на Вернесалдинском металлургическом заводе на одном из самых тяжелых углей — кизеловском — с точкой плавления золы 900° Ц, давая превосходно выжженные шлаки.

Фиг. 37 дает общее представление об интересной конструкции Витковицкого завода, имеющей два самостоятельных привода для решетки и чаши, вращающихся поэтому независимо одна от другой, что дает некоторые преимущества в отношении управления процессом.<sup>1</sup>

### 3. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СОВРЕМЕННОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Во всех прочих основных деталях кроме решетки все генераторы смешанного газа с кирпичной обмуровкой шахты в значительной степени сходны между собой.

Поэтому мы не будем здесь подвергать сравнительному изучению такие элементы генератора как осевые ролики, червячный венец и винт, шлаковый нож и т. д.

В качестве систематического перечисления всех типовых элементов, составляющих современный газогенератор, можно привести содержание спецификации для газогенератора Пинча с вращением решетки.

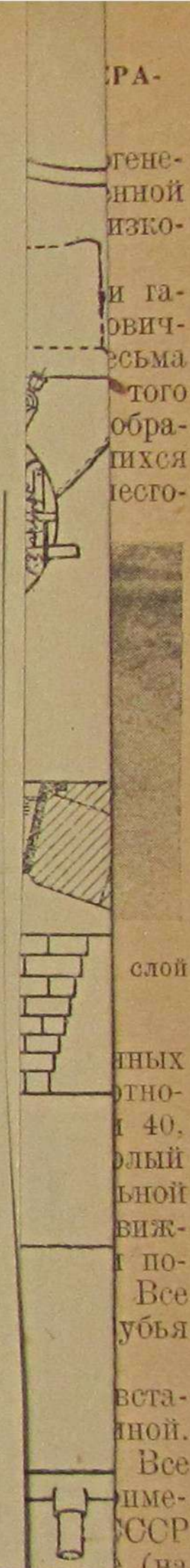
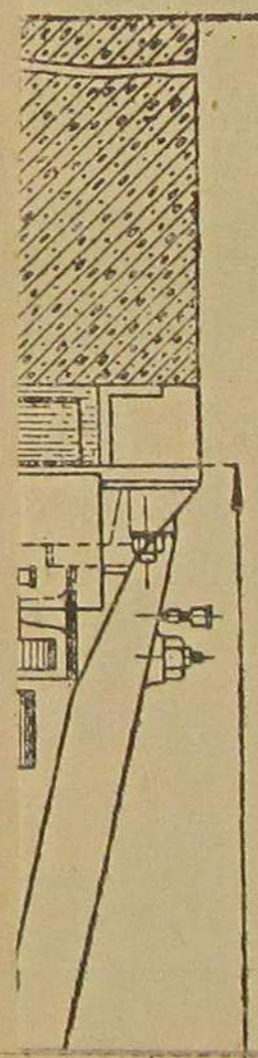
Генератор состоит из нижней и верхней частей:

а) Нижняя часть — чугунная золовая чаша с посаженной на нее ступенчатой конической решеткой из специального чугуна со стальной головкой, стальными скреплениями, с расположенным внизу гидравлическим затвором. Вся установка вращается на легко доступных опорных роликах и центрируется направляющими роликами, укрепленными на толстой чугунной фундаментной плите. Устройство для удаления золы состоит из регулируемого на глубину главного шлакового ножа и вспомогательных ножей. Полный вращательный механизм для генератора с червячной передачей и венечным колесом, с золовой дверцей для доступа в шахту (в фундаменте) под колосниками и другой арматурой.

б) Верхняя часть — железный кожух с нижним железным сменным кольцом, входящим в водяной затвор нижней части генератора, покоящейся на колонках, из которых одна служит в качестве трубопровода для подвода паро-воздушной смеси под решетку. Железная крышка с подвесным швельцилиндром (частично чугун и железо). Расположенное на крышке загрузочное устройство с двойным колокольным затвором с шуровочными отверстиями с их затворами, а также с трубопроводом для воздушной завесы, по окружности крышки газера, с запорным вентиляем и прочей арматурой.

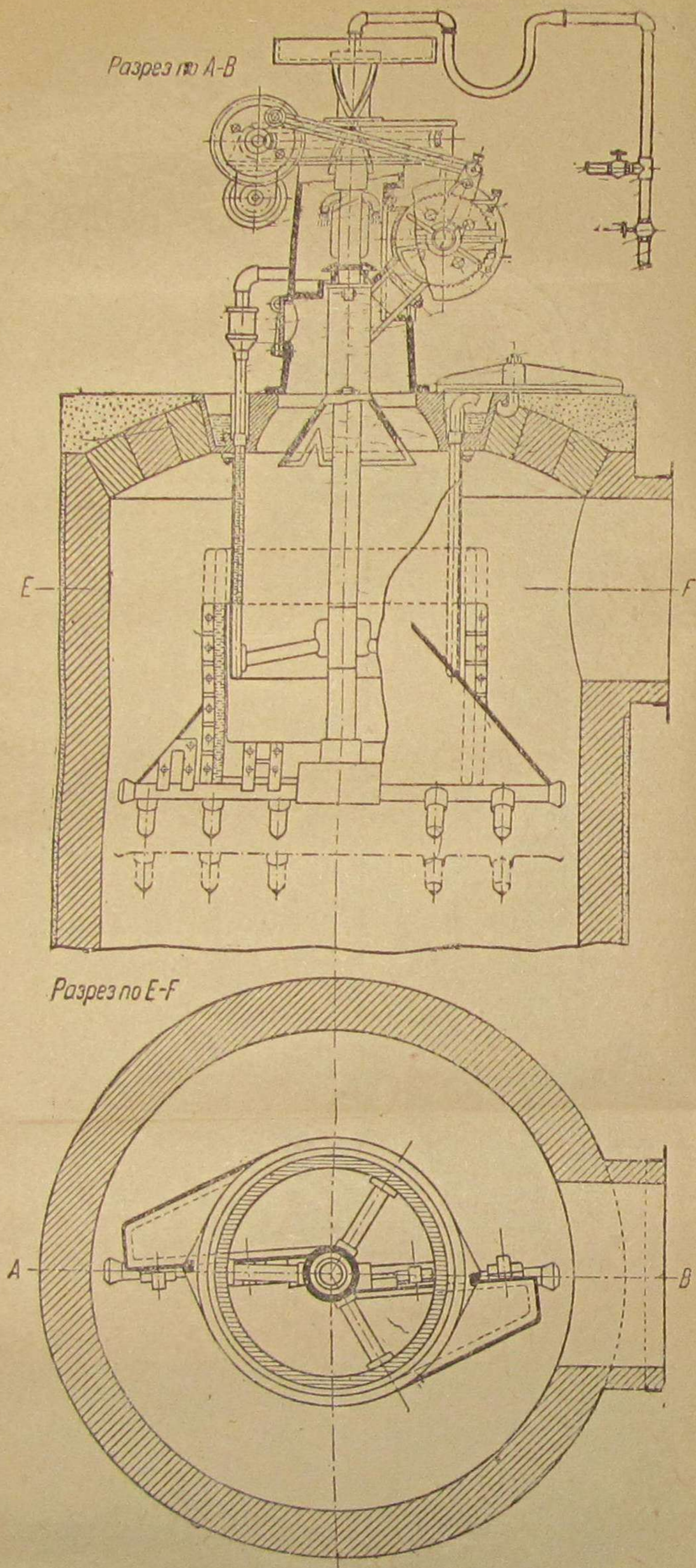
Комплект инструментов для шуровки и выгреба золы.

<sup>1</sup> Тренклер предложил для бурого угля интересную конструкцию секционного генератора, разделенного перегородками на самостоятельно работающие камеры, с корзиночной решеткой (См. Де-Гралья, Использование отбросной и избыточной энергии, перев. под ред. Лазарева, 1931.)

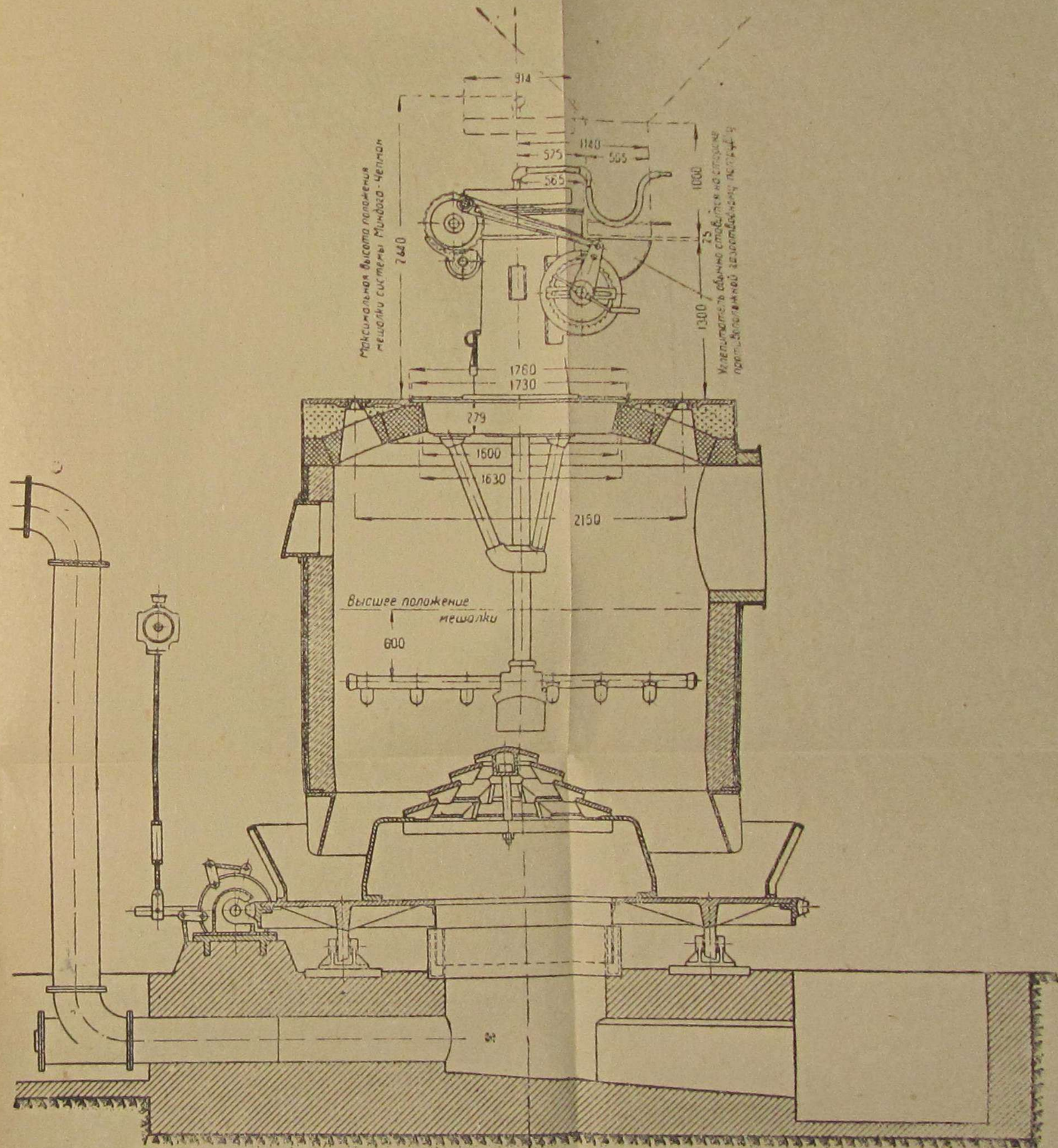


Урале) для богословского угля. Инженерами Златоустинского завода Г. В. Зайченковым и В. Ф. Фидлером была предложена для мало-спекающегося челябинского угля гладкая мешалка без зубьев, что следует признать правильным, так как мешалка с зубьями, хорошо справляющаяся со слишком большой массой каменного угля, давала бы на



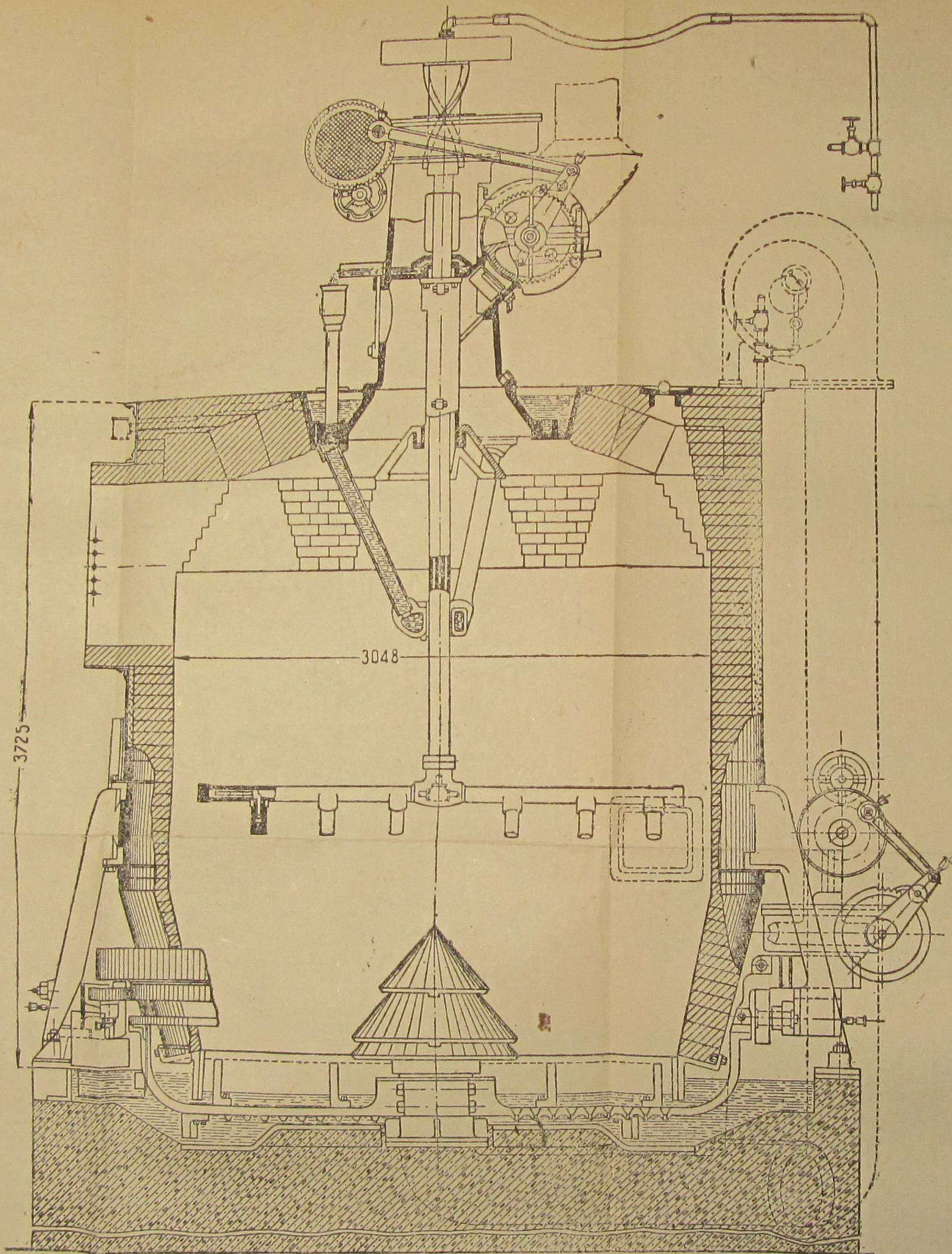


Фиг. 38. Генератор с мешалкой Чепмана в исполнении Отто Дейц



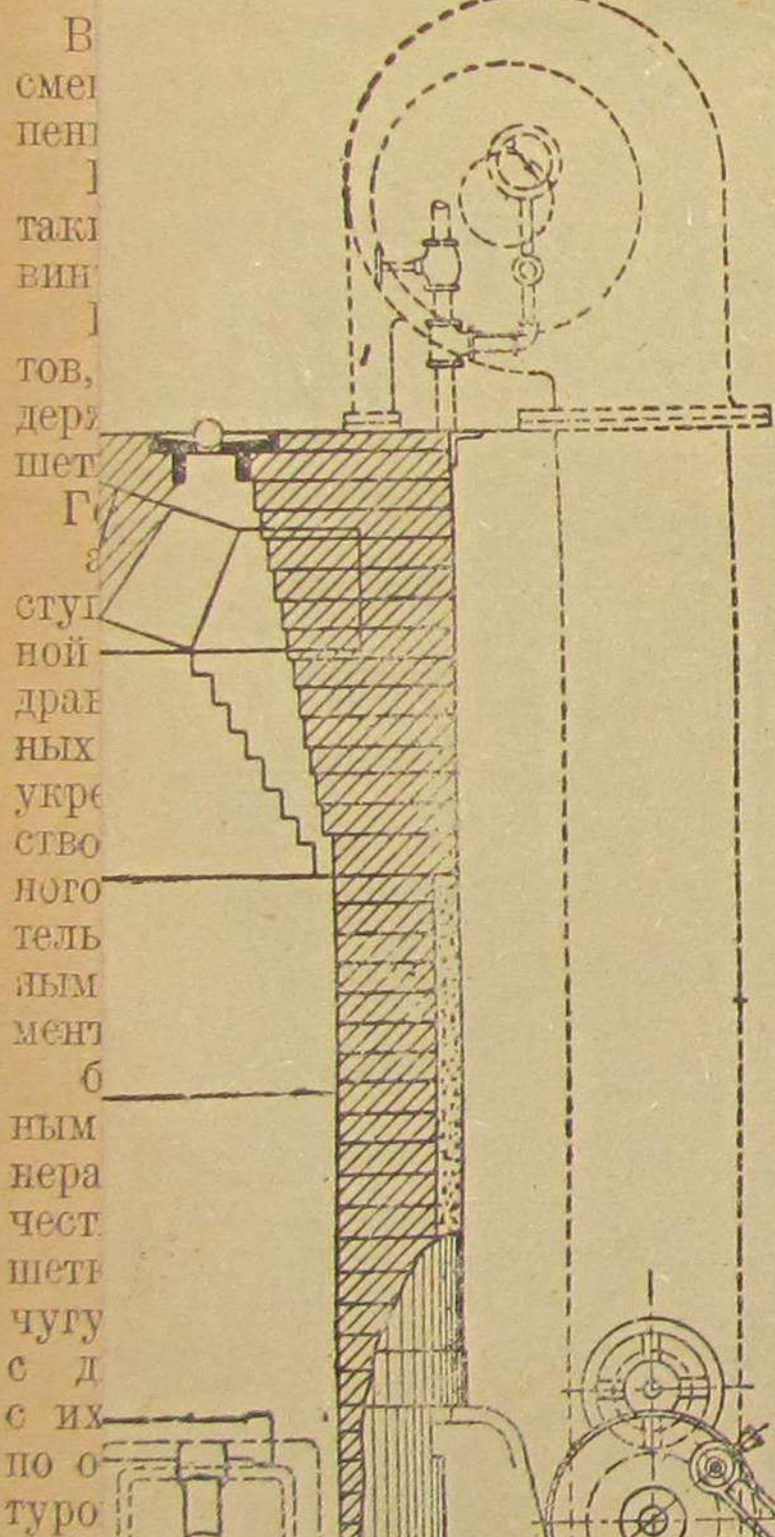
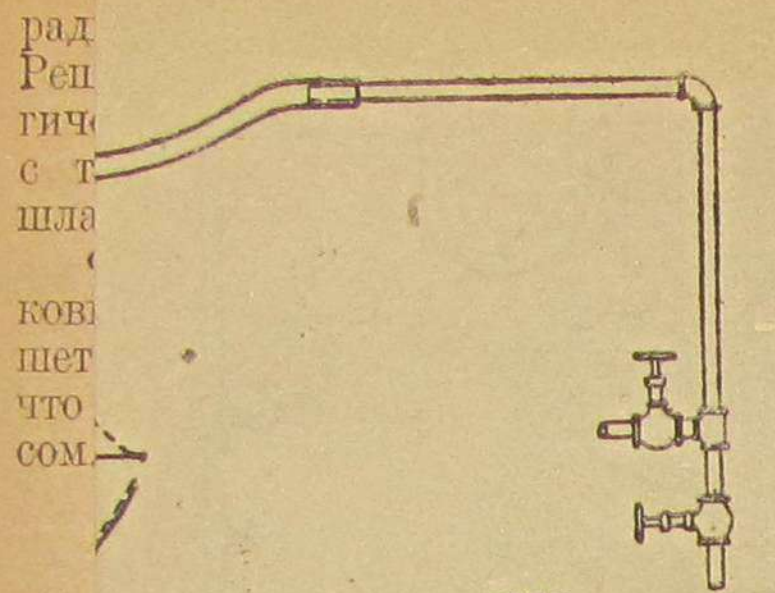
Фиг. 39-а. Генератор Хут-Ретгер с мешалкой Миндога Чепмана.





Фиг. 39-б. Генератор с мешалкой Чепмана.





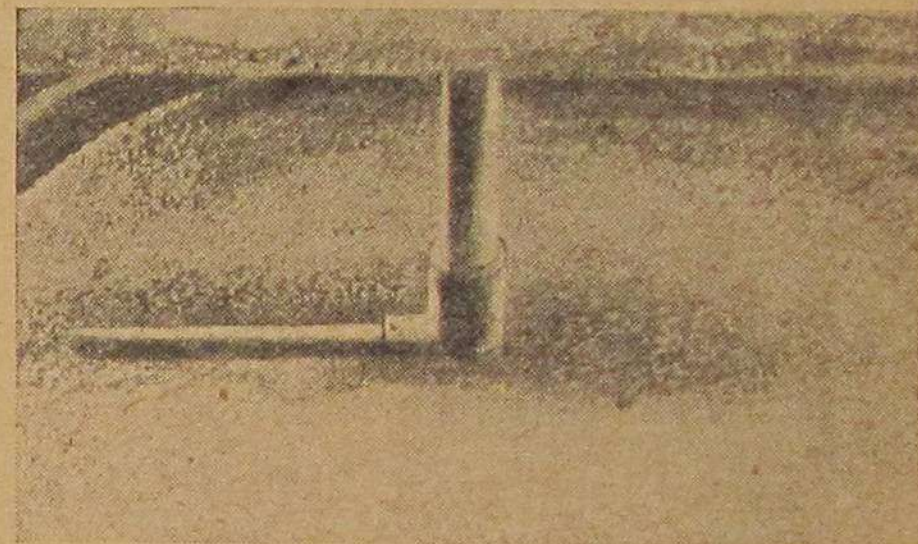
Комплект инструментов для шуровки и выпреба золы.

<sup>1</sup> Тренклер предложил для бурого угля интересную конструкцию секционного генератора, разделенного перегородками на самостоятельно работающие камеры, с корзиночной решеткой (См. Де-Граль, Использование отбросной и избыточной энергии, перев. под ред. Лазарева, 1931.)

#### 4. СОВРЕМЕННЫЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

Перейдем к краткому описанию новейших конструкций газогенераторов, вызванных к жизни основными тенденциями современной теплотехники — увеличения мощности установок, применения низкосортного топлива и повышения к. п. д. установки.

Развитие газогенераторов шло по разным направлениям. При газификации пламенных углей типа наших газовых (Г) или паровичных (ПЖ, Ф и т. п.), как выше уже было указано, имеет место весьма неприятное явление спекания угля в большие глыбы или еще того хуже, в сплошные висячие мосты, что ведет, с одной стороны, к образованию прогаров и, с другой стороны, к оплакованию спекшихся крупных кусков скоксовавшегося угля, остающихся внутри нестро-



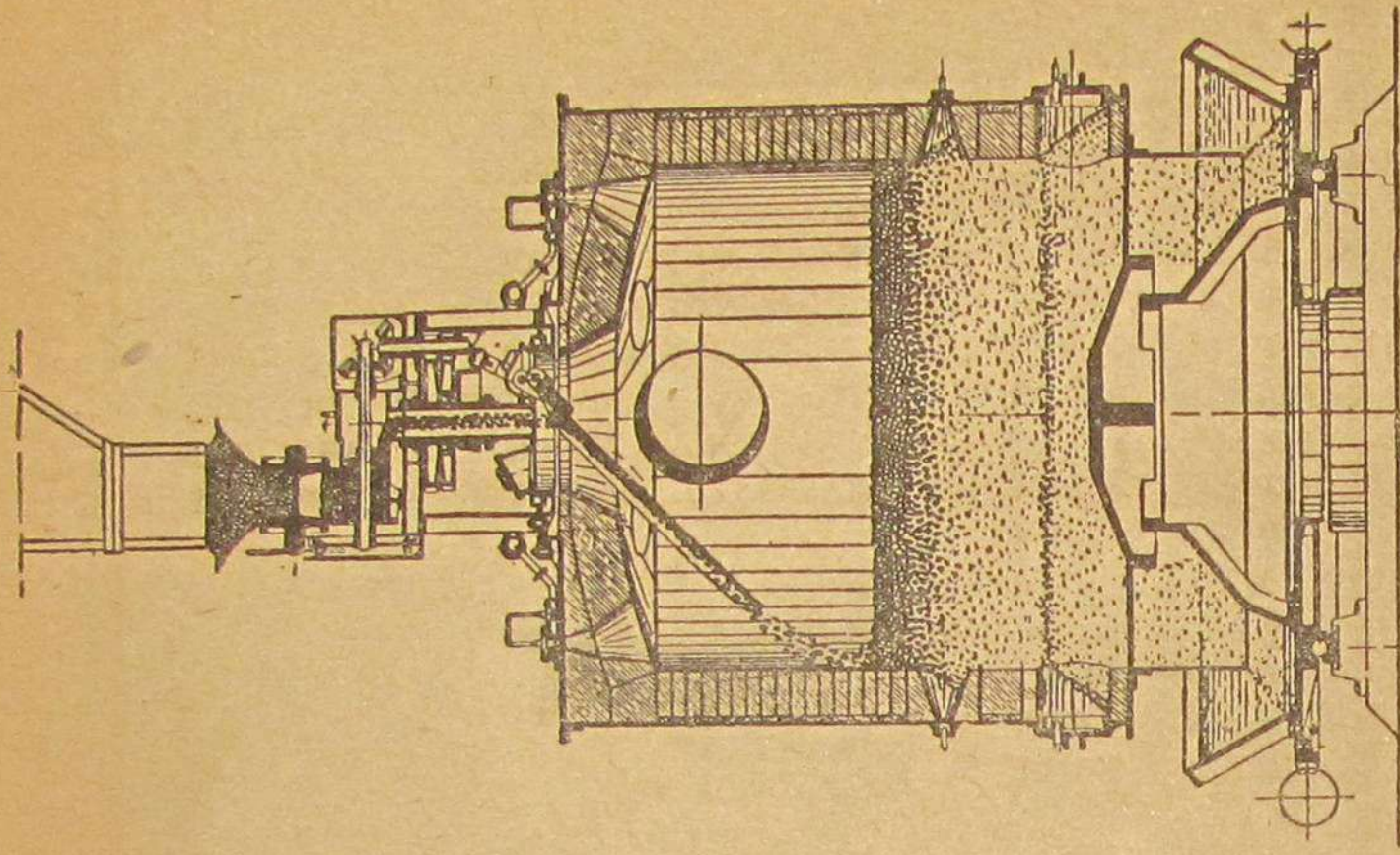
Фиг. 40. Действие мешалки Чепмана на слой топлива.

ревшими. То же явление получается и при шлаковании. Образуются две и больше зон горения и штанги, опущенные сверху до дна чаши, выходят «полосатыми» — темные, раскаленные, снова темные и т. п. Для предотвращения этого обычно прибегают к ручной шуровке, которую иногда приходится производить каждые 10 — 15 мин. В связи с этим появились конструкции меха-

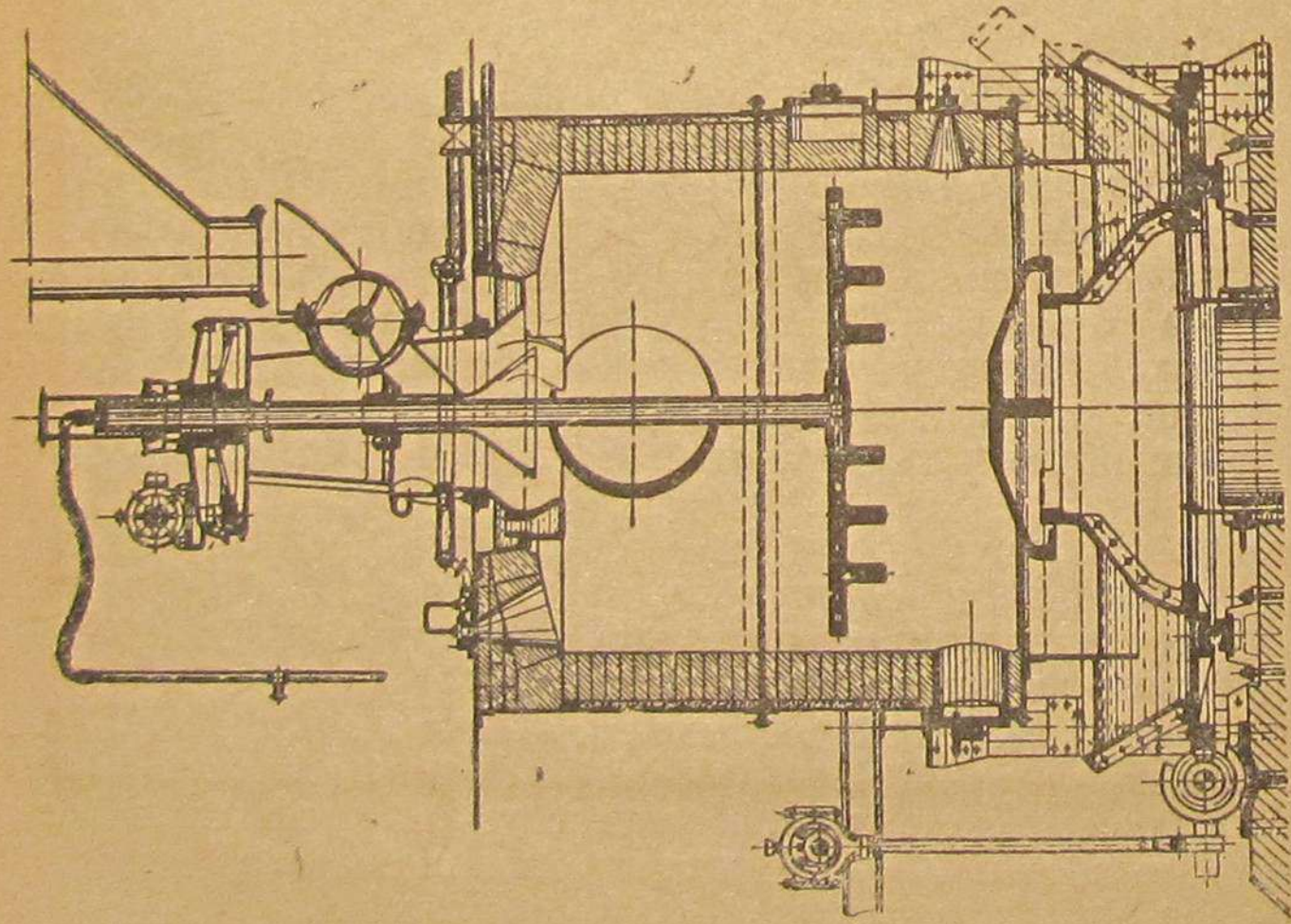
нических, непрерывно действующих мешалок, обычно соединенных с автоматически действующим засыпным аппаратом. К их числу относится механический аппарат Чепмана, показанный на фиг. 39 и 40, в соединении с генератором Хут-Ретгер. Он представляет собой полый горизонтальный стержень с зубьями, вращающийся на вертикальной оси. Ось эта закреплена во втулке, покоящейся в двух неподвижных укосинах, и имеет на верхнем конце винтовую нарезку, при помощи которой мешалка может подниматься или опускаться. Все тело мешалки полое и имеет внутреннее водяное охлаждение. Зубья сменные.

Засыпной аппарат представляет собой крыльчатый барабан, вставленный в обычную засыпную воронку с изогнутой горловиной. В воронку почти вплотную входит засыпной отросток бункера. Все это устройство с хорошими результатами для каменного угля применяется на многих заводах в Германии, Бельгии и Франции. В СССР подобные генераторы были установлены на Надеждинском заводе (на Урале) для богословского угля. Инженерами Златоустинского завода Г. В. Зайченковым и В. Ф. Фидлером была предложена для мало-спекающегося челябинского угля гладкая мешалка без зубьев, что следует признать правильным, так как мешалка с зубьями, хорошо справляющаяся со слипшейся массой каменного угля, давала бы на



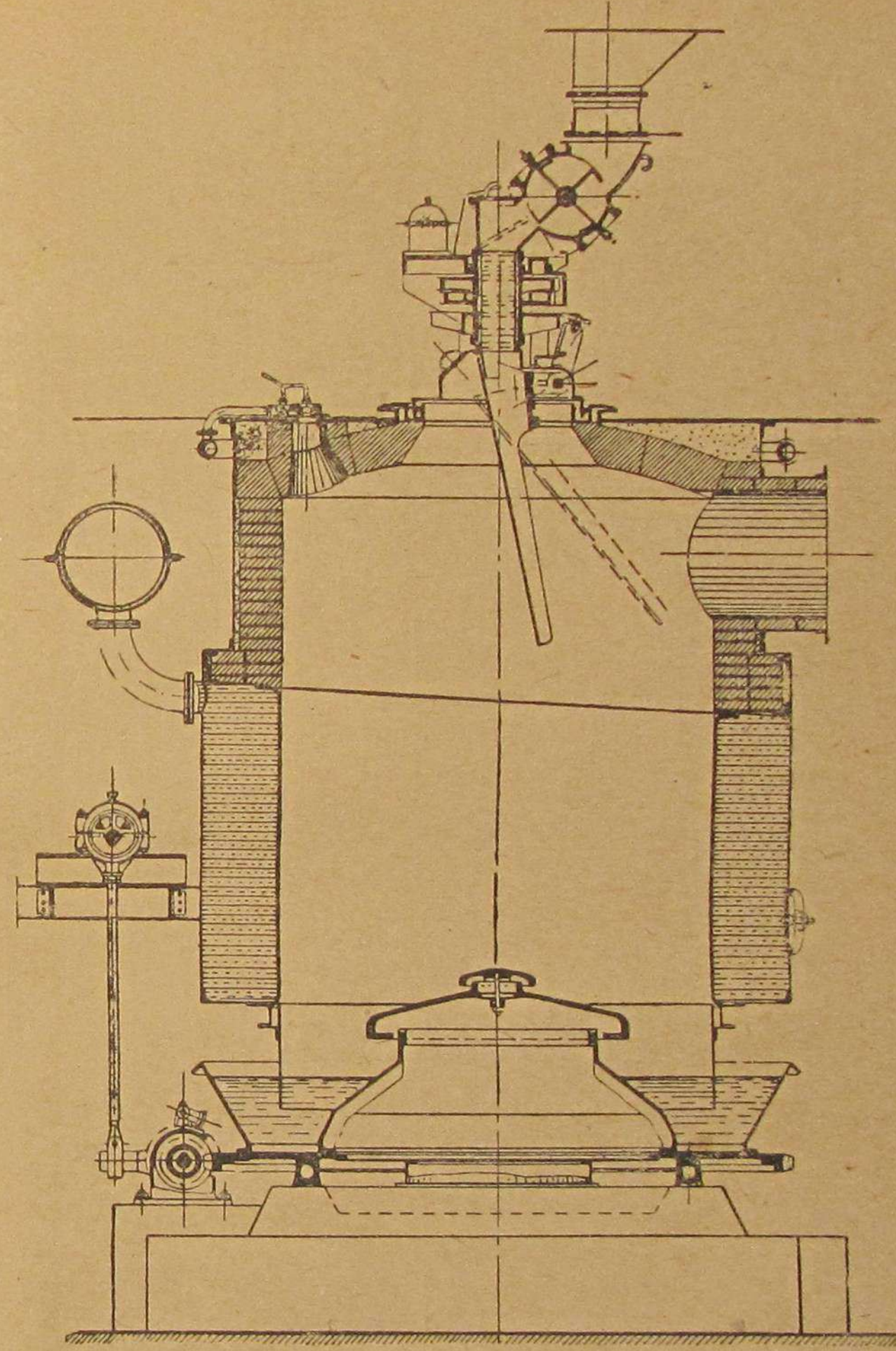


Фиг. 42. Генератор Гильгер-Петтер с автоматической червячной подачей топлива и вращающимся распределительным желобом.



Фиг. 41. Генератор Гильгер-Петтер с автоматической барабанной загрузкой и мешалкой Чепмана. (Сходная конструкция имеется на Нов. Луганск. заводе).

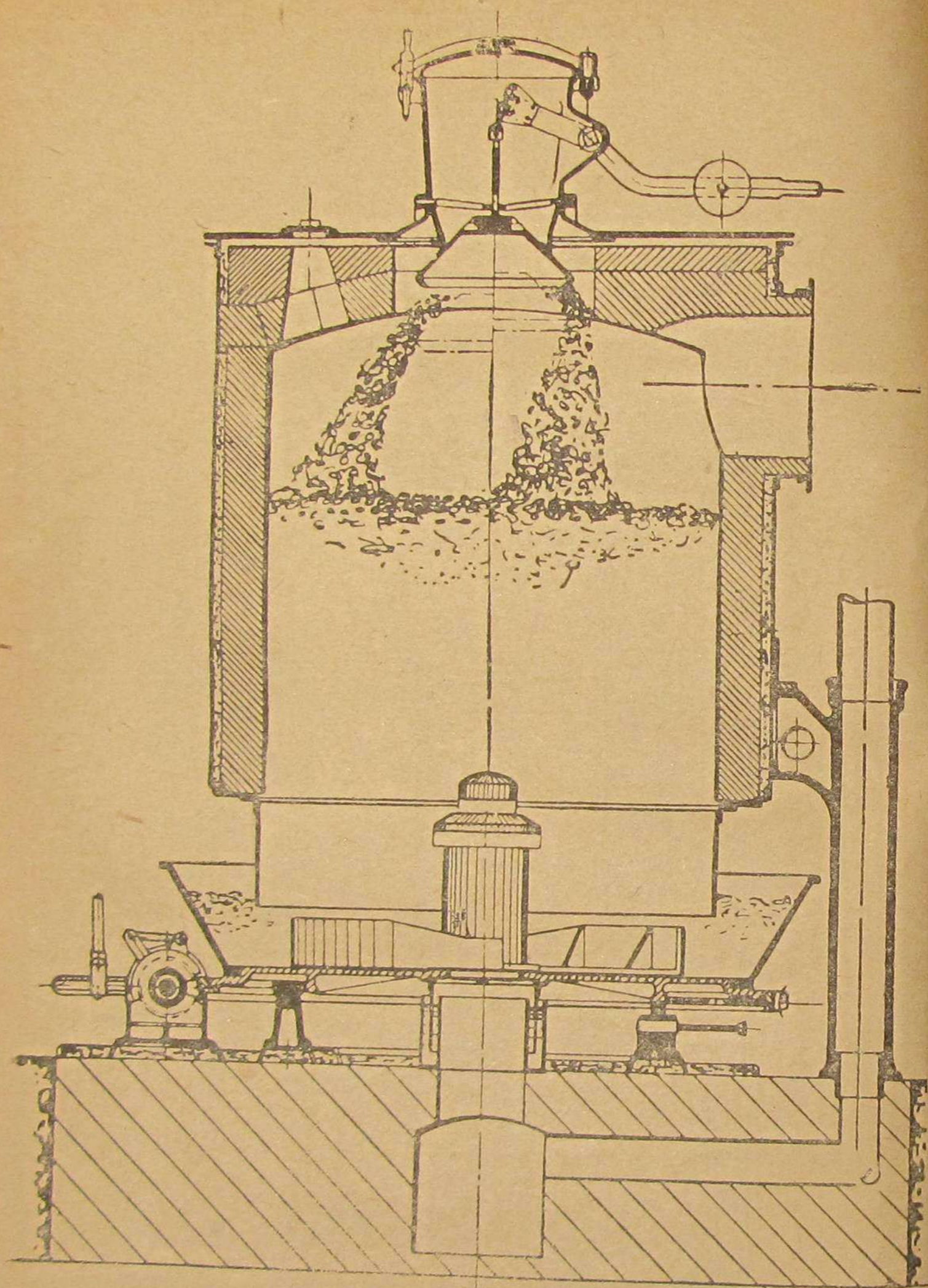
неспекающемся челябинском угле большое количество пыли; назначение гладкой мешалки — разглаживать и разравнивать слой топлива. С другой стороны, для особо сильно спекающихся углей типа



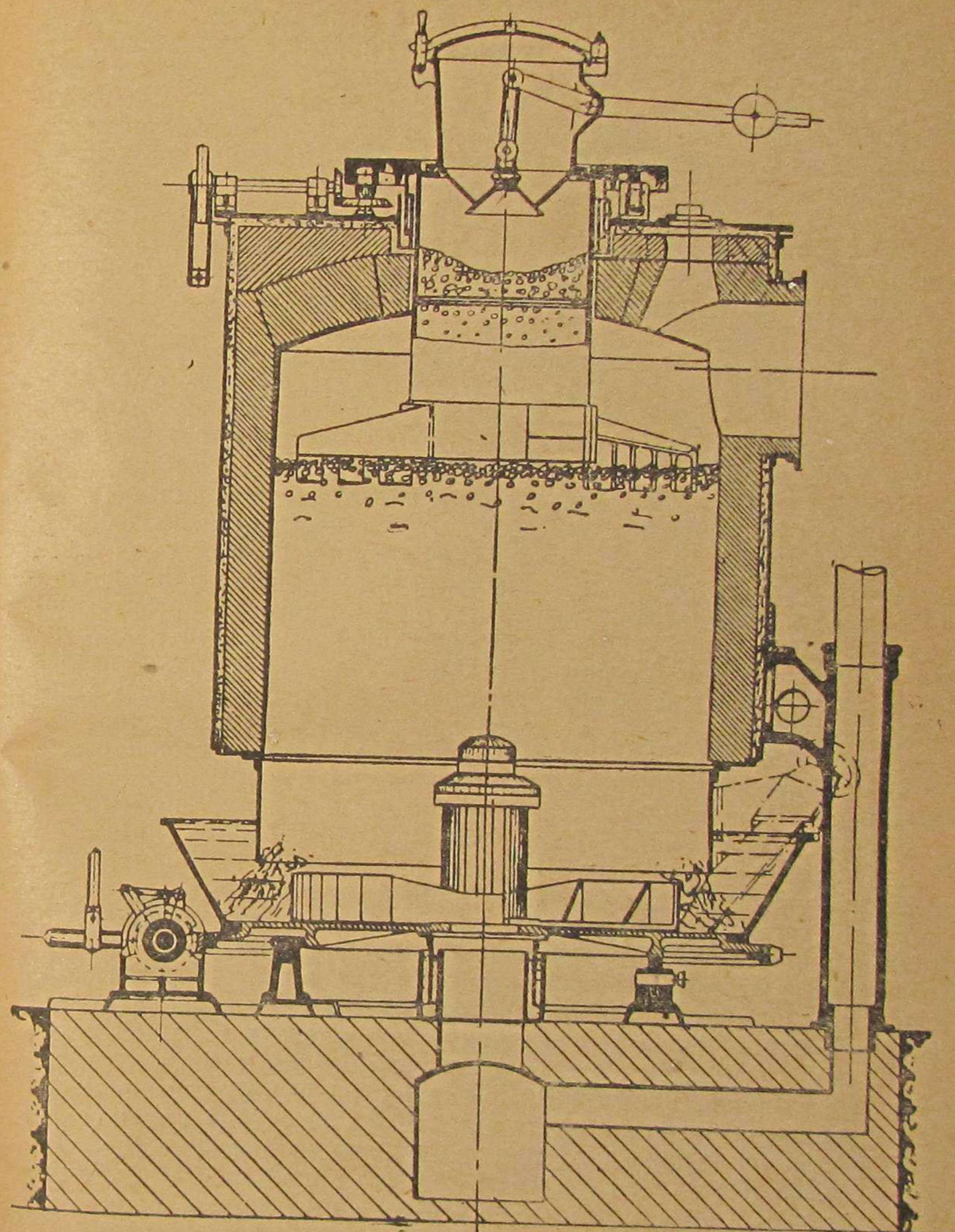
Фиг. 43. Генератор Гильгер-Петтер с водяной рубашкой.

наших углей К и ПС, некоторых сортов ПЖ и Ф мешалка Чепмана во всех своих разновидностях мало пригодна, так как она имеет благодаря своей длине слишком большой изгибающий момент относительно оси и поэтому будет гнуться. В этих случаях применяется





Фиг. 44. Генераторы Демаг: 1 — с ручной загрузкой;



2 — с механической загрузкой и мешалкой системы Демаг.



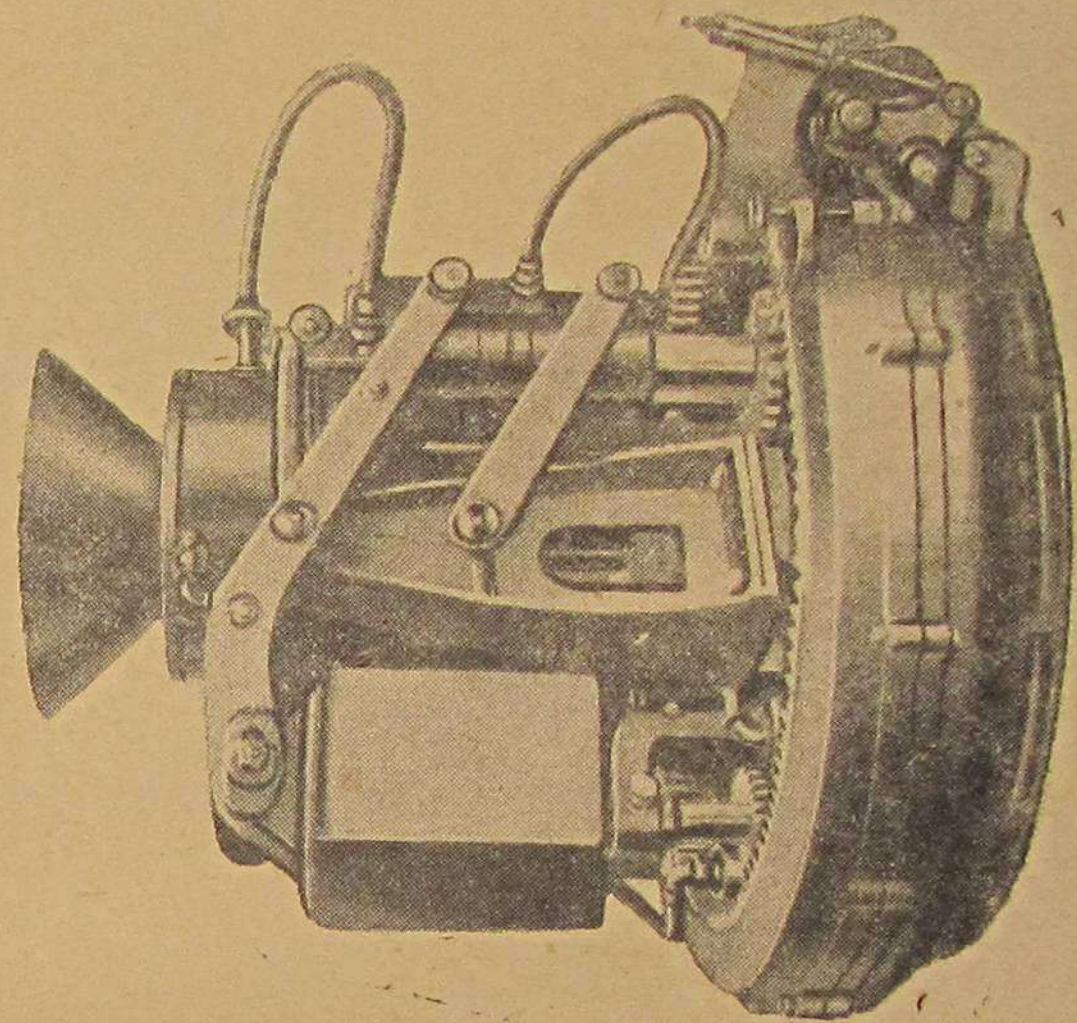
более сильная мешалка Вельмана, о которой будет упомянуто при описании соответствующего газогенератора. Мешалка Чемпана в исполнении фирмы Отто Дейц (фиг. 38) имеет наклонные зубья с наклоном в разные стороны, расположенные в шахматном порядке — для лучшего разгребания спекшихся кусков угля. Кроме того, на оси мешалки имеются горизонтальные стержни, способствующие равномерному поступлению угля из засыпного устройства. Засыпной аппарат обычного типа в виде барабана с крыльчатым питателем на горизонтальной оси; из барабана уголь падает в цилиндр, подвешенный к крышке генератора. Внутри цилиндра проходит ось мешалки с насаженными на ней стержнями. При вращении мешалки уголь равномерно подается на поверхность слоя. Корпус мешалки и цилиндр охлаждаются водой. Мешалка имеет еще специальные косые выступы, еще более способствующие разбиванию кусков спекшегося угля.

Фиг. 41 показывает внешний вид агитатора (мешалки) и засыпного аппарата Ротор (Rotor) фирмы Петтер. Фиг. 40 показывает действие мешалки на слой топлива. Мешалка гонит перед собой волну угля, оставляя за собой впадину. В прежних конструкциях мешалка поднималась толчком вверх, наткнувшись на какое-либо препятствие в виде спекшихся кусков угля и т. д., и таким образом обходила его; спекшаяся масса оставалась неразбитой. Наоборот, в новых конструкциях мешалка переставляется только от руки в зависимости от высоты топлива, например, при переходе на другой уголь и т. д. Слой топлива получает при этом совсем ровную поверхность. Фиг. 42 показывает засыпной аппарат другой конструкции системы «Standard» без мешалки. Уголь из воронки падает в шнек, которым подается в вертикальную трубу, соединенную с наклонным желобом. Труба и желоб вращаются, и, кроме того, меняется угол наклона желоба, благодаря чему обеспечивается совершенно равномерное распределение топлива по поверхности; эта система наиболее применима для неспекающихся углей. Фиг. 43 дает более новую конструкцию Петтер-Стандарт с барабанным питателем и двухступенчатой решеткой. В целях уменьшения пыления фирма Петтер применяет так называемый «цепной фильтр»: в отводном газопроводе устанавливается завеса из цепей, задерживающая пыль. Другими фирмами этот метод не применяется. По нашему мнению этот способ применим в тех случаях, когда газифицируется мало смолистый уголь типа полуантрацитов или прокопьевских доменных углей или когда можно держать температуру газа в отводной трубе в очень жестких пределах, не допуская конденсации паров смолы или образования жирной сажи. В противном случае отверстия цепей быстро засорятся. При сухой тяжелой пыли возможно при помощи постукивания по газопроводу или встряхивания цепей сбрасывать пыль на дно трубы и затем выгребать ее через какой-либо люк. Лучше всего подвесить в этом месте воронку с откидным дном и противове-

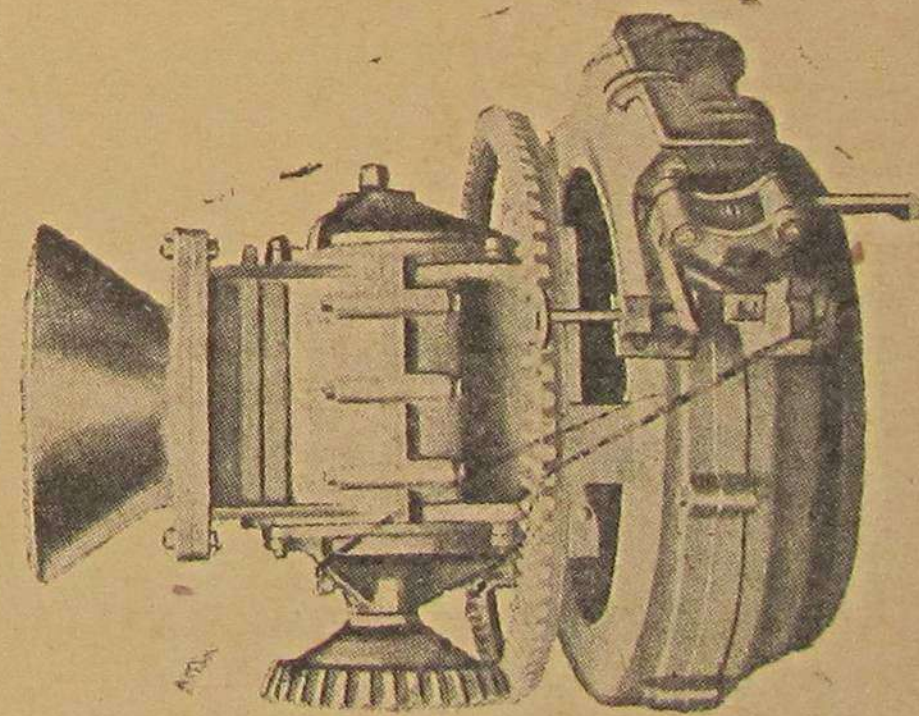
сом. Фиг. 44 представляет интересную конструкцию распределителя и агитатора системы Демаг.

Отлична от вышеуказанных конструкций система Бентли и Эплеби (Bentley et Appleby) в исполнении фирмы Гертей и Соважен. Ее

автоматический питатель представлен на фиг. 45. Весь корпус питателя вместе с распределяющим конусом имеет основное вращение вокруг вертикальной оси, благодаря чему происходит равномерное засыпание угля по всей окружности шахты. В то же время четырехкрыльчатый барабан питателя имеет еще второе вращение от зуб-



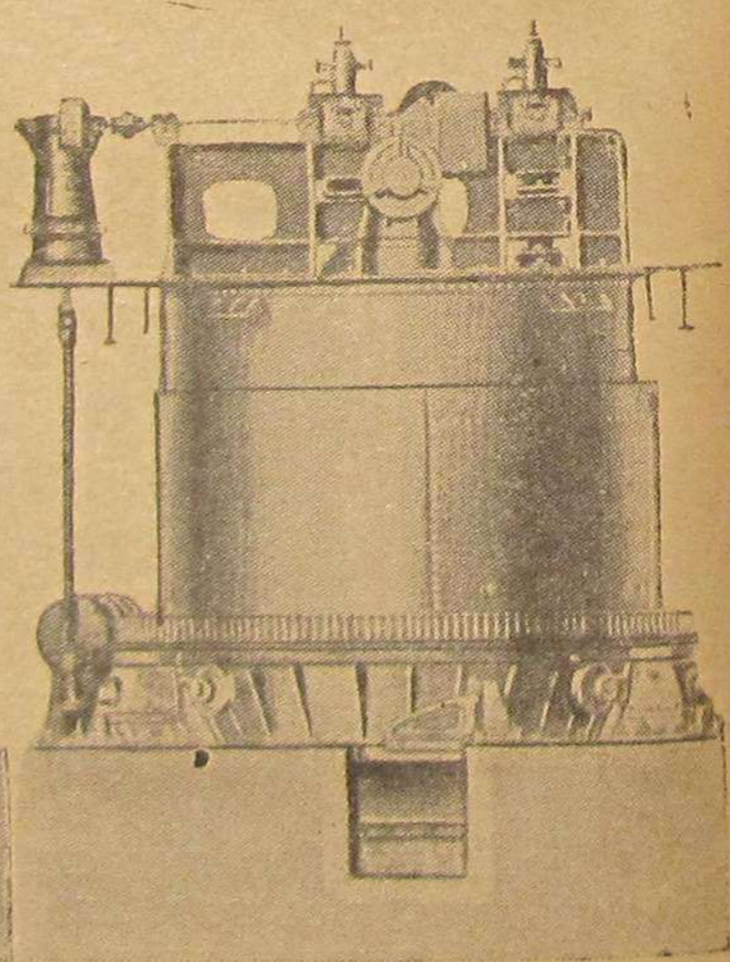
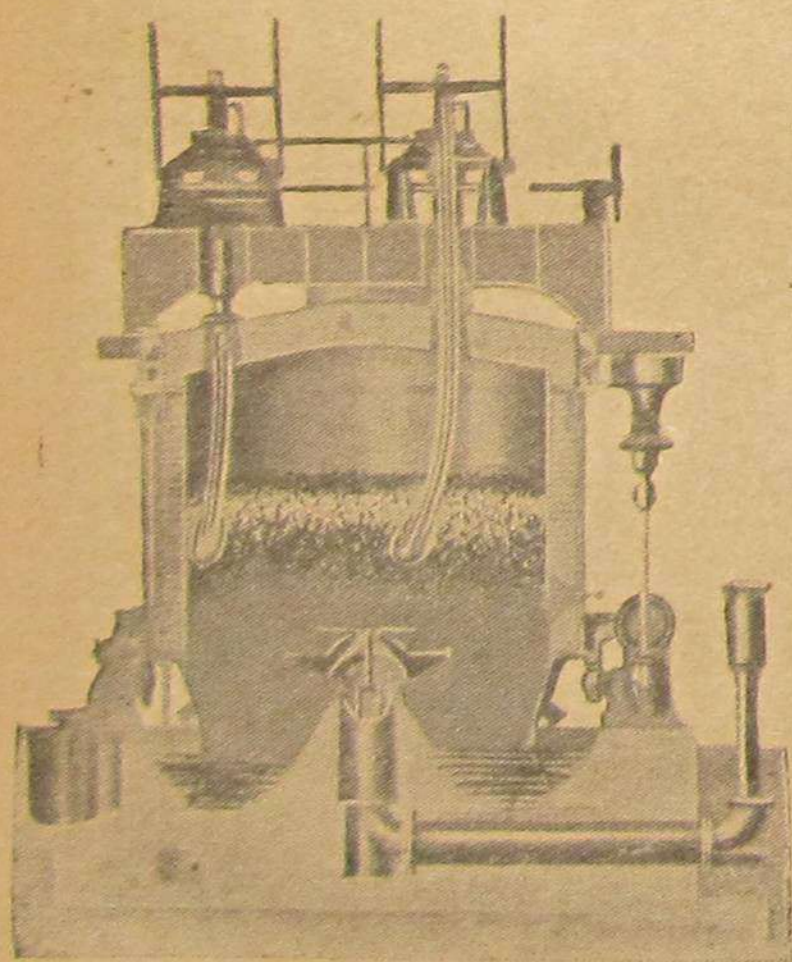
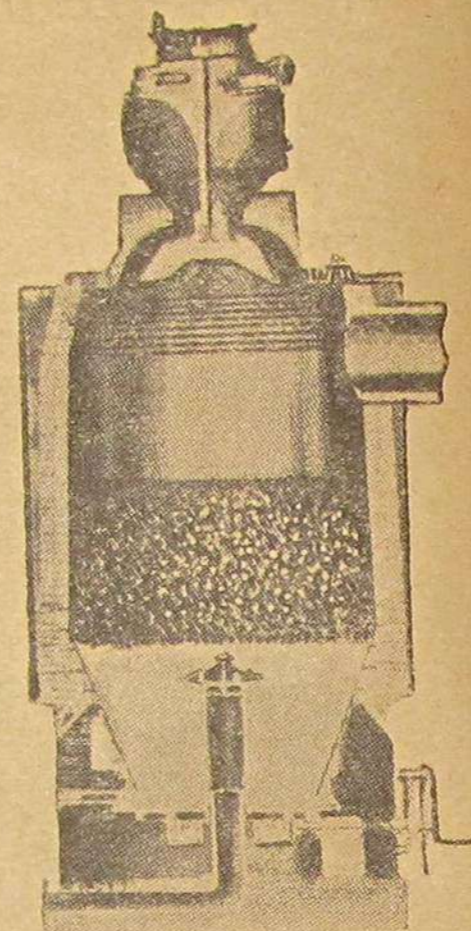
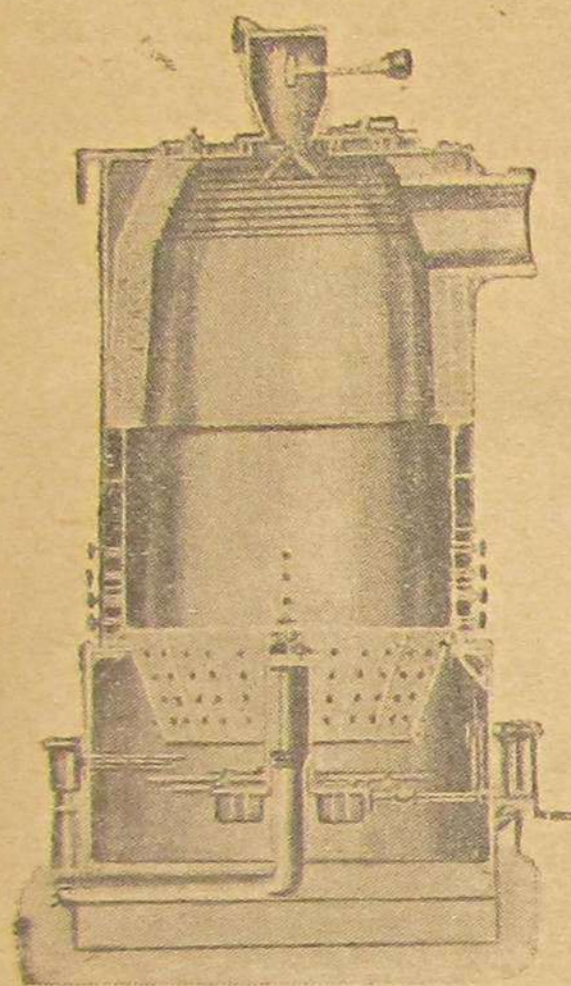
Фиг. 46. Автоматический загрузочный аппарат Гертей и Соважен с двумя вращающимися мешалками.



Фиг. 45. Автоматический загрузочный аппарат Гертей и Соважен с двойным вращением барабана.

чатки, насаженной на горизонтальную ось барабана. Эта зубчатка, вращаясь вместе со всем питателем вокруг вертикальной оси, сцеплена с неподвижной зубчаткой, укрепленной на неподвижной станине питателя, и благодаря этому приходит во вращение вокруг своей оси. Аппарат приводится во вращение от привода через экс-





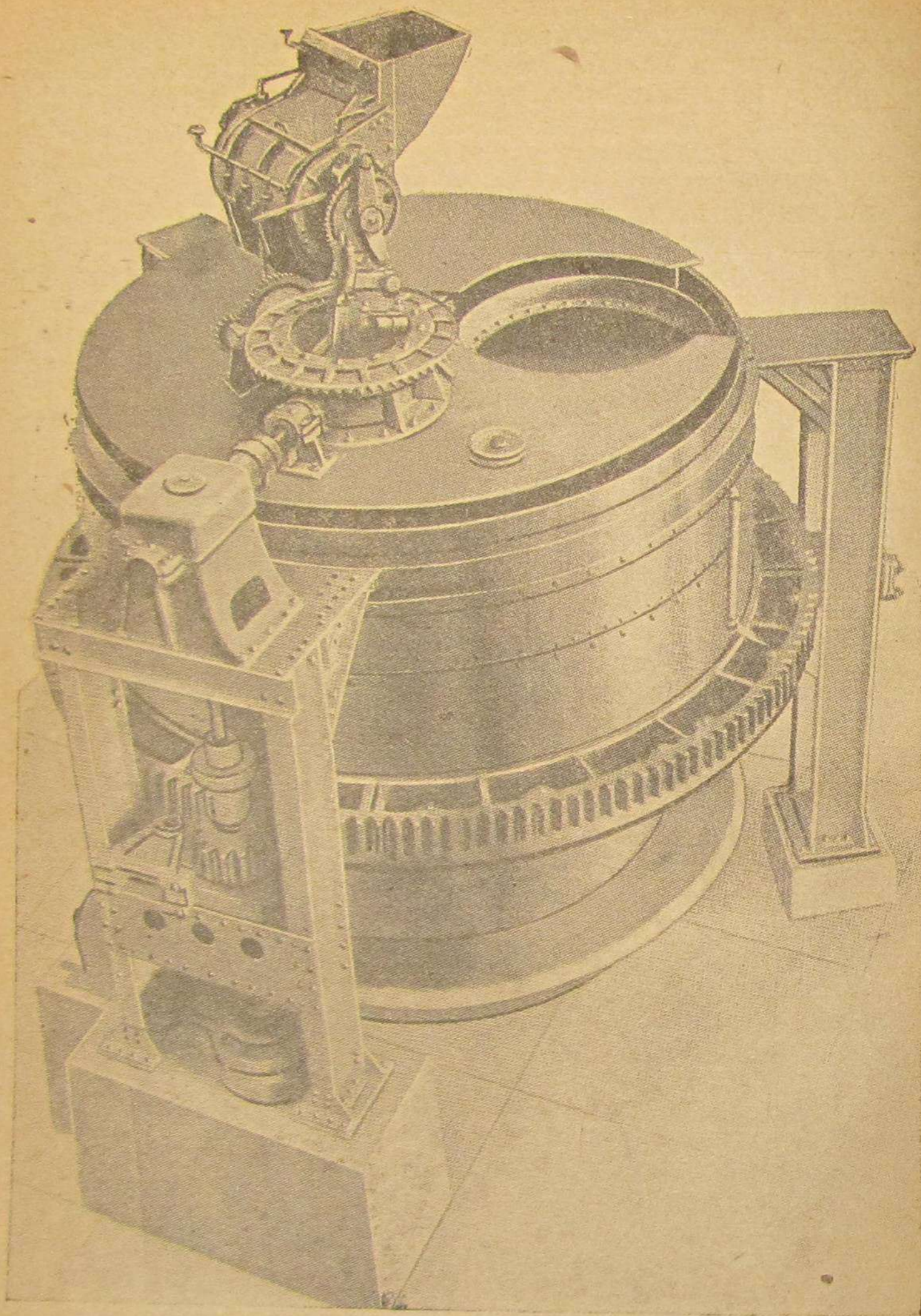
Фиг. 47. Историческое развитие генератора Вуда.

центрик, храповик и червячную передачу так же, как и золотая чаша, т. е. имеет несколько скоростей в зависимости от производительности. Аппарат испытан на сортированном антраците АК и АМ на Семилукском шамотном заводе «Союзогнеупор» и работает удовлетворительно. Мешалки там не были нужны, так как газифицировали неспекающийся антрацит. Для каменных углей применяют мешалки типа Чепмана — с зубьями, но по две мешалки на шахту. При этом мешалки имеют свое собственное вращение — через отдельные зубчатки — независимое от вращения питателя и независимое друг от друга с переменной скоростью (фиг. 46). В СССР таких конструкций не имеется. Предположительно можно сказать, что перемешивание и расшуровывание при двух мешалках, особенно при различной их скорости вращения, будет, конечно, лучше, чем при одной мешалке, а изгибающий момент меньше благодаря меньшей длине рабочей руки мешалки; тем самым увеличивается ее прочность и продолжительность службы.

Недостатком всех вышеупомянутых конструкций автоматической засыпки топлива является их негерметичность, так как крылья питателя от работы, перегрева и т. п. срабатываются и гнутся. Между очертанием крыла и стенки получается зазор, достаточный для пропускания газа. При этом чем выше давление газа, тем больше и его утечка; если даже сосок бункера непосредственно вставлен в воронку питателя, то все же остается достаточный зазор между ними, а сопротивление столба угля, лежащего в воронке питателя, недостаточно для создания затвора. Кроме убытков от потери газа при утечке приходится считаться и с заражением атмосферы цеха, вследствие чего происходит отравление персонала, что и имело место на Семилукском шамотном и Константиновском цинковом заводах. По этим причинам большинство европейских фирм применяют механическую загрузку и мешалки в редких случаях — при особо спекающихся углях, предпочитая герметичность генератора полной его автоматизации.

Наоборот, американцы идут еще гораздо дальше в смысле механизации, применяя в некоторых конструкциях не только непрерывную подачу топлива и непрерывное автоматическое шурование, но и непрерывное вращение корпуса самой шахты. Примером современных американских газогенераторов могут служить новейшие генераторы Вельмана, известные в СССР по работе на константиновских стекольно-бутылочных и цинковом заводах, а также по работе на Сталинском металлургическом заводе (Кузнецкстрой). Фиг. 47, 48 и 49 показывают историю развития конструкции Вуда, подобной конструкции Вельмана, а фиг. 50 — современный генератор Вельмана. Он представляет собой металлическую шахту, несколько суживающуюся книзу на конус. Шахта футерована фасонным кирпичом, отделенным от кожуха шамотной засыпкой. Нижняя часть шахты, погруженная в воду, не обмурована и имеет с внутренней стороны несколько железных ребер, помогающих сдвиганию шлака. Шахта вращается на шести вертикальных роликах, установленных парами на трех поддерживающих колоннах. На тех же колоннах установлены направляющие горизонтальные ролики, не позволяющие шахте сдвинуться со своей оси. Шахта имеет специальный стальной составной

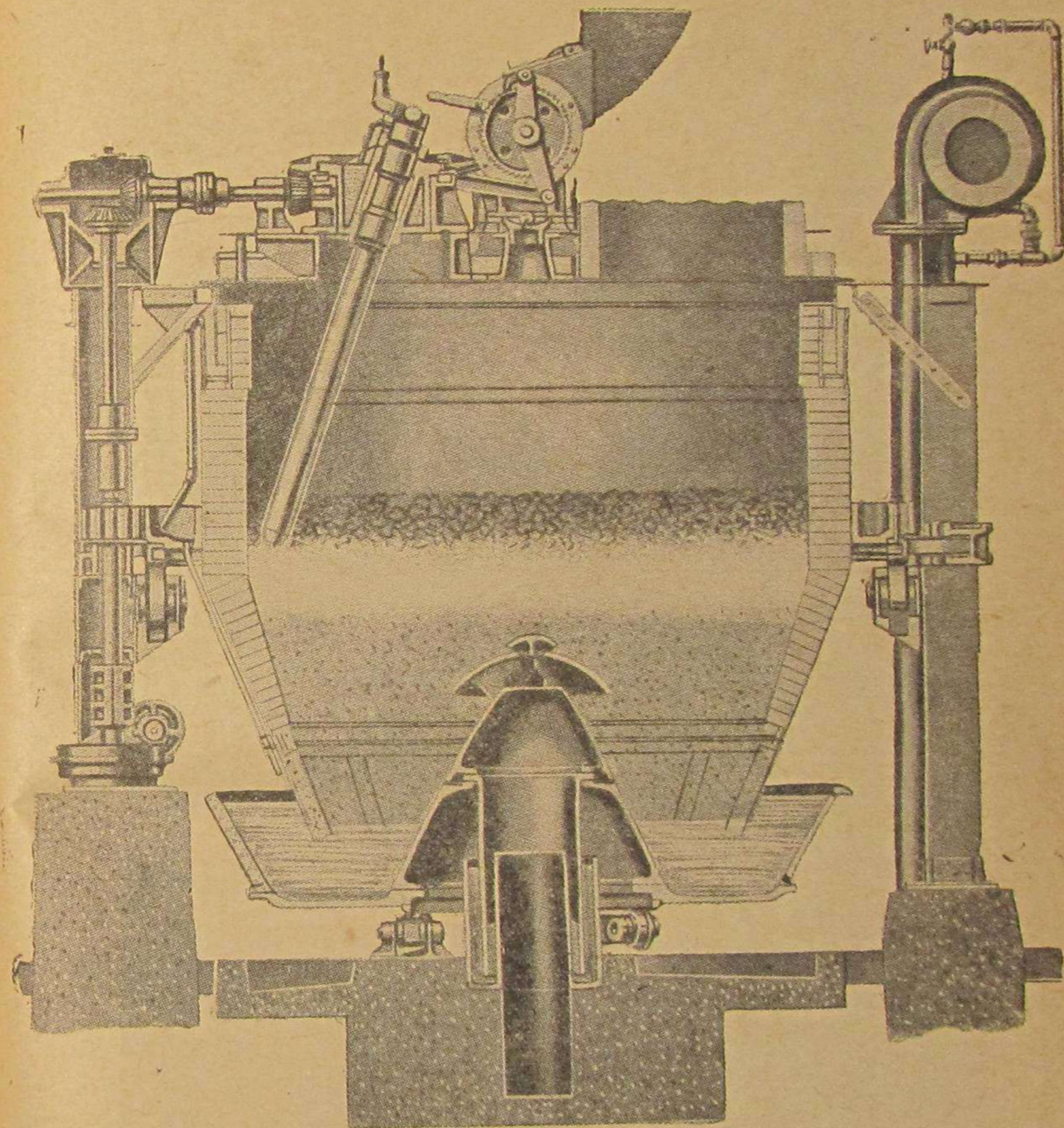




Фиг. 48. Современный газогенератор Вуда.

выступ в виде бандажа, непосредственно опирающийся на вышеуказанные ролики. Сверху на этом бандаже укреплен конический зубчатый венец, служащий для привода шахты. К верхнему краю шахты приклепан железный желоб, в который входит загиб крышки

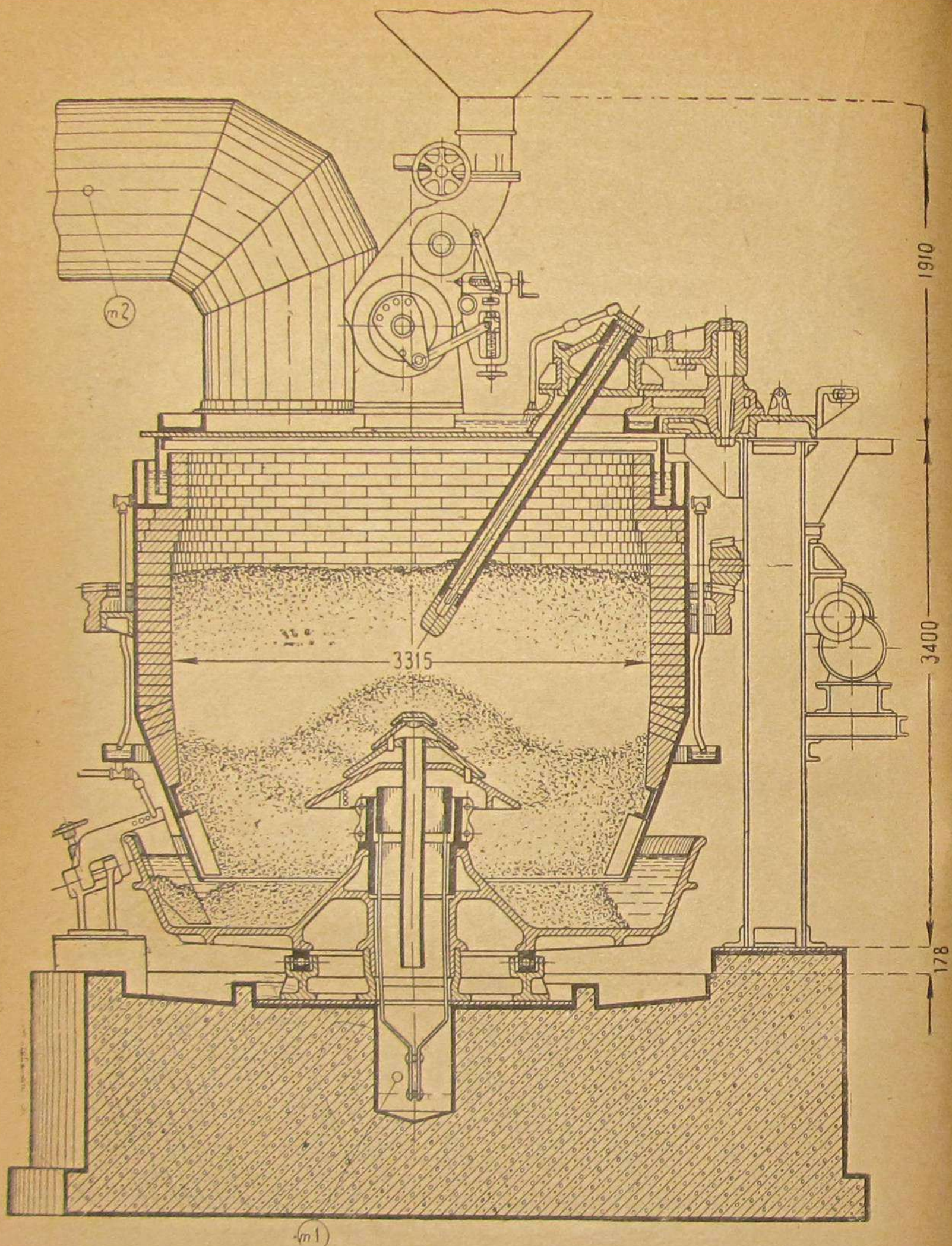
генератора. В желоб наливается вода выше края загиба, таким образом получается гидравлический затвор, связывающий вращающуюся шахту с неподвижной крышкой. Крышка представляет собой чугунный ящик в виде кессона, охлаждаемый проточной водой. На крышке



Фиг. 49. Механизированный генератор Вуда с вращением шахты и решетки, автоматической загрузкой и качающейся кочергой типа Вельмана

монтирована железная газоотводная труба, футерованная огнеупорным кирпичом, далее, засыпное приспособление и качающийся лом. Сосок бункера входит почти вплотную в питательную воронку. Воронка имеет задвижку, позволяющую отделить бункер от питателя (на случай его ремонта и т. д.). Задвижка представляет собой плиту с зубчатой рейкой и вдвигается с помощью зубчатого колеса, наса-





Фиг. 50. Газогенератор Вельмана.

женного на маленький валик с маховичком. Колесо вращается от руки, и задвижка может быть установлена в любом положении. Далее, в корпусе питателя установлены два крыльчатых барабана, вращающихся навстречу падающему углю. Крылья барабана насажены на валики, приводимые во вращение храповыми колесами через хра-

повую собачку. Последняя может быть установлена на поворот барабана от  $\frac{1}{2}$  до трех зубьев, чем и регулируется подача угля в генератор соответственно потребной его производительности. Перестановка собачки производится вручную при помощи маховичка. Выключение питания — вручную, откидыванием собачки, закрепленной на шарнире.

Мешалка представляет собой чугунную отливку с наконечником из специальной стали. Наконечник не охлаждается, и срок службы его от полугода до года. В теле мешалки имеется полость, в которую вставлена железная трубка, подающая охлаждающую воду. В отличие от мешалок системы Чепмана и др., имеющих круговое движение, мешалка Вельмана имеет качающееся движение по восьмеркам, пересекающимся между собой (фиг. 51). Мешалка глубоко входит в толщу слоя топлива, поэтому хорошо разворачивает его и, таким образом, не допускает образования сводов из спекшегося угля. Однако вместе с тем она должна давать и несколько увеличенное количество пыли. Большим преимуществом мешалки является то обстоятельство, что при ней, как показал опыт константиновских генераторов, совершенно отпадает шуровка коротким ломом — для разбивания спекшихся кусков угля, что является бичом при газификации многих наших каменных углей — марок Г, ПЖ, Ф. Однако это ни в какой мере не избавляет от шуровки длинным ломом с целью разбивания шлака, так как шлакообразование на генераторах Вельмана может быть очень большим в зависимости от работы и мешалка никакого влияния в этом отношении не оказывает. Дело в том, что нижняя часть газогенератора Вельмана развита слабее, чем его верхняя часть. Чаша газогенератора Вельмана не имеет самостоятельного вращения, увлекается действием силы трения столба топлива и шлака, увлекаемых в свою очередь вращением шахты. Через каждые  $120^\circ$  поворота чаша тормозится действием специального стержня, зацепляющего за специальный выступ на борту чаши. В этот момент происходит ломание, вернее, подрезание шлаков, так как часть шлаков, лежащих на дне чаши, силой трения задерживается, а верхняя часть, увлекаемая трением шахты, продолжает двигаться. В этот же момент происходит и выталкивание шлаков на периферию. Для облегчения этого и для лучшего переламывания шлаков служит специальный подрезной нож, направленный горизонтально и навстречу вращению шахты. На нижней окружности шахты расположены вертикальные лопатки в виде железных пластинок. Для удаления шлаков из чаши служит наклонный длинный нож (плужок), который можно погружать в чашу на определенную глубину поворотом маховичка. Наползая на нож, шлаки постепенно накапливаются и затем переваливаются через борт чаши в желоб и вагонетку. В дно чаши вделана чугунная колосниковая решетка. В последней модели, установленной на цинковом заводе, решетка уже довольно хорошо развита. Она установлена центрально и состоит из четырех чугунных, вставленных одно в другое, колец, верхнее из которых имеет конусный колпак. Кольца вставлены друг в друга при помощи особых приливов, между которыми прорезаны спиральные каналы для выхода воздуха по касательной. Для регулировки распределения воздуха между ступенями служит специальный подвижной цилиндр, укрепленный на вертикальных стержнях, шар-



нирно соединенных с рычагами, выведенными наружу. Цилиндр не связан с телом решетки и поэтому не вращается, а только поднимается вверх и опускается вниз на 30—50 мм. При опускании его воздух идет преимущественно в нижние ступени решетки, т. е. на края шахты, при подъеме — больше к середине шахты через верхние ступени. Тело решетки составное и свертывается болтами.

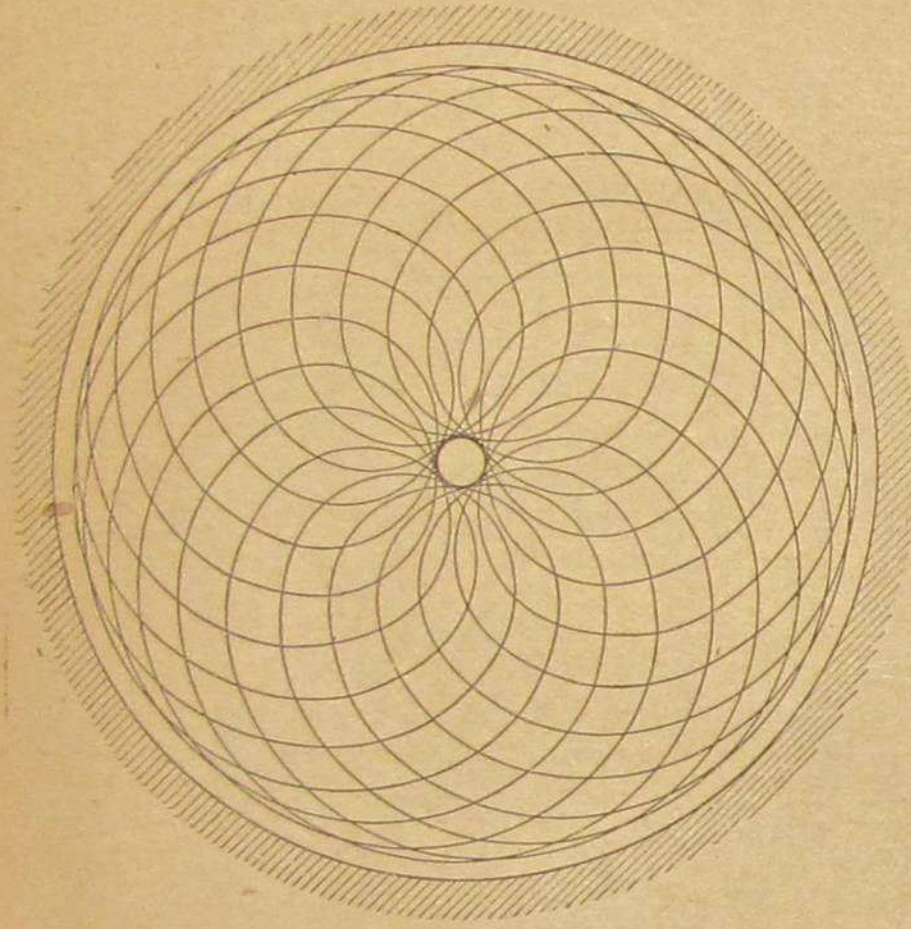
Решетка генератора Вельмана более старой модели, установленной в 1926 г. на стекольном заводе в Константиновке, гораздо более

проста и представляет собой двухступенчатый чепец, надетый на воздухоподводящую трубу. Соединение чаши с дутьевым каналом делается при помощи обычного гидравлического затвора. Рядом с дутьевым каналом делается спускной канал для конденсата, так как дутье производится или от парового инжектора или паротурбинного вентилятора с насыщением паром до 50—65° Ц и выше, и при охлаждении паро-воздушной смеси в бетонном воздуховодном канале происходит выпадение конденсата.

Все вращение газогенератора производится мотором мощностью в 5 л. с.

и через систему зубчатых, червячных и храповых передач и рычагов передается всем вращающимся частям конструкции. Пиганье может быть включено отбрасыванием храповой собачки; самые барабаны питателя автоматически останавливаются при попадании в них каких-либо крупных твердых предметов — кусков железа или больших кусков угля и т. п. — выскакивающей предохранительной шпонкой (сухарем), связывающей две половины штока привода между главным распределительным валом и барабаном. Мешалка также выключается при помощи такой же шпонки.

К сожалению, нет шпонки между мотором и редуктором, поэтому при какой-либо неправильности во вращении возможна поломка зуба, что и имело место на Константиновском цинковом заводе. Выключение тормозного механизма чаши производится подкладкой кирпича под противовес тормозного рычага, на другом конце которого находится останавливающий чашу стержень. Тормозной рычаг имеет втулку, в которой свободно ходит шток, приводимый в движение от главного распределительного вала. Подкладывая кирпич под противовес, мы удерживаем тормоз в выключенном положении, и шток, связанный с втулкой только силой трения, свободно ходит во втулке.



Фиг. 51. Кривая движения мешалки Вельмана.

То же явление может произойти и случайно — при плохой смазке валика, на котором вращается тормозной рычаг; сила трения штока о втулку рычага меньше силы трения рычага о валик, и тогда тормоз не работает или запаздывает, падая после прохода остановочного зуба чаши. То же явление может происходить и в случае запаздывания самой чаши, например, при выгребе шлака можно случайно лопатой несколько затормозить чашу и т. д.

Вращение шахты довольно быстрое — один оборот в 4 мин., причем скорость не регулируется. Чаша может выключаться из вращения путем подкладки под нее кирпича (так называемый глухой тормоз). Конечно, это «незаконный» способ, так как при этом происходит сильное срабатывание дутьевых колец, дна самой чаши и несущих шариков. Тем не менее этот способ иногда применяется персоналом при сильном шлаковании, так как таким путем достигается сильное переламывание шлаков.

Чаша у газогенератора Вельмана очень высокая (около 700 мм), с гладким дном и допускает применение высокого давления дутья — до 400 мм вод. ст.<sup>1</sup>

Как показала практика, генератор Вельмана, несмотря на некоторые недостатки в нижней части (отсутствие эксцентриситета, неравномерное распределение дутья и т. д.), представляет собой прекрасно работающий аппарат, в котором все процессы могут быть полностью механизированы. Генератор предназначен для работы на газовых углях с содержанием около 30% летучих веществ или для более спекающихся углей типа ПЖ, но также вполне хорошо работает на длиннопламенном угле марки Д и прекрасно на коксике и антраците, как показали опыты на Константиновском цинковом заводе.

Однако для достижения этих результатов необходимы два условия: сортированный уголь — орех — 12—50 мм и внимательный уход. Генератор Вельмана работает очень точно с колебаниями в очень жестких пределах. Слой топлива в нем очень невелик — около 750—900 мм, примерно шлак 200 мм, огонь 300 мм и уголь 300 мм, или шлак 250 мм, огонь — 250 мм и уголь — 350 мм и т. д.

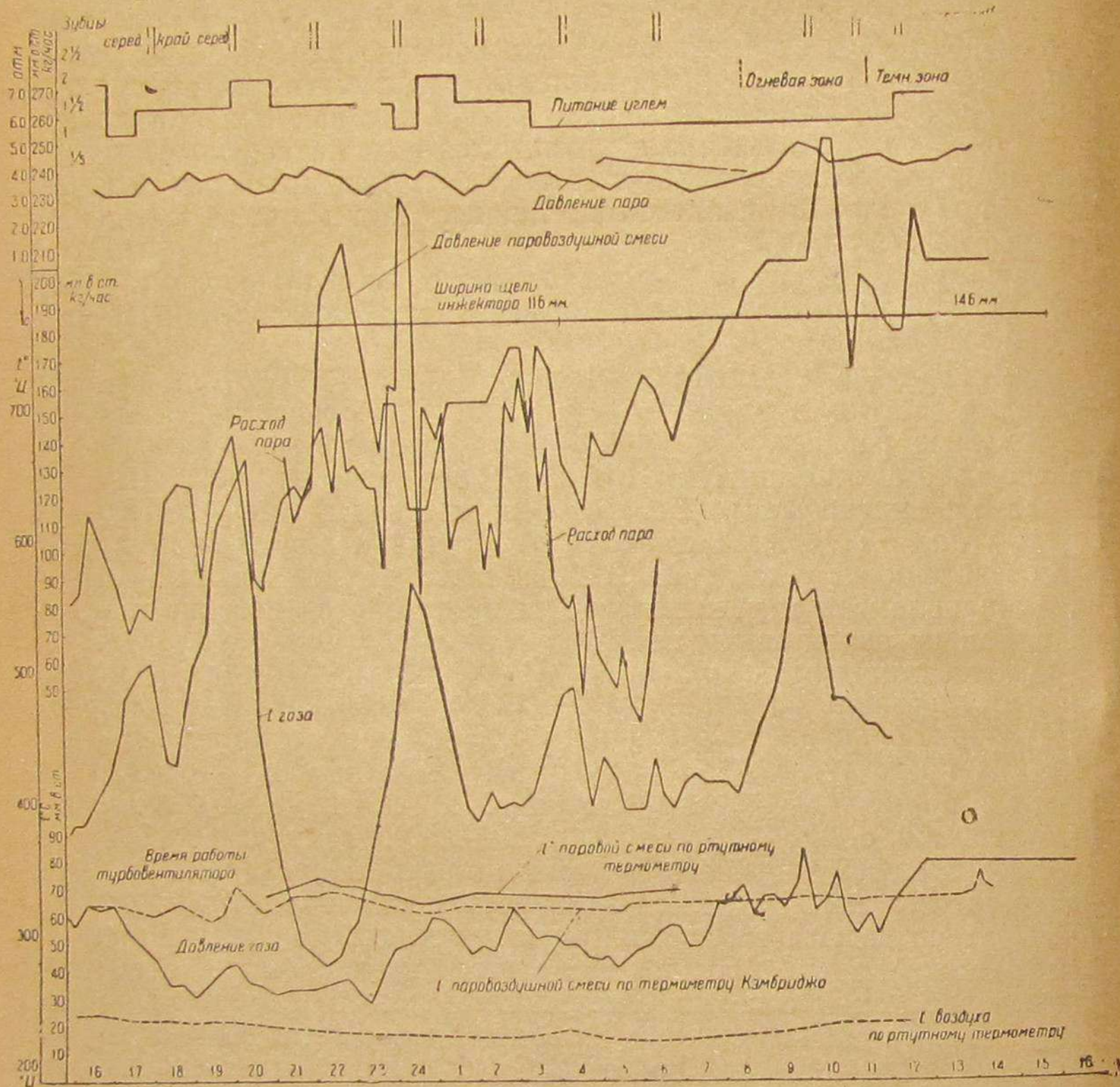
Беспрерывному питанию должно отвечать беспрерывное золоудаление, чтобы толщина слоя оставалась постоянной. Зоны должны проверяться частым измерением слоя длинными штангами с аккуратными записями их. Каждый час должно производиться легкое прощупывание ломом с целью обнаружить шлаки и разбить их. Кроме того, большое значение имеет свободный отбор газа: если газопровод занесен смолой и пылью, то создается большое противодавление, выход газа и процесс газификации затрудняется, давление паро-воздушной смеси увеличивается, несмотря на небольшую производительность газогенератора, и при подаче воздуха инжектором соотношение между воздухом и паром меняется в сторону увеличения содержания пара.

Все это заставляет персонал находиться все время в напряженном состоянии. А это иногда неприятнее, чем самая тяжелая физическая

<sup>1</sup> Подробно о работе газогенераторов Вельмана см. в статье инж. Д. Б. Гинзбург, «Керамика и стекло», № 6, 1930. О работе механических генераторов см. у В. Балабанова. Механическая шуровка газогенераторов, Ж. Р. Металл. О-ва, № 3, 1928, и у Я. Гольдблат и Н. Копаневич, Гипромез, № 1—2, 1931.



работа. Поэтому весьма часто можно было наблюдать следующее: вместо непрерывного золоудаления было принято периодическое, иногда раз в смену, иногда реже, иногда чаще в зависимости от усмотрения старшего газовщика. При такой чистке происходила резкая осадка всего столба шлака и топлива и сейчас же нарушалась работа всех зон. Вместе с выжженным шлаком попадали и частички кокса, благодаря чему увеличивалась потеря в золе. Кроме того, зона горе-



Фиг. 52. График работы генератора Вельмана на инжекторном дутье.

ния иногда опускалась настолько низко, что горение шло непосредственно на колосниковой решетке; благодаря этому за 5—6 мес. прогорали дутьевые чеpec и кольца, и шлак засыпался в дутьевой колодец, который приходилось очищать — с остановкой дутья. Чтобы предотвратить сползание огневой золы, приходилось выключать тормоз чаши, но тем самым останавливалось и подрезание шлаков, и шлакование чрезвычайно усиливалось. То же самое явление происходило и случайно — при плохой смазке тормозного валика, при за-

8	9
5	8
4	7
3	6
2	5
1	4
60	3
9	2
8	1
7	80
6	9
5	8
4	7
3	6
2	5
1	4
150	3
9	2
8	1
7	80
6	9
5	8
4	7
3	6
2	5
1	4

Обозначения

- Давление паровоздушной смеси мм (водяного столба)
- Температура газа в газовой трубе t° по Ц
- Температура паровоздушной смеси t° по Ц
- Кривая давления газа в газовой трубе мм (водяного столба)

голым неровным наростом шлака, сплавленным с футеровкой. Толщина этого нароста была во многих местах 200—250 мм, так что полезный диаметр генератора фактически уменьшался с 3 200 мм до 2 700 мм, вследствие чего соответственно уменьшалась и пропускная способность. Средством борьбы против этого могла служить усиленная ручная шуровка. Но так как эта операция весьма неприятна, в особенности, если учесть повышенное давление газа и отсутствие паровых или воздушных завес у шуровочных отверстий, то персонал

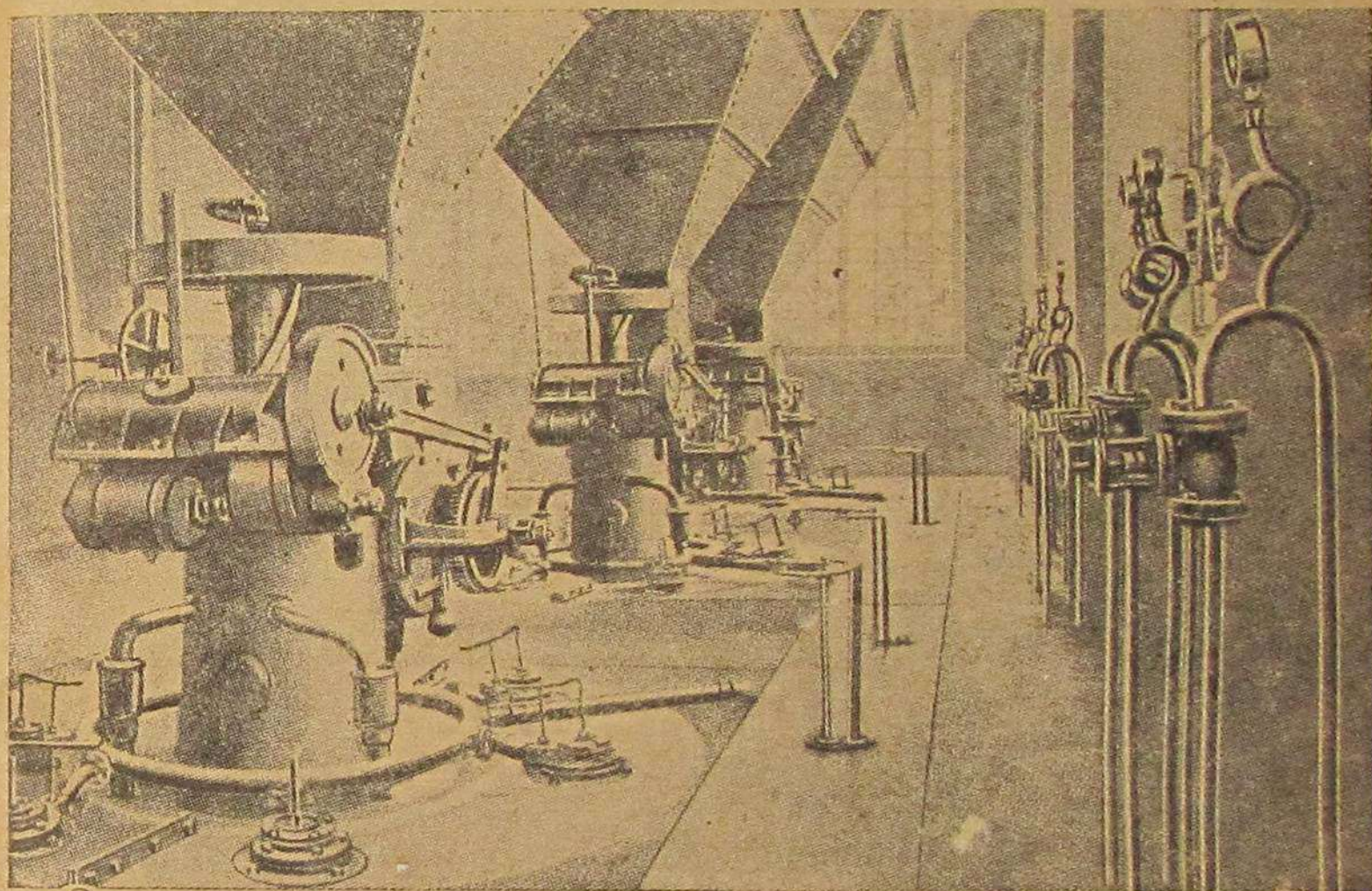






паздывании чаши и т. д., так как иногда за целую смену никто не спускался вниз с площадки.

Так как вместе с тем качество угля часто было очень низким и процент мелочи меньше 12 мм составил при испытании до 46%, то получалась сильнейшая неравномерность горения и шлакование, чему способствовала и имевшаяся в конструкции решетки Вельмана некоторая неравномерность распределения дутья. При измерении зон при помощи штанги получалась «полосатость», при этом середина показывала обычно сильный прогар, а края были темные. Наблюдая через шуровочное отверстие, иногда можно было видеть по окружности прогар длиной до 2 м. При таких условиях получалось силь-



Фиг. 54. Внешний вид рабочей площадки генераторной станции Хвт-Ретгер с мешалкой Чепмана.

нейшее приваривание шлаков к стенкам, причем благодаря перемещению зон вверх и вниз это приваривание происходило по значительной высоте шахты. Так как генераторная станция не имела необходимого резерва, то срок службы генераторов без остановки составлял 5—7 мес. В результате такой работы стенки генератора оказывались (при осмотре после остановки и охлаждения) покрытыми толстым неровным наростом шлака, сплавленным с футеровкой. Толщина этого нароста была во многих местах 200—250 мм, так что полезный диаметр генератора фактически уменьшался с 3 200 мм до 2 700 мм, вследствие чего соответственно уменьшалась и пропускная способность. Средством борьбы против этого могла служить усиленная ручная шуровка. Но так как эта операция весьма неприятна, в особенности, если учесть повышенное давление газа и отсутствие паровых или воздушных завес у шуровочных отверстий, то персонал

ственно на колосниковой решетке; благодаря этому за 5—6 мес. прогорали дутьевые чепец и кольца, и шлак засыпался в дутьевой колодец, который приходилось очищать — с остановкой дутья. Чтобы предотвратить сползание огневой золы, приходилось выключать тормоз чаши, но тем самым останавливалось и подрезание шлаков, и шлакование чрезвычайно усиливалось. То же самое явление происходило и случайно — при плохой смазке тормозного валика, при за-



всячески уклонялся от этого дела, тем более, что приемка генератора сменами была поставлена очень плохо и газовщики пользовались фактической обезличкой. Это приводило к тому, что наступали моменты, когда работать дальше становилось невозможным; смена, при которой это случалось, должна была с тяжелым трудом восстанавливать работоспособность аппарата: пускали в большом количестве пар, доводя насыщение дутья до  $80^{\circ}$ , остановив дутье и вращение генератора, и сбивали шлак в две кувалды тяжелыми ломками; продолжалось это иногда час, два, иногда более, с перерывами. За смену, как показал опыт, можно привести генератор к более или менее нормальному состоянию.

Насколько неустойчив был режим генератора в таких условиях, видно из диаграмм на фиг. 52 и 53, показывающих работу на инжекторном и турбинном дутье.

Между тем, при правильной работе можно сутками держать батарею из четырех генераторов на одном и том же режиме, без всякого шлакования, весьма чутко реагируя на все колебания нагрузки. Это показывает, насколько необходимо использование ценной новой конструкции обусловить соответствующей подготовкой персонала и всей остальной производственной обстановки.

Большинство других американских конструкций или подобны конструкции Вельмана, как, например, генератор Вуда, или являются менее совершенными, как, например, конструкция Чепмана в различных своих вариациях (фиг. 54).

## 5. ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ С ОХЛАЖДЕНИЕМ ШАХТЫ

Американские конструкторы руководятся стремлением получить равномерный газ высокого качества из спекающихся каменных углей при максимальной экономии дорогой рабочей силы. Наоборот, лучшие германские фирмы в своих новейших конструкциях преследуют другую цель — использование низкосортных топлив и всяческих топливных отбросов с максимальным тепловым к. п. д. Потеря крупнейших каменноугольных районов вызвала в Германии усиленное внимание к коксовой и антрацитной мелочи, паровозным и топочным отгаркам и уносу (Rauchkammerlöschе и т. п.), а также к распространению в Германии бурным углям с высокой влажностью и зольностью. Топлива с большим количеством легкоплавкой золы газифицируются в обычных генераторах с трудом — по указанию фирмы Юлиус Пинч пределом является  $A = 25\%$ .

Другая задача встала перед германским конструктором в связи с необходимостью на многих предприятиях топить специальную котельную — исключительно для производства пара для газогенераторов — в тех случаях, если энергия получалась заводом со стороны (как это имеет место и в СССР на многих металлургических, стекольных и других заводах). Такая небольшая котельная большей частью с жаротрубными котлами и примитивным оборудованием давала, конечно, высокую стоимость тонны пара, а расход его, включая потребление самой котельной, утечку, потери в паропроводе и т. д. составляет 50—60% от веса газифицируемого угля; это дает при стоимости пара в 5—6 руб. за тонну расход 2 р. 50 к. — 3 р. 50 к.

на тонну переработанного угля, т. е. примерная стоимость всего процесса самой газификации, если не больше.

Естественным выходом явилось использование теряющейся теплоты газификации для получения пара. Обычно для этого пользуются теплом охлаждающей воды из водяного кессона (ватер-жакета) шахты генератора. Как уже было сказано, первая конструкция генератора Керпели имела водяное охлаждение шахты — с более высоким ватер-жакетом для бурого угля и более низким для каменного угля (соответственно более низкой огневой зоне газификации). Однако большого распространения в дальнейшем эта конструкция не получила, так как тепло, заключенное в охлаждающей воде, бесполезно пропадало, конструкция же генератора усложнялась и значительно удорожалась. Кроме того, при отсутствии в то время сварки, конструктивное выполнение ватер-жакета представляло большие трудности. Листы приходилось загибать в двух плоскостях и клепать в загиб (дно и внутреннюю стенку), так как иначе заклепки оказывались в огневой зоне и сгорали. Наконец, плохое качество питательной воды приводило к образованию накипи и к прогоранию внутренних стенок ватер-жакета. Последнее обстоятельство заставило инж. Собанского заменить цельный ватер-жакет отдельными литыми секциями, каждая из которых может быть сменена по отдельности. Генератор Керпели Краматорского завода имеет именно эту конструкцию (с секциями).

По всем этим причинам водяное охлаждение шахты до послевоенного времени особого применения не имело, поскольку газифицировались угли с небольшим содержанием золы, имевшей точку размягчения выше  $1100^{\circ}\text{C}$ .

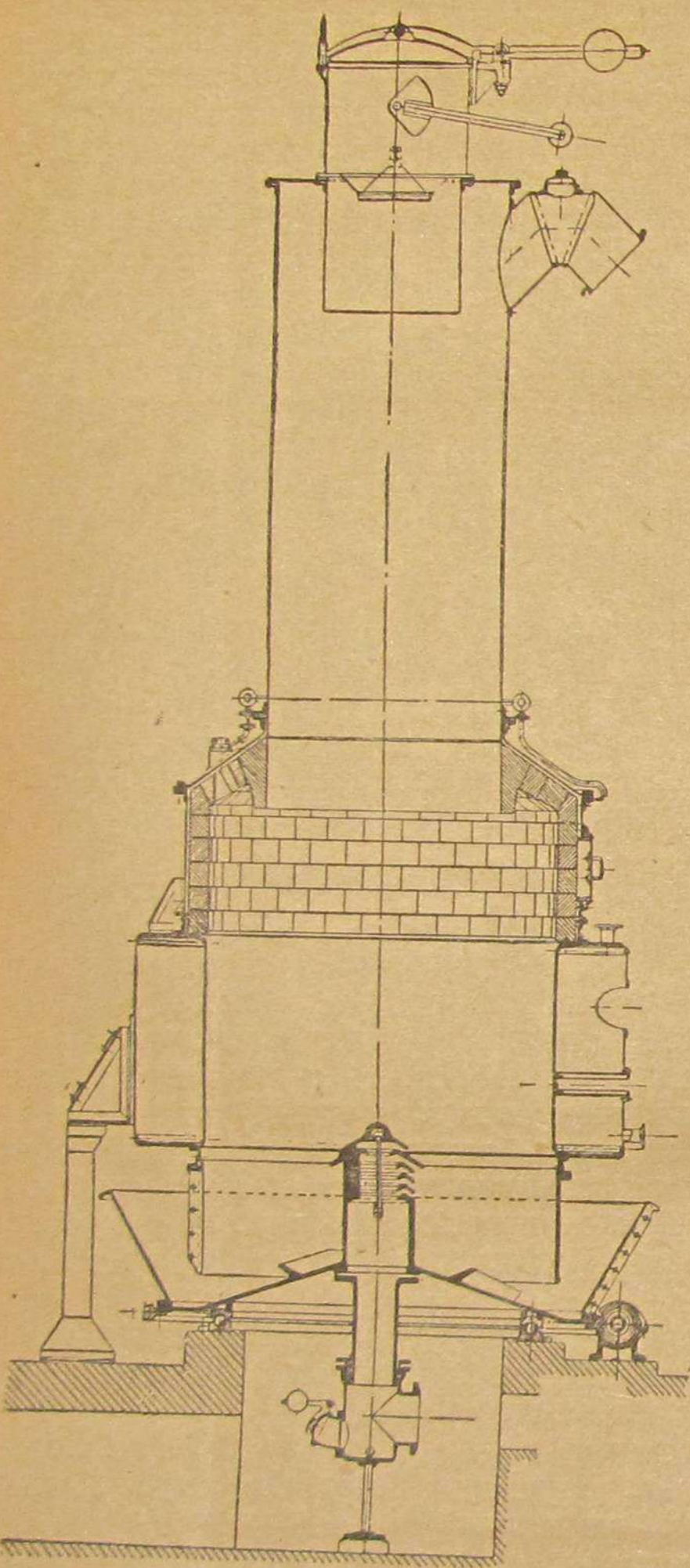
В дальнейшем, однако, применение многозольных бурых углей с легкоплавкой золой с началом размягчения ее часто ниже  $900^{\circ}\text{C}$  вызвало необходимость применения водяного охлаждения. При шамотной обмуровке размягченные комья золы, находившиеся вблизи раскаленной стенки шахты, приплавляются, с одной стороны, к ней, а с другой стороны, — к кускам золы, находящимся дальше в глубине шахты, образуя сплошные висячие мосты или своды, под которыми образуется пустота; разбить их стоит большого труда. При водяном охлаждении размягченные комья золы соприкасаются с холодной металлической стенкой и не только не прилипают к ней, но, наоборот, застывают, и легкой шуровки ломом достаточно, чтобы разбить комья шлака<sup>1</sup>.

С другой стороны, с применением газовой и электросварки само изготовление ватер-жакетов значительно облегчилось, и конструкция их в смысле герметичности значительно улучшилась. Поэтому появилось стремление поднять температуру и давление воды, находящейся в ватер-жакете, с целью получения потребного пара. Давления, применяемые различными фирмами, различны — от 0,5 до 6 и 8 ат. Для более высоких давлений применяются уже водотрубные котлы часто высокого давления — до 30 ат., скомпонованные с газогенератором. Это имеет место, главным образом, при газификации высококалорийного коксика и антрацита, развивающих высокую температуру горения (конструкция AVG, Демаг, Бамаг и др.).

<sup>1</sup> См. также работу Всес. теплотехнического инст. («Известия ВТИ» № 4, 1932), ст. инж. Н. В. Шишакова.



Существуют, наоборот, и конструкции, где вода находится под небольшим разрежением за счет инъекции продуваемого через паровое пространство воздуха. Температура воды держится около 80—90°, и воздух увлекает — «сдувает» — собой пар с поверхности воды, облегчая этим парообразование (конструкция Гертей и Соважен, старая конструкция Юлиус Пинч и др.).

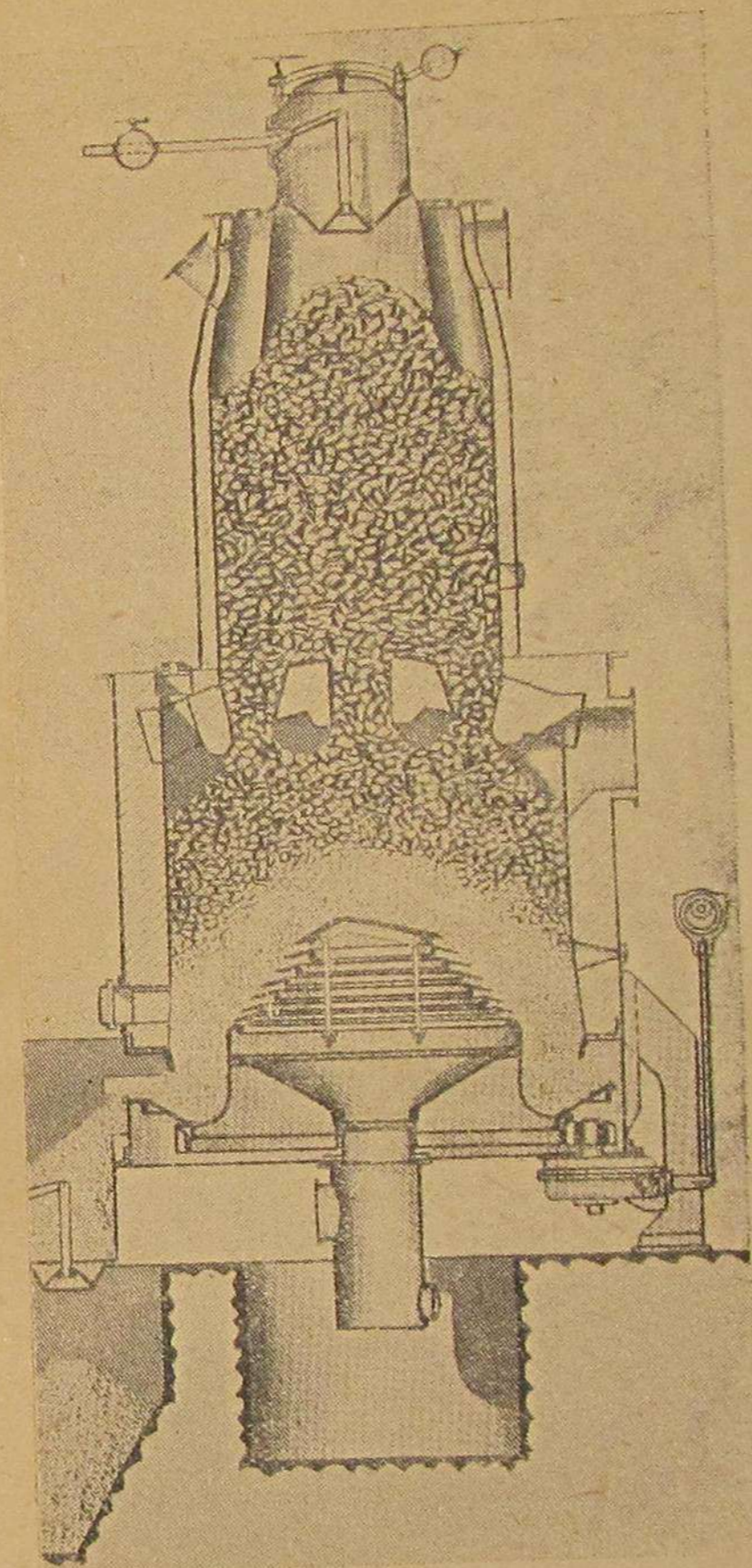


Фиг. 55. Генератор AVG с швельшахтой и паровой рубашкой. Решетка Коллера

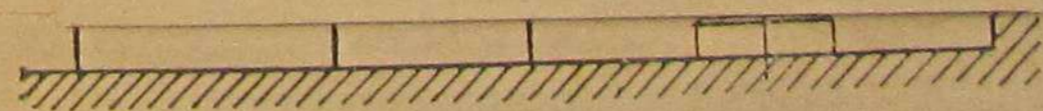
новодотрубного котла, как Фицнер-Гампер, Штейнмюллер и т. п. Давление в паросборнике около  $\frac{1}{2}$  ат по манометру; в дамф-жакете давление несколько больше, так как следует добавить давление от

на фиг. 55 показана конструкция AVG, установленная на Гусь-Хрустальном. Ватер-жакет, вернее, паровая рубашка (Dampf-mantel), в этой конструкции еще склепан, но листы снизу загнуты и заклепки, таким образом, находятся в холодном пространстве. На высоте 1150 мм над уровнем края шахты, где температура сравнительно не так высока, имеется заклепочный шов. В последующих конструкциях весь ватер-жакет делается сварным. Толщина листов 10 мм. Между нижним чугунным кольцом (для гидравлического затвора) и дном ватер-жакета находится чугунное оловянное кольцо и асбестовая прокладка для уплотнения. Все снаружи стянуто болтами. Высота ватер-жакета 2200 мм, ширина, вернее, глубина 150 мм. Весь ватер-жакет заполнен водой и при помощи циркуляционных труб связан с верхним барабаном, напоминающим собой в миниатюре обычный барабан горизонтального котла, как Фицнер-Гампер, Штейнмюллер и т. п.

Давление в паросборнике около  $\frac{1}{2}$  ат по манометру; в дамф-жакете давление несколько больше, так как следует добавить давление от

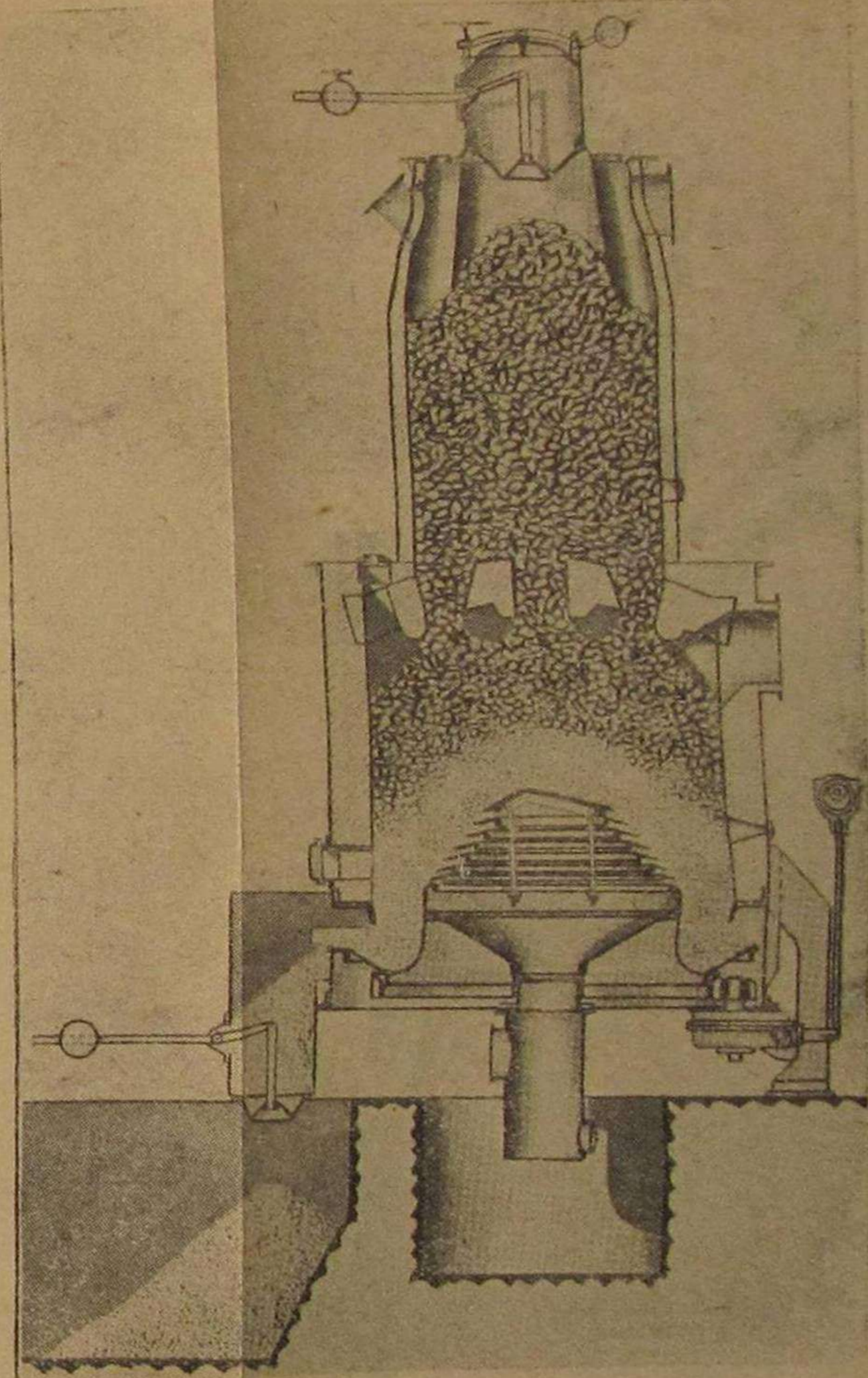
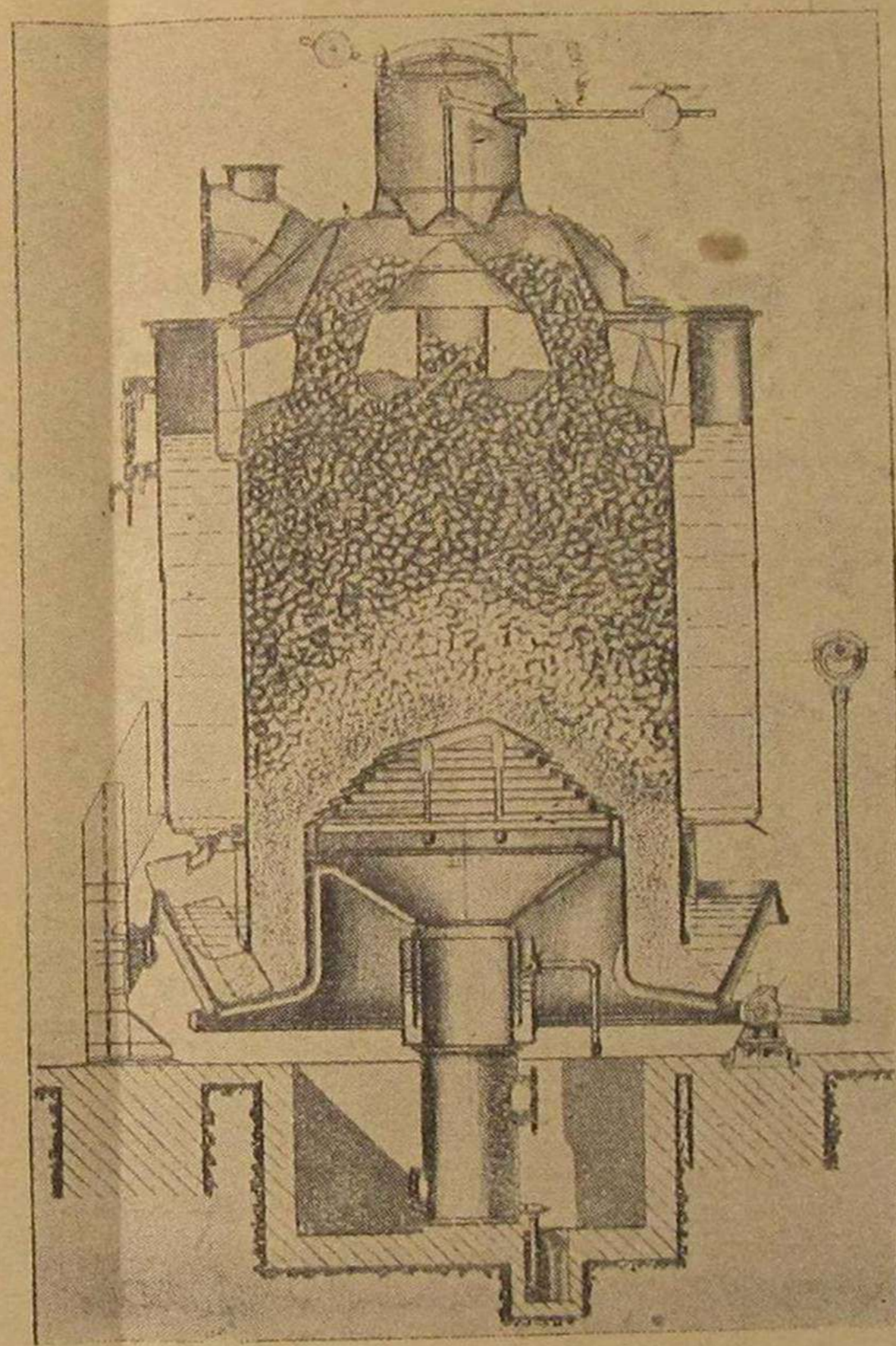
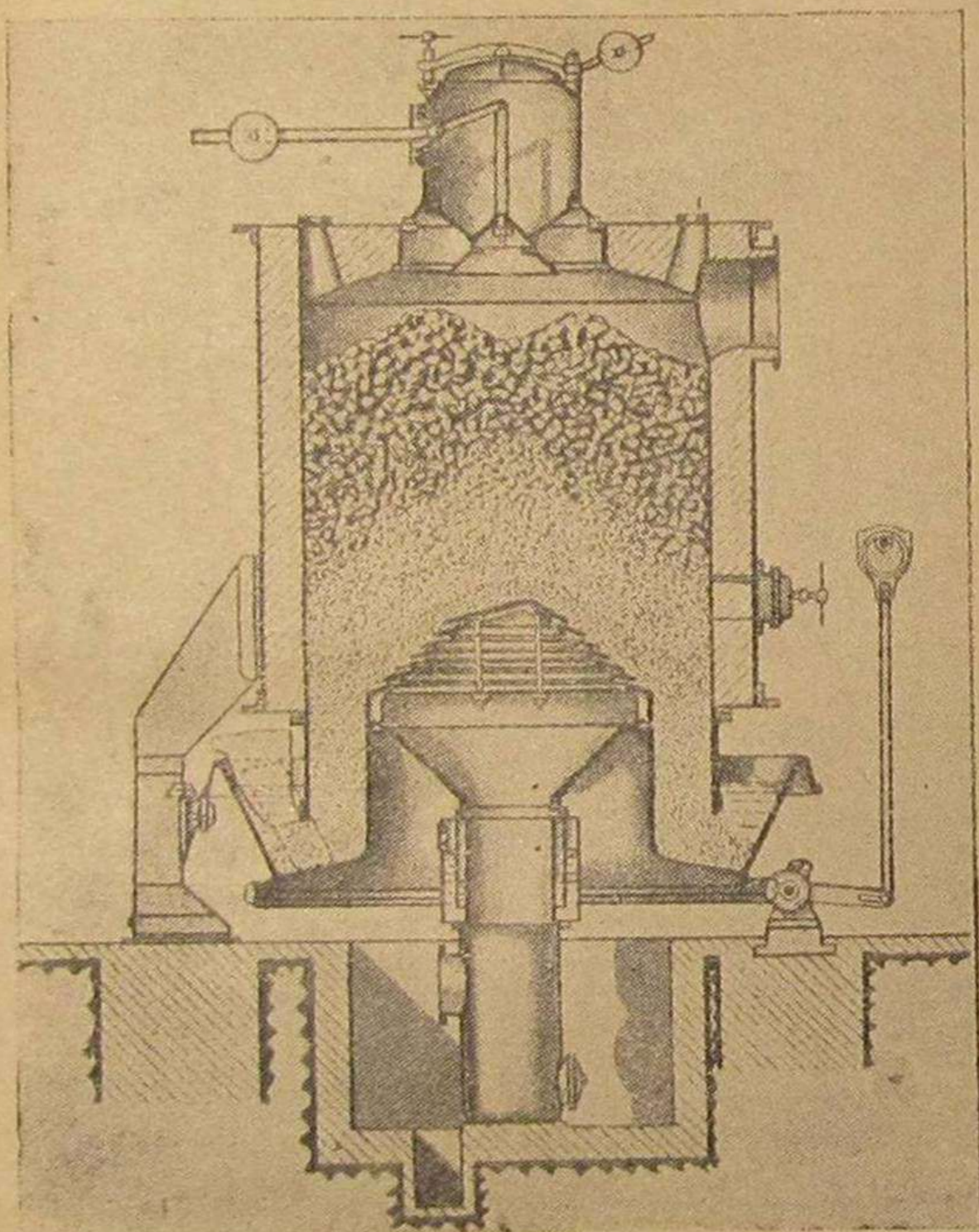


шь шахтой).



Фиг. 56. Генератор AVG без швельшахты.

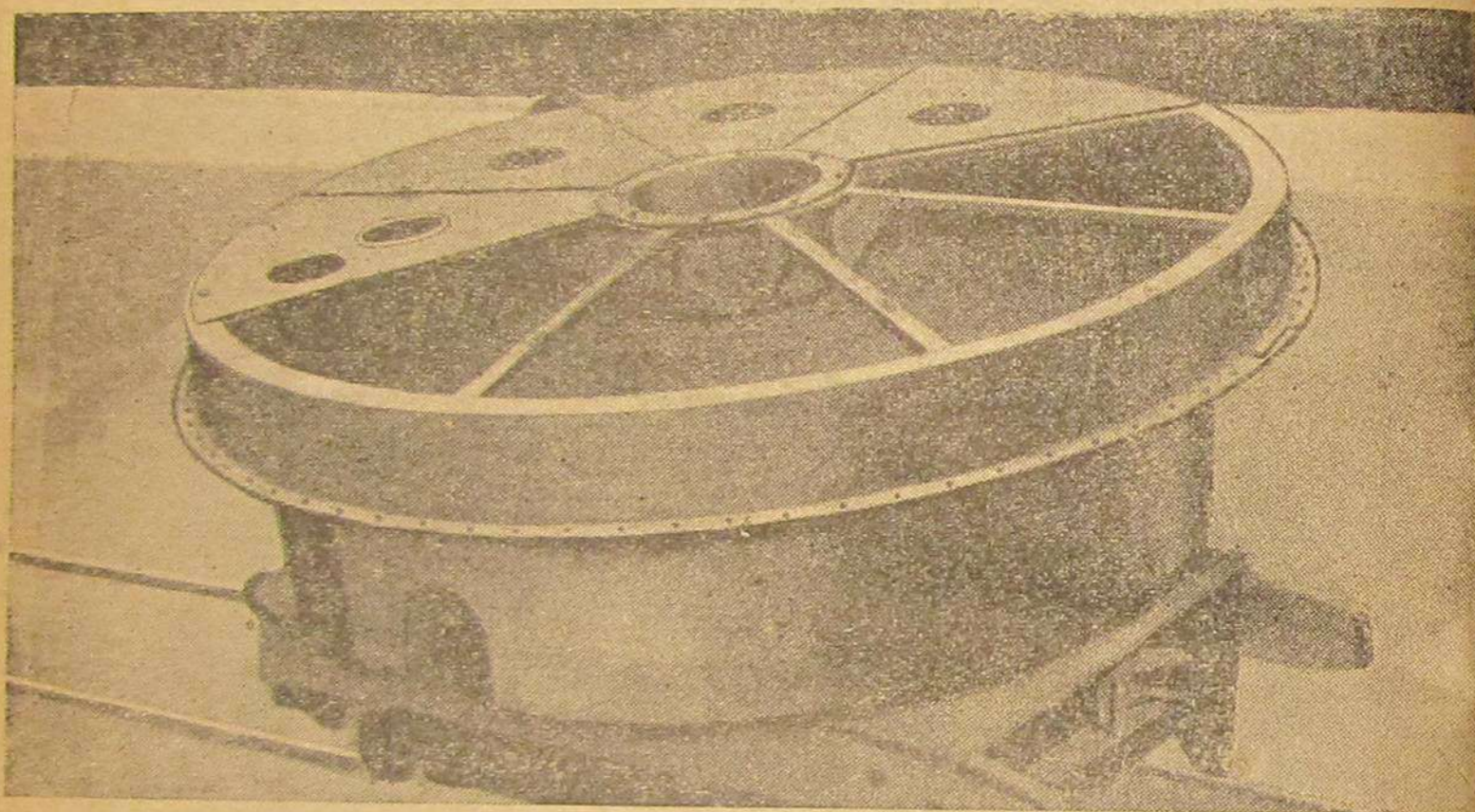




Фиг. 56а. Генераторы фирмы MAN (с шамотной шахтой, с водяным охлаждением, с швельшахтой).



столба воды высотой около 4 м. Циркуляция поддерживается тремя трубами, из которых две служат для отвода горячей кипящей воды сверху дымф-жакета, а третья — для обратной подачи (оставшей воды из верхнего барабана в нижнюю часть дымф-жакета). Трубы для кипящей воды входят в барабан и выводятся над уровнем воды в барабане для более свободного испарения кипящей воды. Питание свежей водой дается в верхний барабан и автоматически регулируется в зависимости от расхода пара. Барабан снабжен манометром, водомерными стеклами, продувочными краниками и т. д. Весь ватер-жакет, барабан и трубы изолированы асбестом. Ватер-жакет имеет спускной кран для спуска грязной воды и осадков. Слой накипи в ватер-жакете не превысил 1,0 мм после года работы, но в дальнейшем, очевидно, в зависимости от качества воды, ухудшения условий эксплуатации



Фиг. 57. Крышка-испаритель генератора фирмы Пинч.

работа ухудшилась, и ватер-жакет зарос накипью. Учитывая, очевидно, возможность таких явлений, фирма AVG выпускает новые конструкции газогенераторов с шириной ватер-жакета до 500 мм, что дает возможность рабочему очистить его от накипи изнутри. Фиг. 56 показывает такую конструкцию. Соответствующая конструкция фирмы МАН (MAN) показана на фиг. 56а (средний). В конструкции Демаг (см. ниже), как и у AVG, водяное охлаждение имеет только нижняя часть шахты — зона горения и часть шлаковой зоны. Наоборот, конструкция Гертей и Соважен имеет водяной жакет-испаритель — в верхней части шахты генератора и в крышке (фиг. 22). Он представляет собой сварной железный сосуд, имеющий форму опрокинутого цилиндра с двойными стенками, с круглой крышечкой и круглым отверстием для газоотводной трубы. В сосуд наливается вода до уровня примерно середины верхней сплошной части испарителя. Дно сосуда и кольцеобразная часть омываются выходящим газом с температурой

500—700°. За счет их тепла вода нагревается до 80—70° и испаряется с поверхности. На крышке испарителя монтируются две трубы, соединенные с воздухоподводом. Воздух вдувается по одной из труб, увлекает с поверхности воды водяные пары, и получившаяся паровоздушная смесь уходит по другой трубе к решетке генератора; воздухоподвод имеет байпас, по которому часть воздуха проходит мимо испарителя. Может быть вследствие неправильной регулировки или по другим причинам, но при работе этого генератора на Семилукском керамическом заводе всегда получалась недостаточная влажность дутья, не превышавшая по температуре 45—50° Ц, что было недостаточно для антрацита и вызывало шлакование. Сходная конструкция испарителя Пинча показана на фиг. 57. Вообще говоря, эту конструкцию приходится признать не рациональной и устарелой по следующим причинам:

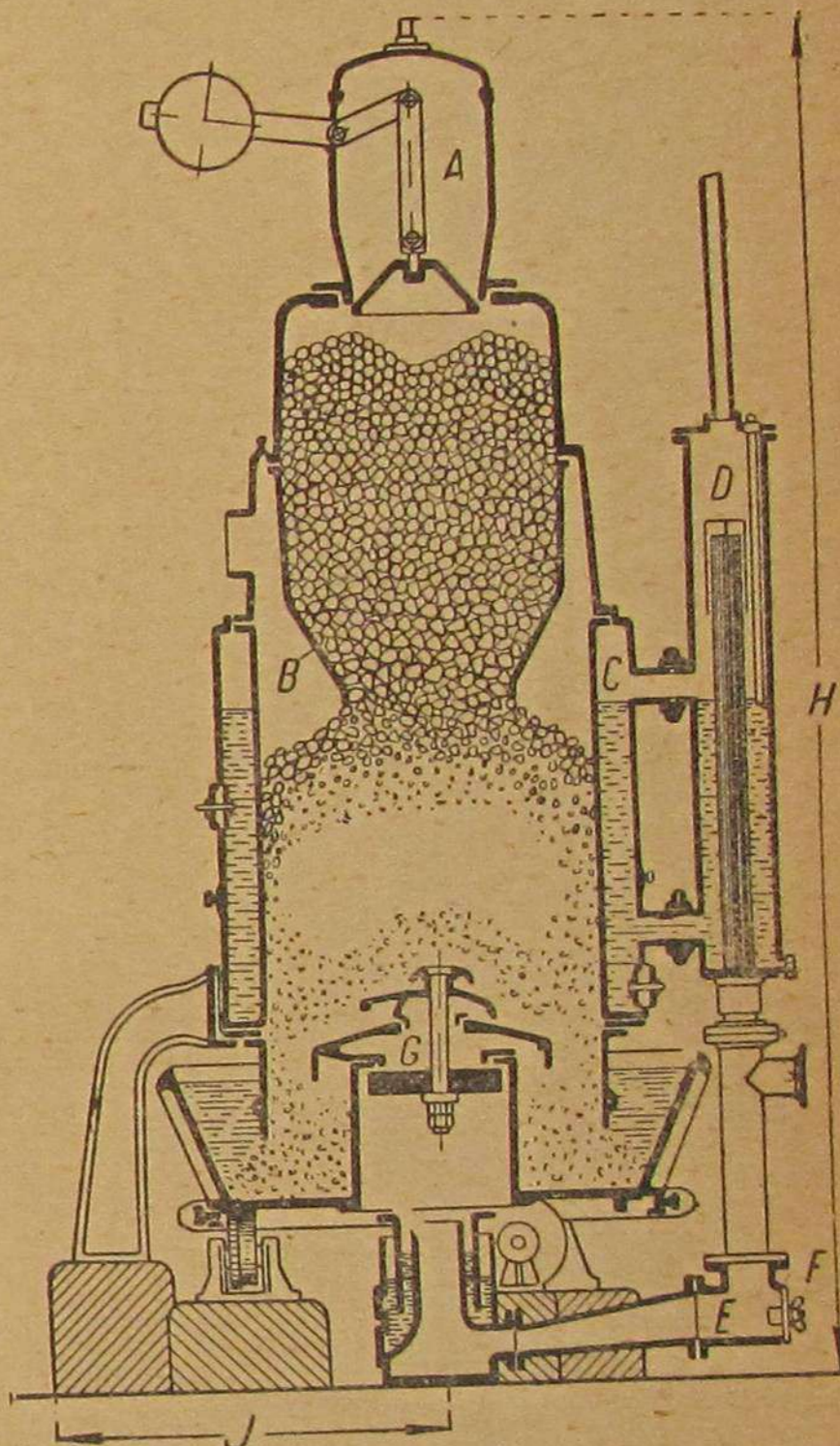
1. Испаритель не выполняет основной роли ватер-жакета — охлаждать шлаки в зоне горения.

2. Испаритель применим только при топливах типа антрацита или коксика, дающих чистый бессмольный газ с высокой температурой выхода — порядка 600—700°; при битуминозном топливе, даже высококалорийном, температура газа всегда будет значительно ниже и внутренняя поверхность испарителя быстро покрывается саже-смоляным налетом, вследствие чего коэффициент теплопередачи очень сильно снизится.

3. Даже и при горячем газе нагрев испарителя недостаточен, ввиду неполного омывания его поверхности газом, в наибольшей массе отклоняющемся к стороне выходного отверстия; смешение воздуха с паром и испаряющейся водой недостаточно, и поэтому получаемая влажность дутья недостаточна, особенно при увеличении нагрузки.

4. Очистка узкого кольцевого пространства испарителя от накипи затруднительна, тем более, что испаритель снаружи обмурован.

Подобные же испарители можно встретить и в старых конструкциях фирмы Пинч, причем сама фирма применяет эту конструкцию

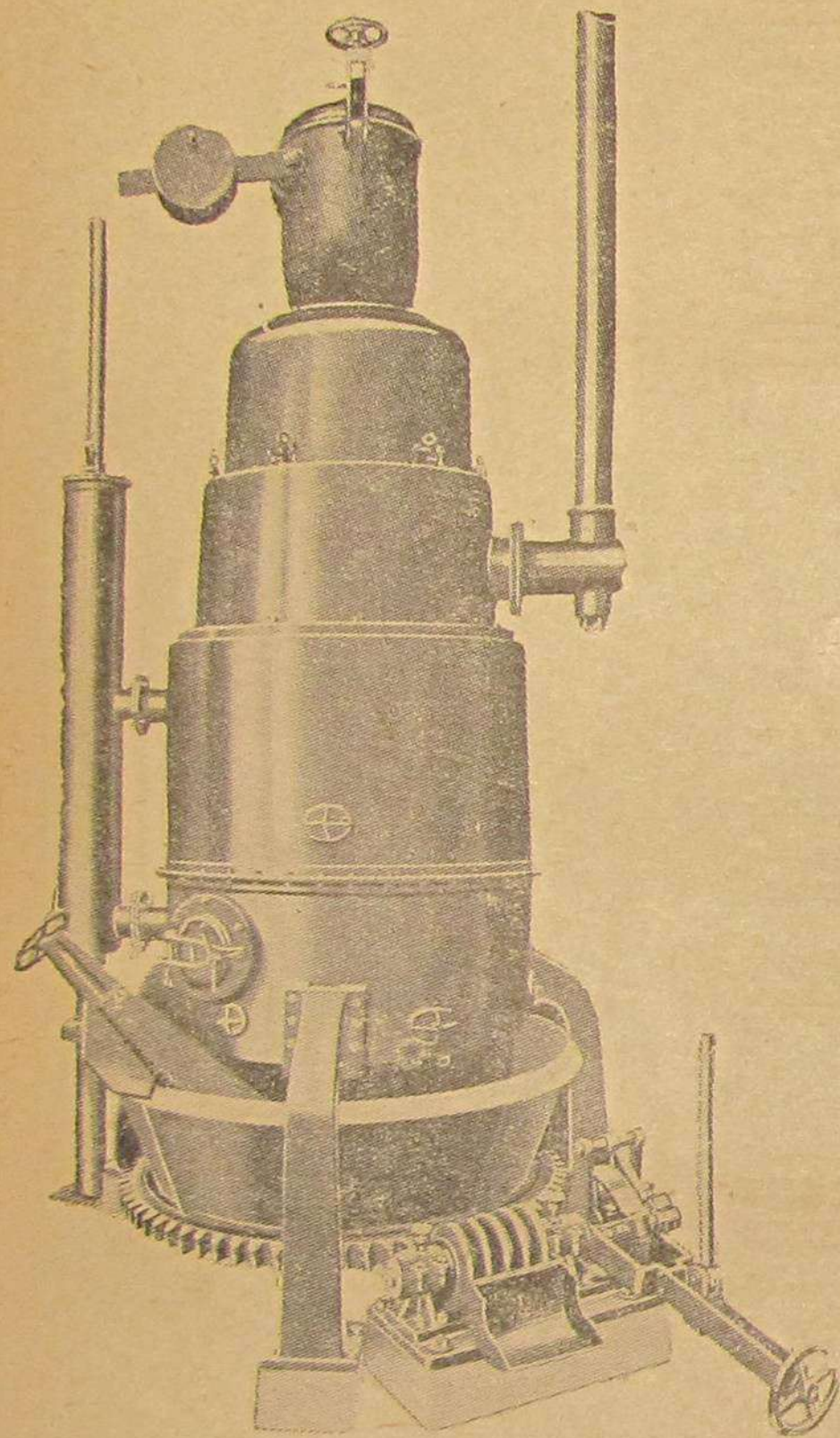


Фиг. 58. Генератор фирмы Отто Дейц.



только для маленьких генераторов для двигателей мощностью до 45 л. с.

Совершенно иначе построен испаритель фирмы Отто Дейц, газогенератор которой в настоящее время вообще является одной из лучших конструкций (фиг. 58).

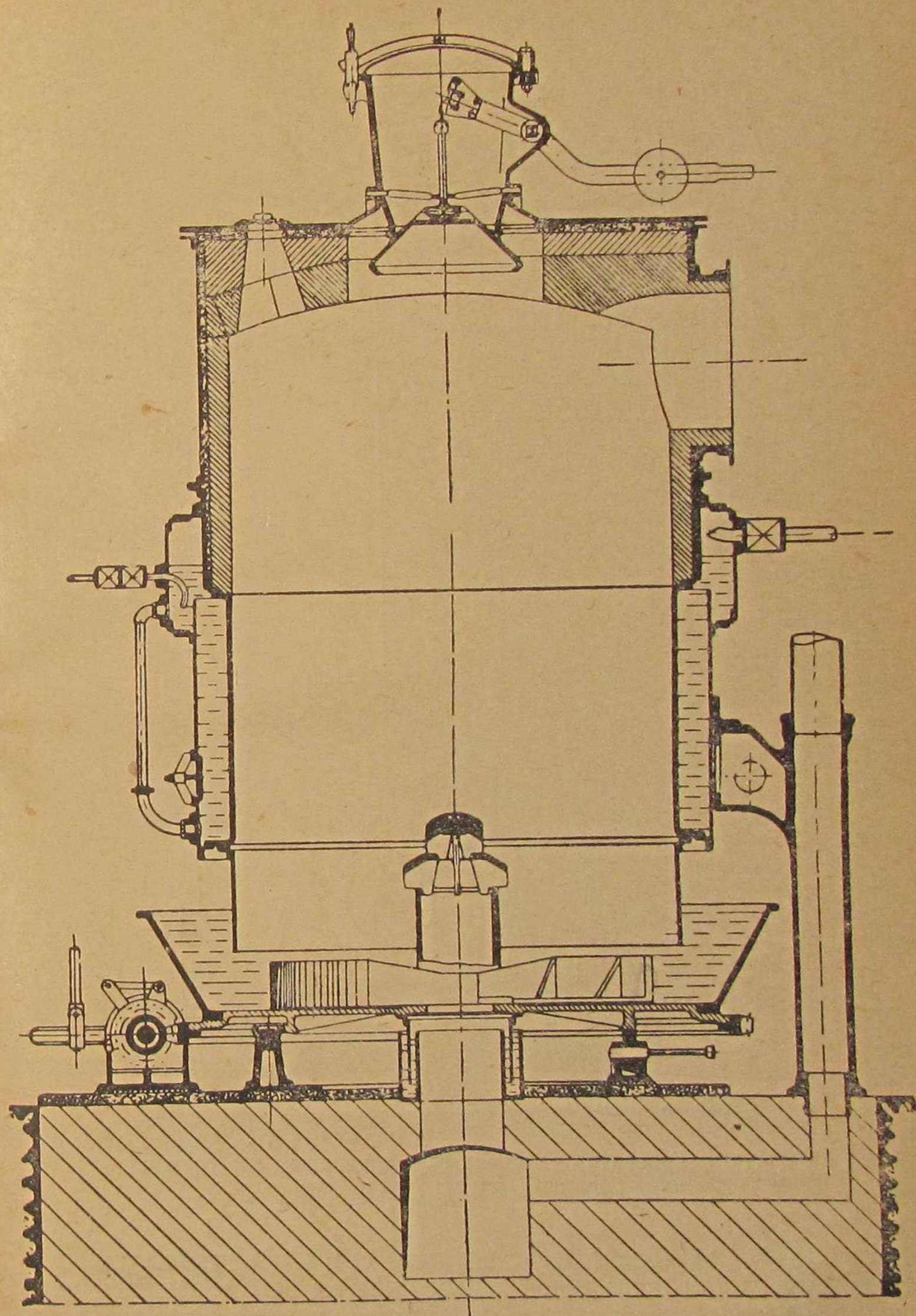


Фиг. 59. Генератор фирмы Отто Дейц (всасывающий). Внешний вид.

Генератор представляет собой как бы вертикальный паровой котел с внутренней топкой в жаровой трубе, так как в нем совсем нет шамотной обмуровки. Насколько можно судить по проспектам фирмы, водяной кожух весь сварной с фланцево-болтовыми соединениями на наружной стороне кольца. Благодаря этому одновременно достигается герметичность и возможность легкой очистки внутренности кожуха от накипи и грязи. Кроме того, имеются специальные лючки. Очень оригинальна конструкция паросборника — в виде вертикальной колонны, соединенной с водяным кожухом по принципу сообщающихся сосудов; колонна снабжена сигнальной трубкой, по которой со свистом вырывается пар, если уровень воды опустился ниже нижнего конца трубки. Генератор всасывающий, т. е. давление под решеткой ниже атмосферного. Установки фирмы Отто Дейц обычно работают под разрежением во всех элементах конструкции — скруб-

берах, промывателях и т. д., что объясняется огромным опытом фирмы по достижению герметичности аппаратуры. Степень разрежения частично регулируется положением клапана на внутренней трубе колонны; при увеличении разрежения (при увеличении расхода газа) клапан приоткрывается, и большее количество пара, а с ним и воздуха, поступает под решетку.

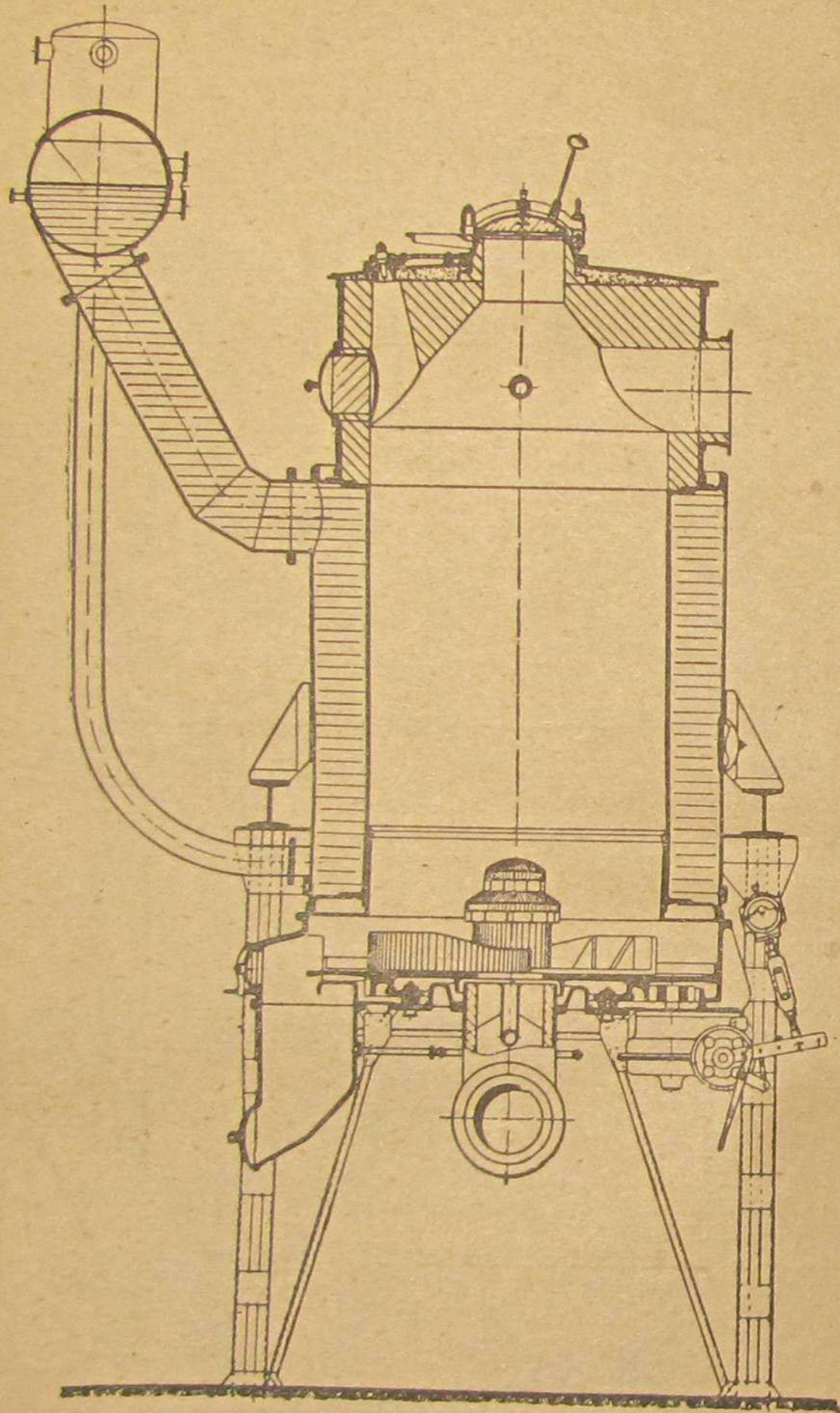
Конструкция фирмы Дейц имеет ряд чрезвычайно интересно продуманных особенностей, видных на фиг. 59. Самая установка генера-



Фиг. 60. Генератор Демаг с паровым кожухом.



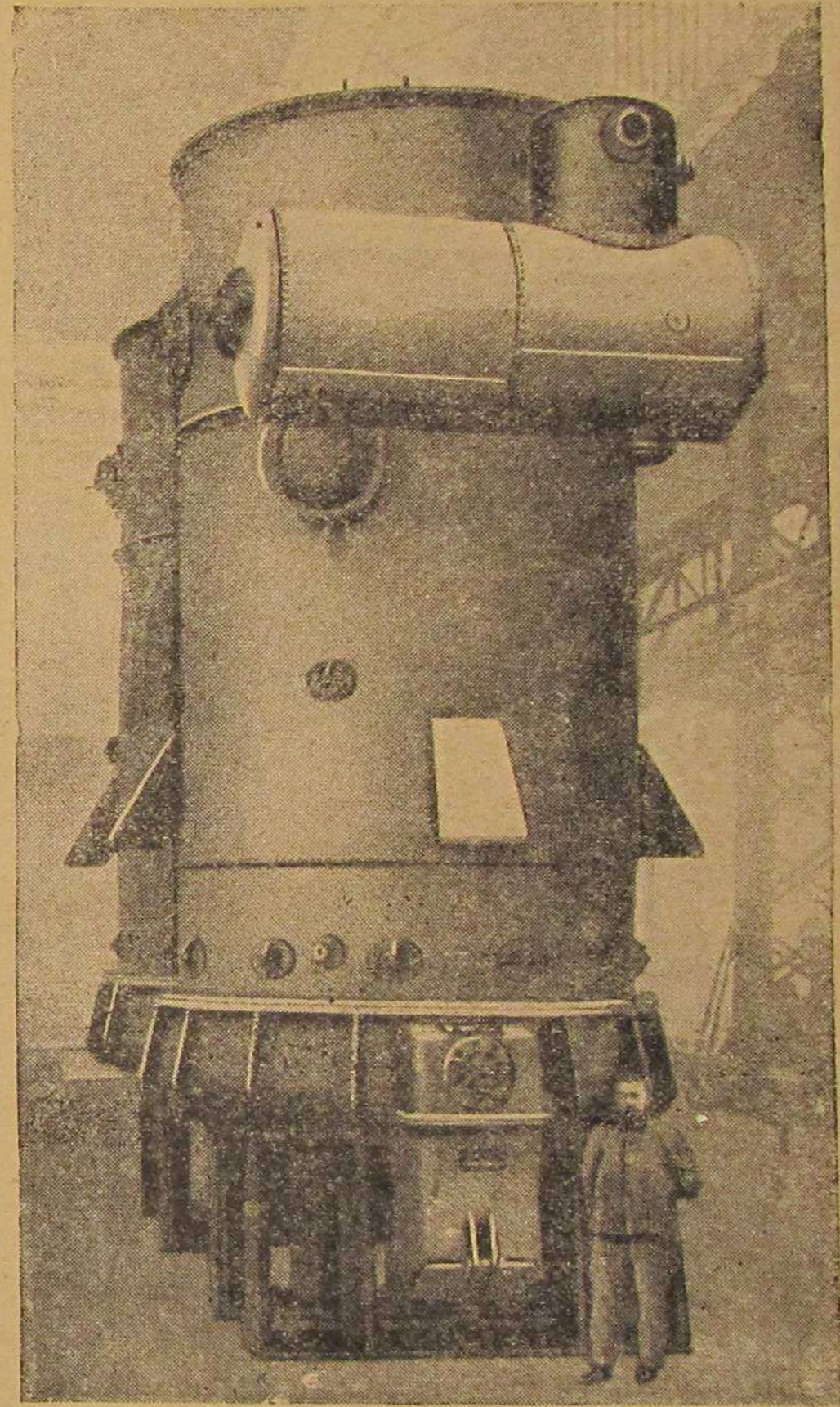
тора вследствие отсутствия сплошного фундамента, полной доступности и сменяемости всех роликов, воздухоудвнного колодца и воздуховода чрезвычайно удобна в эксплуатации. Прекрасно развитая ре-



Фиг. 61. Генератор водяного газа с паровым кожухом и паросборником фирмы Демаг (разрез).

шетка, высоко входящая в шахту газогенератора, трехступенчатая с эксцентриситетом и тангенциальным вылетом паро-воздушной смеси дополняет характеристику этих генераторов, хорошо зарекомендовавших себя, между прочим, на Ростсельмаше при работе на антраците.

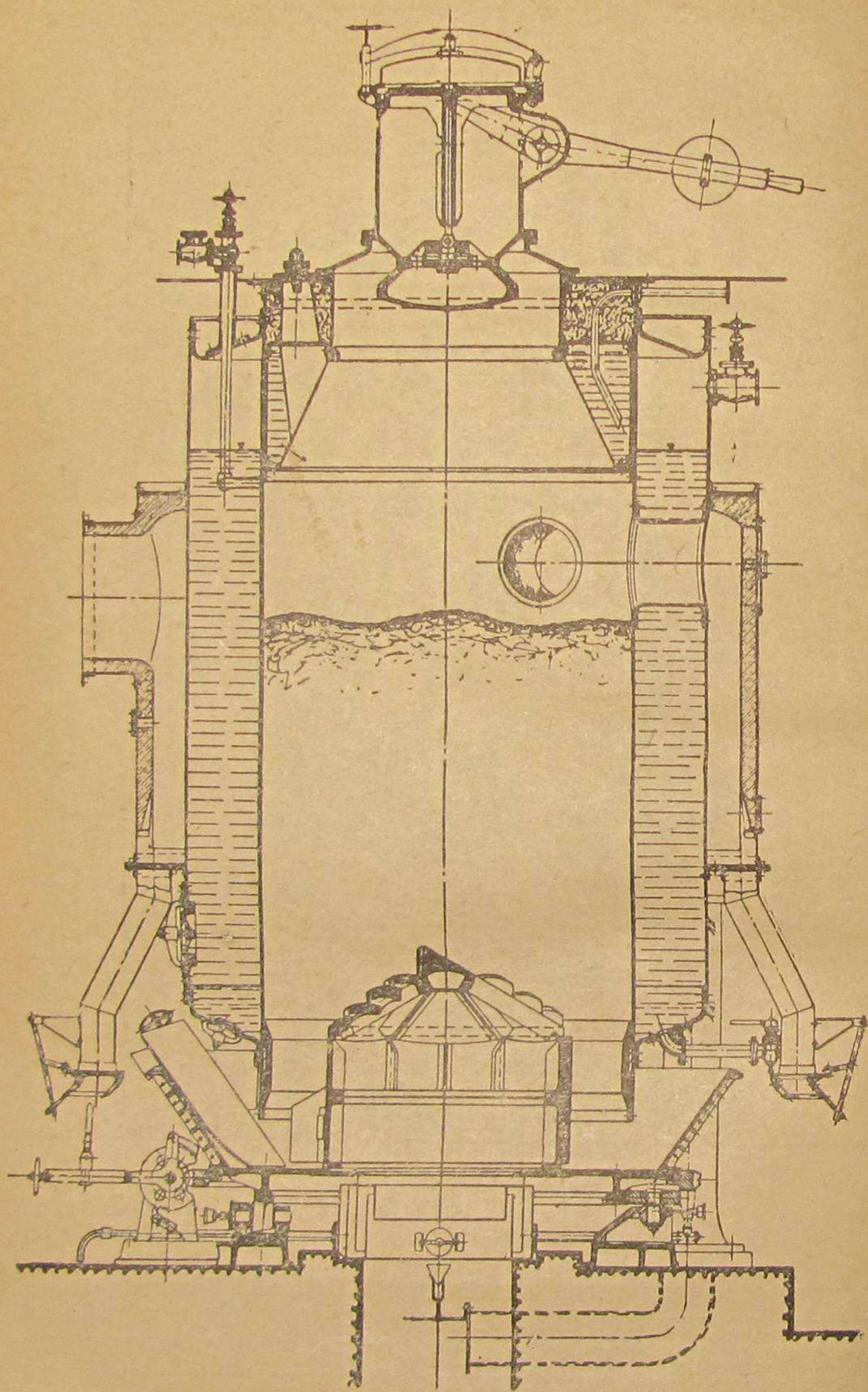
Фиг. 60 показывает газогенератор фирмы Демаг с паровым охлаждением и фиг. 61 — генератор Демаг для водяного газа с полным паровым кожухом на давление от 2 до 10 ат. Кожух подобно ранее разобранной конструкции имеет верхний барабан-паросборник с су-



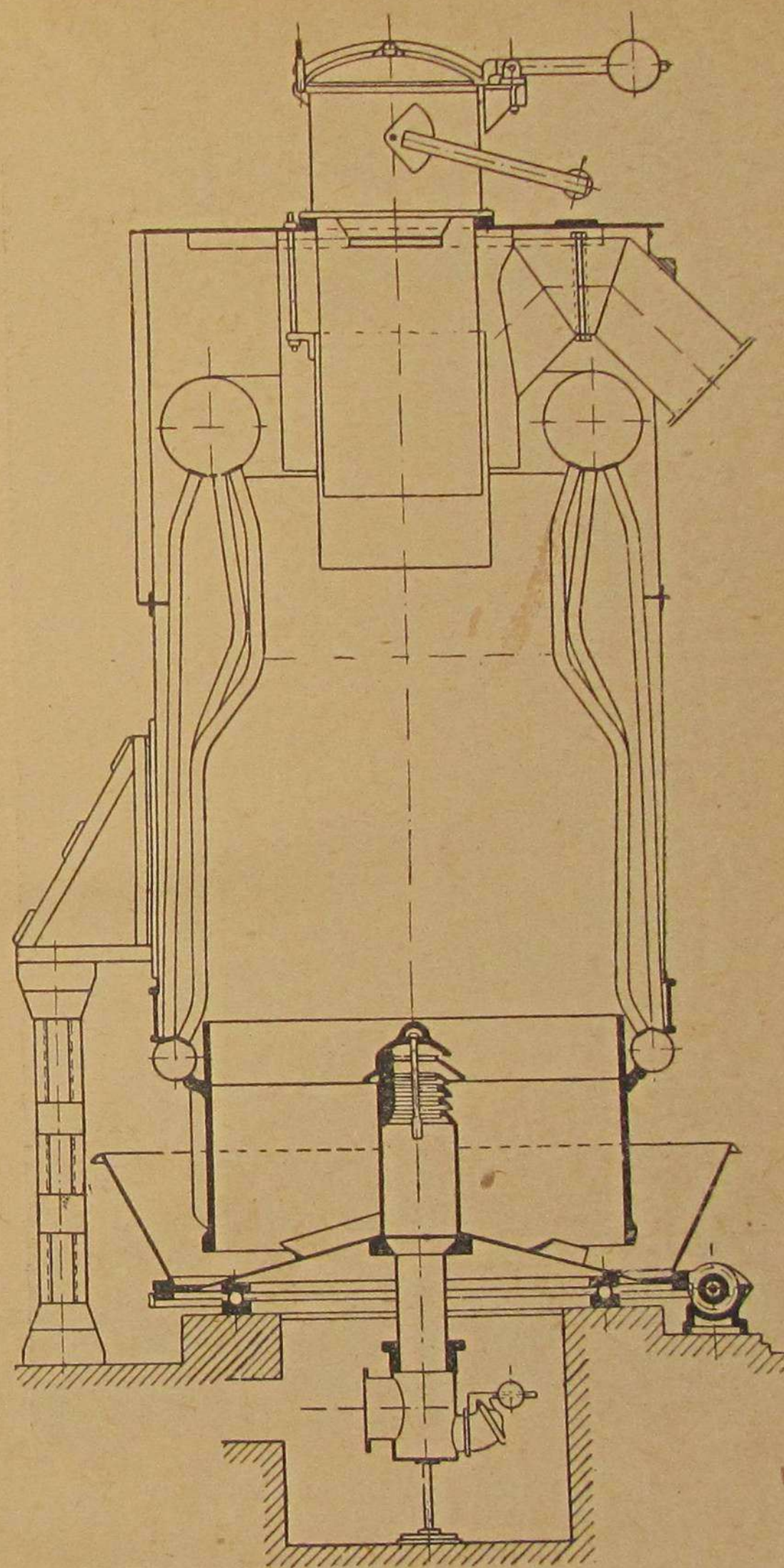
Фиг. 62. Генератор водяного газа Демаг (внешний вид).

хопарником, водомерными стеклами и т. д., соединенный с кожухом циркуляционными трубами. Иногда верхний барабан крепится на самом генераторе (фиг. 62). Генераторы Демаг с паровым кожухом установлены у нас на Торецком болтовом заводе в Дружковке. Сходны с этой конструкцией генераторы Бамаг (фиг. 63), МАН, Пинч и многие другие системы. Принцип их один и тот же — вертикальный





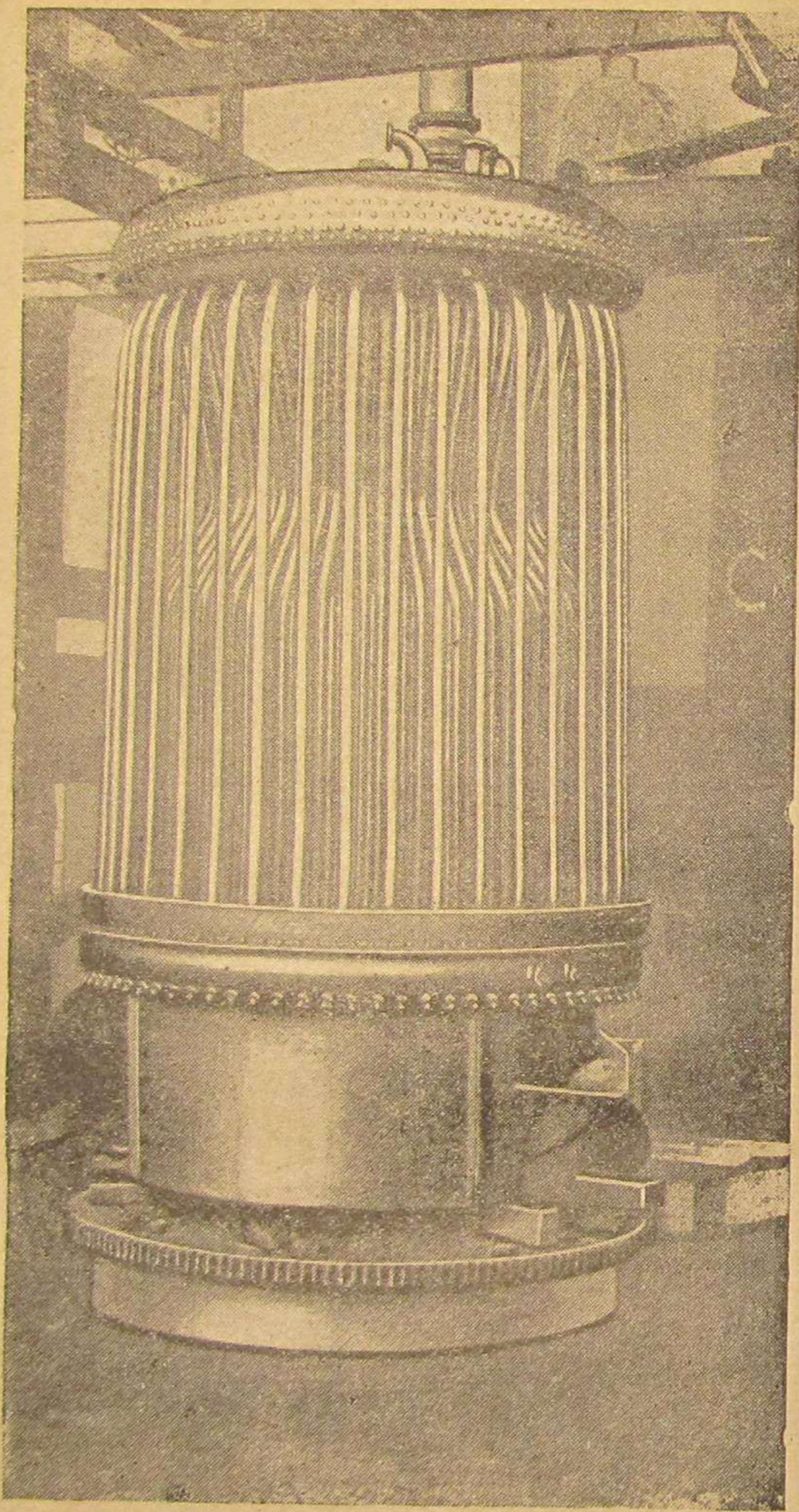
Фиг. 63. Генератор Бамаг с паровой рубашкой повышенного давления.



Фиг. 64. Генератор водяного газа с котлом высокого давления. (Мюнхенский газовый завод).



одножаротрубный котел с внутренней топкой — газогенератором. Кипление происходит в кольцевом пространстве кожуха. Кипящая вода

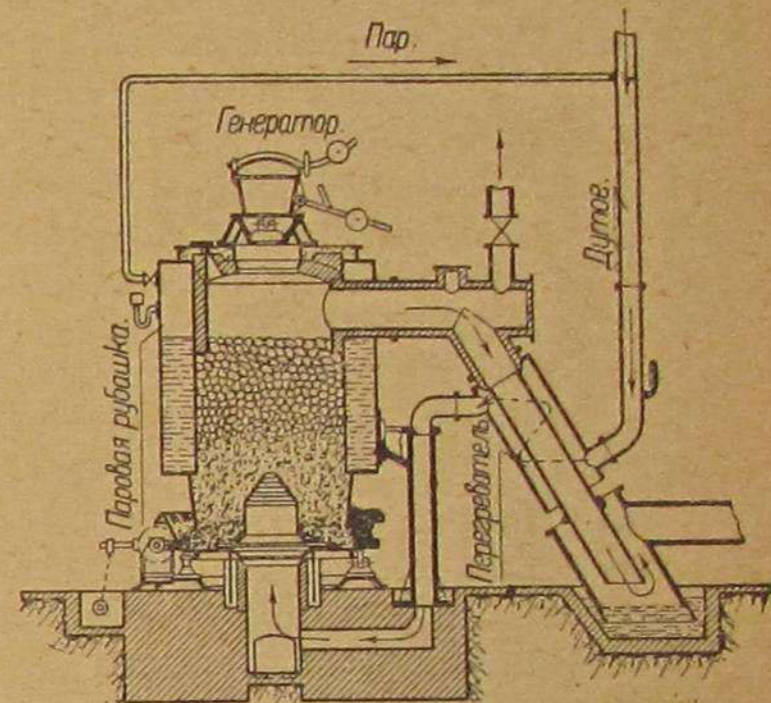


Фиг. 64а. Генератор Мюнхенского газового завода (внешний вид без кожуха).

по трубе устремляется в верхний барабан, где происходит выделение пузырьков пара, остывшая же вода по обратной трубе спускается в барабан.

На фиг. 64 и 64 а показан генератор водяного газа, соединенный с котлом высокого давления до 20—30 ат. Такие генераторы стоят на газовом заводе в Мюнхене; в СССР таких генераторов еще нет. Как видно из фиг. 64, генератор имеет экранированные стенки, причем внутренние изогнутые трубки омываются сильнее и дают наибольшее парообразование. Трубки, находящиеся снаружи у самого кожуха, нагреваются слабее и благодаря этому служат обратными трубами. Трубки ввальцованы в два барабана — нижний малого диаметра и верхний большого диаметра, служащий паросборником; водомерные стекла, спускные краны и т. п. выпущены наружу через соответствующие уплотнения в наружном кожухе.

В качестве современного примера конструкции газогенератора с охлаждением шахты в Союзе можно привести установку фирмы Пинча на Днепровском алюминиевом комбинате (Электродный завод). Генераторы снабжены (см. фиг. 65) вращающимся поддоном, цилиндрическими пылеуловителями и паровой рубашкой. Корпус генератора сварной (диаметр 2,6 м), рубашка также сварная, имеет размер полости (ширину) в 500 мм и рассчитана на избыточное давление 0,5 ат, отдельного паросборника нет, и по этому верхняя часть рубашки запол-



Фиг. 65. Генератор Пинча на электродном заводе Днепровского алюминиевого комбината.

нена паром; чтобы пар не перегревался, стенки рубашки в этой части защищены с огневой стороны футеровкой в  $\frac{1}{2}$  кирпича. В нижней части рубашки имеется внешний лаз, снабженный крышкой обычного котельного типа; внутреннего лаза в генераторе не имеется, что затрудняет проникновение в генератор при необходимости ремонта или в других случаях (работнику приходится с трудом протискиваться в просвет между краем шахты и чашей или снимать загрузочную воронку). Манометр и водомерное стекло расположены на рубашке, и их шкалы не выведены на рабочую площадку; газовщик с площадки поэтому не видит ни давления пара, ни уровня воды. Циркуляция воды в рубашке недостаточна вследствие отсутствия паросборника и циркуляционных труб; зато конструкция получается более компактной и дешевой. Неудобство контроля в значительной мере ослаблено наличием автоматического поплавкового регулятора питания воды системы Ганномаг (Hannomag).

При нормальной работе генератора (на благоприятном топливе) циркуляция воды в рубашке создается за счет разности температур в нижней и верхней частях рубашки (внизу — зона газификации с ее высокой температурой, вверху — газ с температурой 400—600° или еще более холодное топливо). Однако при расширении зоны газификации кверху циркуляция нарушается, что, конечно, сказывается



на отдаче пара. Все это в целом дает основание считать конструкцию Пинча уступающей в наших условиях — при некоторой неустойчивости качества получаемого топлива — конструкциям охлаждаемых шахт с паросборниками (Демаг, AVG и др.). Рубашка Пинча сделана из котельного железа в 20 мм толщиной; верхняя часть, впрочем, имеет толщину металла 10 мм; кроме питательного и спускного фланцев и обычного рычажного предохранительного клапана имеется и специальная предохранительная атмосферная труба длиной в 6 м, соединенная с водяным пространством.

В остальном генератор сходен с прочими конструкциями Пинча: та же восьмиступенчатая колосниковая решетка с небольшим (около 50 мм) эксцентриситетом по всей ее высоте; обычный наклонный шлаковый нож с вспомогательными малыми ножами, переставляемыми от руки (ход около 200 мм); между прочим, фирменный нож узок — на ДАК его наращивали; колокольный затвор в виде двух конусов, соединенных основаниями; шуровочные затворы Пинча с воздушной завесой (струя воздуха бьет наперерез газу при поднимании пробки шуровочного отверстия и не дает ему выходить из генератора, не мешая в то же время обзирать слой). Число оборотов чаши от 1,0 до 0,09 в час.

Генераторная станция ДАК была успешно пущена на антраците летом 1933 г. (печным сектором Оргэнерго под руководством автора).

В основном результаты работы газогенераторов Пинча на антраците оказались весьма сходными с данными, полученными Теплотехническим институтом на газогенераторе Тиссена<sup>1</sup>, однако газ содержал несколько больше метана (2,5—3%). В среднем состав газа при газификации АМ (с содержанием золы около 26% и теплопроизводительности 5 600 кал) был следующий: CO<sub>2</sub> — 7,04%; O<sub>2</sub> — 0,21%; CO — 18,9%; H<sub>2</sub> — 15,2%; CH<sub>4</sub> — 2,74%; низшая теплопроизводительность газа — 1 180 кал/м<sup>3</sup>. В эксплуатационном отношении пуск газостанции ДАК на антраците показал исключительные преимущества: газопровод за 50 дней работы не имел никаких следов увеличения противодавления — он был совершенно чист, хотя температура газа в нем падала от 700 до 40° Ц по длине его, что, конечно, привело бы к значительному выделению смолы и сажи при битуминозном топливе. Из пылеуловителя, газопровода и «медведя» (переносный патрубок, соединяющий газопровод станции с газопроводом печей) было удалено лишь очень небольшое количество совершенно сыпучей пыли (с зольностью около 45%). Шлакование, особенно вначале, наблюдалось значительное; шуровка велась энергично; все же использование горючего было удовлетворительным: содержание С в шлаке — 19%, что при зольности в 26% дает балансовую потерю С в 49 г/кг (4,9%).

Выход газа — 3,62 м<sup>3</sup>/кг. Коэффициент полезного действия газификации — около 73% (без учета физического тепла газа). Рабочее давление дутья — 60—90—150 мм в зависимости от нагрузки.

## 6. ГЕНЕРАТОРЫ С ЖИДКИМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ

Конструкции с жидким шлакоудалением работают по принципу, противоположному вышеупомянутым конструкциям с водяным охлаждением, а именно — шлаки путем повышения температуры и до-

бавки к углю плавней доводятся до жидкого состояния, в каковом и удаляются путем простого спуска. Как мы уже говорили выше, это тип — нераспространенный, и применение его ограничено неспекающимися топливами — коксом или антрацитом, производительность его также ограничена ввиду невозможности иметь большие диаметры шахт, и, наконец, качество газа низкое ввиду невозможности давать с дутьем значительное количество пара или даже полного его отсутствия. Генератор Пинча на жидком шлаке, изображенный на фиг. 66, установлен в 1929 г. на Кинешемском химическом заводе. Он представляет собой шахту, суживающуюся в нижней части на конус и затем снова переходящую в цилиндр; верхний диаметр ее 1 000 мм, нижний 450 мм. Толщина футеровки 175 мм и толщина изоляционной прослойки 50 мм. Высота широкой цилиндрической части 1 200 мм, узкой цилиндрической 1 720 мм и конической 1 380 мм, всего от пола до загрузочной площадки 4 300 мм. Снаружи генератор заключен в железный кожух, орошаемый в средней части водой. Генератор имеет пять дутьевых фурм, расположенных по винтовой линии, и три шлаковые фурмы, закрываемые глиняными пробками.

## 7. ГЕНЕРАТОРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

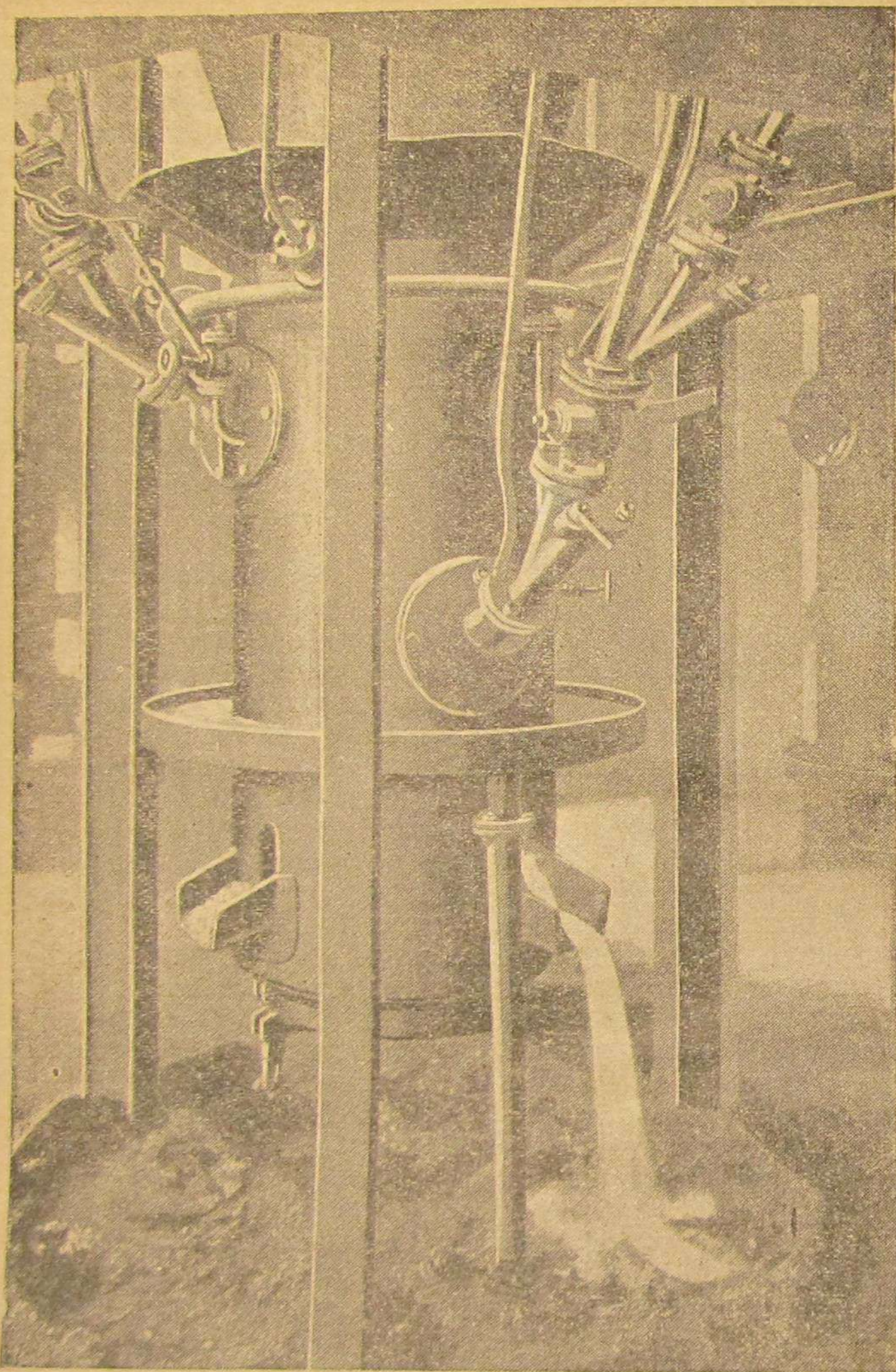
Перейдем теперь к генераторам с использованием побочных продуктов. Как и ранее, мы будем здесь придерживаться метода разбора конструкций по отдельным элементам, так как генератор с добычей смолы может иметь ту же решетку, тот же ватер-жакет и т. п., что и обыкновенный генератор. Поэтому хороший генератор с плохой швельшахтой может испортить всю работу, так же, как и плохая решетка при хорошей швельшахте. Прекрасные генераторы AVG с трудом газифицируют шлакующийся челябинский уголь, а неправильная конструкция смологонной шахты на генераторе Ленгерсдорфа — Югбллойда значительно ухудшила работу установки.

Подробного рассмотрения вопросов об объеме побочных продуктов и газоочистке мы здесь не сможем произвести; значительные указания были уже приведены во второй части данной работы; напомним еще раз только то обстоятельство, что для СССР — для нового строительства — других систем генераторов не следует применять, по крайней мере для битуминозного топлива. Применение низкосортных сильно влажных и смолистых топлив, как торф, щепы или подмосковный уголь, или сухих, но сильно смолистых, как журиновский или лисичанский угли, масштаб производства, приводящий к огромной длине и сложной разветвленности газопровода, наконец, характер печей с большим числом мелких горелок высокого давления — все это требует обязательной газоочистки. Последняя же и технически и экономически обуславливает ведение процесса с максимальным выходом жидких смол. Очистка газа делается вполне рентабельной за счет продажи смол, и техника удаления смол облегчается их хорошей текучестью: смолы при 50—100° льются, как нефть. Кроме того, выделение и переработка смол являются необходимыми условиями наиболее правильного и целесообразного использования топлива. За границей дело обстоит иначе: при частичной реконструкции предприятий, на-

<sup>1</sup> См. «Известия ВТИ», № 4, 1932, работа инж. Н. В. Шишакова.



пример, при добавке одной мартеновской печи, не обязательно ставить газоочистку, поскольку технически это не является необходимым бла-



Фиг. 66. Генератор Пинч с плавлением шлака.

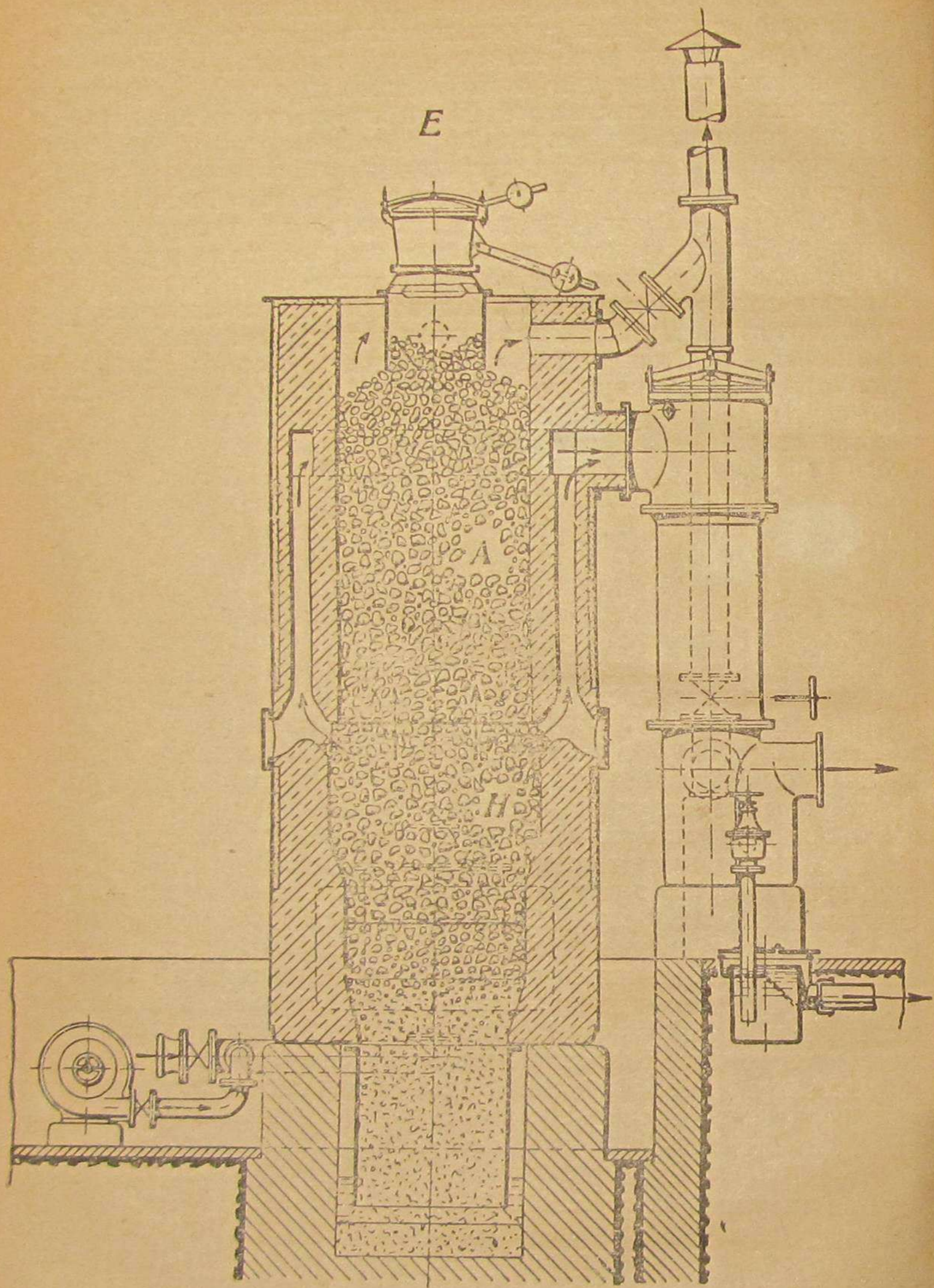
годаря широким и коротким газходам, а экономически это может быть при данном соотношении цен даже невыгодным. Поэтому при рассмотрении конструкций верхней части генератора — автоматической

загрузки, мешалки и т. д. — мы должны всегда учитывать, насколько они увязываются с использованием побочных продуктов.

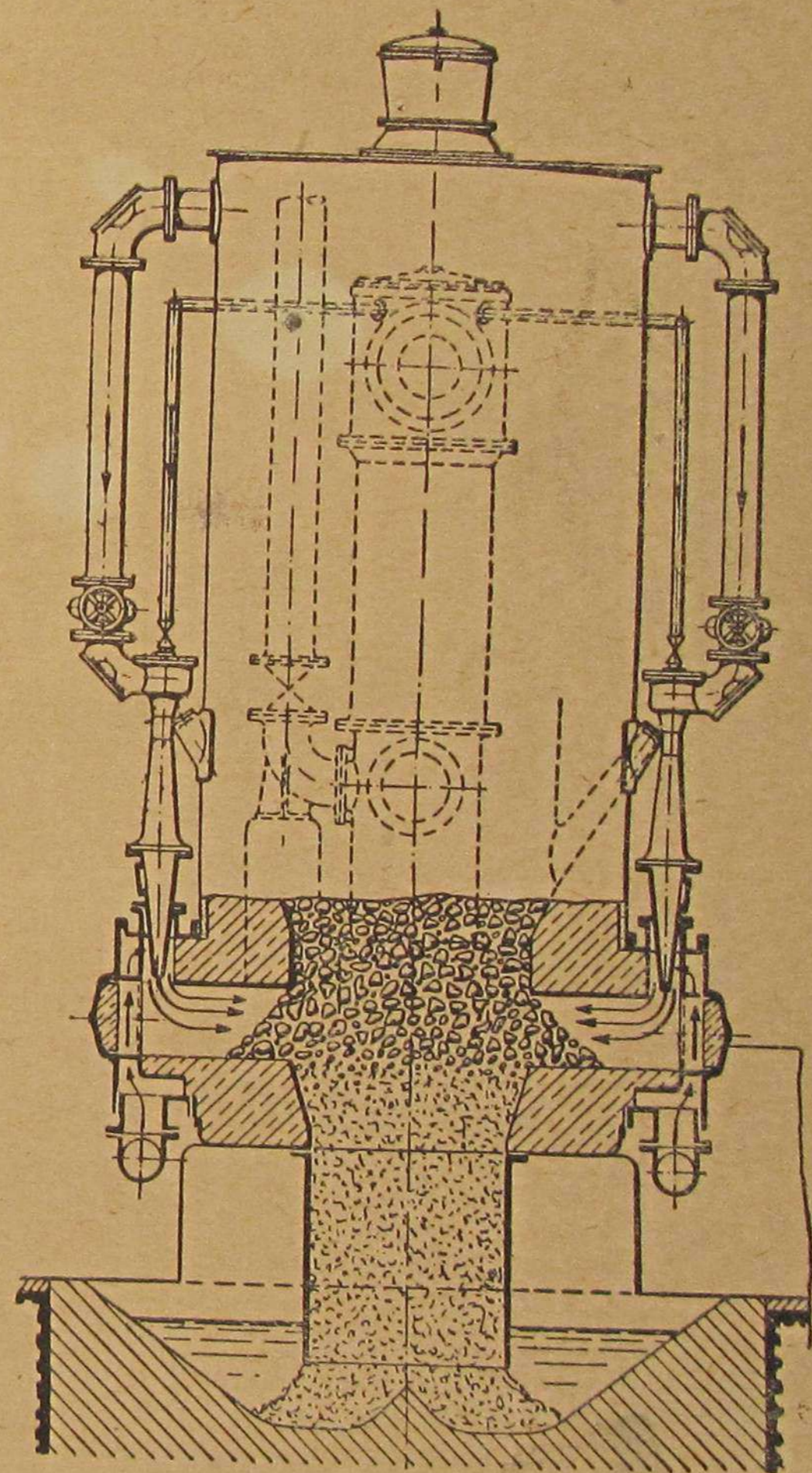
Способ этот заключается, как известно, в медленном нагревании топлива от 0 до  $500^{\circ}\text{C}$ , в результате чего образующиеся первичные продукты разложения угля избегают перегрева, вызывающего распадение ценных углеводородов алифатического характера с частичным образованием ароматических соединений или же просто сажи и пека. Для стационарных генераторов предотвращение этого достигается увеличением толщины слоя топлива, который в генераторах для бурого угля, торфа и т. д. в конструкции AVG, Юлиус Пинч и других доходит до 6—7 м. Благодаря этому топливо медленно подсушивается и разлагается, и паро-газообразные продукты разложения удаляются из верхних слоев топлива задолго до их опускания до огневой зоны. Но вместе с тем вследствие столь большой высоты слоя шуровка, прощупывание зон и т. д. становится очень затруднительными. Это привело к следующей современной конструкции генератора: самый генератор сохраняет обычную высоту в 2,5—4 м над решеткой, но на крышке генератора устанавливается цилиндрическая надстройка — высотой около 3—4 м, так называемая «шпельшахта» с диаметром около 1 500 мм в свету при поперечнике нижней шахты 2 600 мм. На крышке генератора в свободном кольцевом пространстве вокруг шпельшахты располагаются шуровочные отверстия, кольцо для паровой или воздушной завесы и т. д. На этом же уровне устраивается рабочая площадка для подхода к этому месту. Вторая площадка находится на уровне верха шпельшахты, в которой вставлена обычная загрузочная воронка. При правильной работе рабочий должен находиться на верхней площадке и спускаться на нижнюю только для промера зон и для шуровки, что, например, при торфе требуется не более двух раз в шестичасовую смену. Железный кожух шпельшахты укрепляется на крышке генератора на угольниках, стянутых болтами с асбестовыми прокладками. Толщина листов кожуха шпельшахты та же, что и основной шахты генератора — 10 мм. Футеровка шпельшахты не всегда обязательна, это зависит, главным образом, от рода газифицируемого топлива. Испытание газогенератора AVG на Гусь-Хрустальном показало при работе на торфу температуру газа от  $240^{\circ}\text{C}$  у основания шпельшахты до  $110^{\circ}\text{C}$  при выходе из нее, что делает футеровку не обязательной. При этом процесс смолывыделения идет до некоторой степени параллельно удалению остатков воды и первичных газов. Поэтому газ при выходе из шпельшахты имеет густой желто-белый цвет, газ же, выходящий из шуровочных отверстий на уровне основания шпельшахты, почти бесцветный или слабо беловато-синий наподобие газа из антрацита или коксика. Здесь фактически мы имеем, конечно, не кокс, а полукокс, состав которого колеблется в зависимости от состава органической массы топлива и режима полукоксования в шпельшахте.

При каменном или более старом буром угле, каковым является, например, наш челябинский уголь, процесс идет при несколько более высокой температуре: выходная температура около  $200^{\circ}\text{C}$ , а у основания шпельшахты  $450\text{—}550^{\circ}\text{C}$ ; поэтому шпельшахта футеруется в полкирпича. Крышка генератора на уровне основания шпельшахты футеруется фасонным огнеупорным кирпичом в виде свода (сложен-





Фиг. 67. Всасывающий генератор Пинча с крекингом смолы



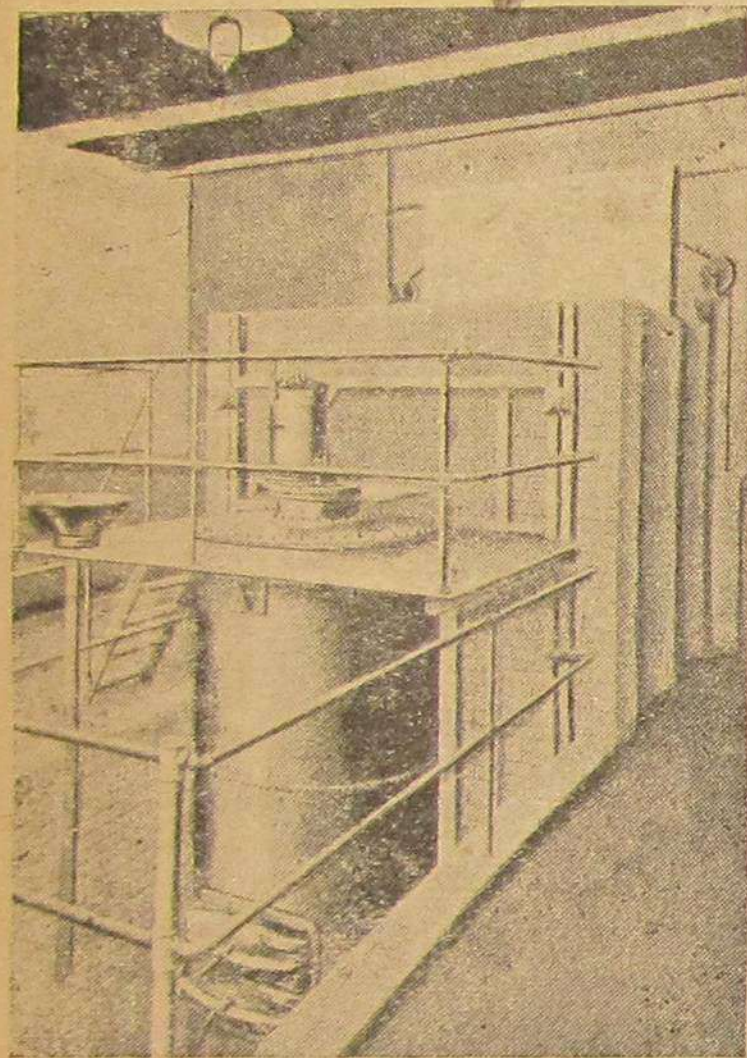
путем подведения ее в зону газификации.



ного впритирку, в замок, в кольцо). При неправильном ведении процесса, например, аварийном, вследствие недостатка топлива уровень топлива понижается, процесс идет быстрее, газ делается горячее, и смола, перегреваясь, распадается. Поэтому газ, выходящий из щуровочных отверстий на уровне основания швельшахты, имеет сперва желто-бурую окраску, и затем по мере дальнейшего опускания слоя делается темным и сажиисто-черным. Естественно, что при пониженной высоте слоя гораздо легче образуется прогар, проходящий наружу на поверхность слоя. Все это ведет к значительному повышению температуры газа, и стенки швельшахты, ничем не защищенные, горят, что и случилось, например, на Стеклозаводе им. Дзержинского в Гусь-Хрустальном (при недостатке торфа).

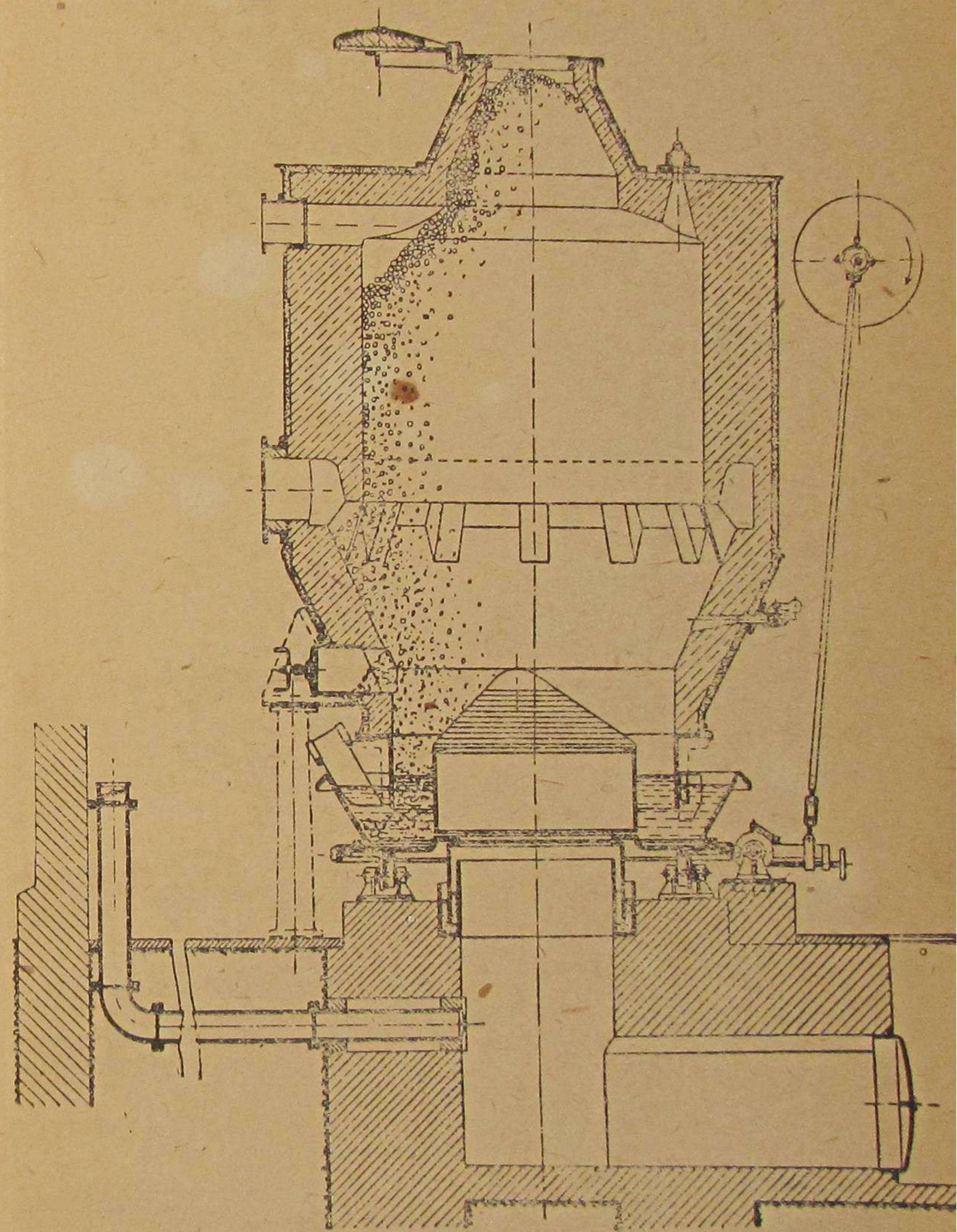
Генераторы с двойным отводом газа защищены от подобных случаев (типы Пинч и МАН). Вообще говоря, как уже было выяснено раньше, вопрос о применении одиночного или двойного отвода газа зависит от качества применяемого топлива, главным образом, от его влажности и зольности. При торфе с влажностью около 35% и зольностью около 5% тепловой баланс как раз сходится, т. е. тепла, заключенного в газе, выделенном при газовании полуккокса из 1 кг торфа, как раз хватает для подсушки и полуккоксования торфа и удаления получившейся смеси паров

и газов с температурой около 110—120° Ц. При этом расчете мы исходим из газа оптимального практически достижимого состава с минимальным содержанием  $\text{CO}_2$  (3—4%) и содержанием  $\text{N}_2$  не свыше 47—49%. При большем содержании влаги в топливе баланс не сойдется — тепла не хватает, для выравнивания баланса приходится идти на сгорание части полуккокса до  $\text{CO}_2$ , что повышает температуру газа и дает возможность выровнять баланс процесса. По этой причине оказывалась затруднительной газификация сырых германских бурых углей и нашего подмосковного угля. С другой стороны, при более сухих углях, как челябинский (15—18% влаги), лисичанский (12—13%), журиинский (6—9%) и т. п. получается избыток тепла, идущий в конечном счете на перегрев продуктов газификации выше 200°, что нежелательно в силу вышеупомянутой возможности разложения смол. В этом случае вполне целесообразным является отвод части газов на сторону до швельшахты, благодаря чему достигается тройная выгода:



Фиг. 68. Генератор Пинч (установка у печи).

ров и газов с температурой около 110—120° Ц. При этом расчете мы исходим из газа оптимального практически достижимого состава с минимальным содержанием  $\text{CO}_2$  (3—4%) и содержанием  $\text{N}_2$  не свыше 47—49%. При большем содержании влаги в топливе баланс не сойдется — тепла не хватает, для выравнивания баланса приходится идти на сгорание части полуккокса до  $\text{CO}_2$ , что повышает температуру газа и дает возможность выровнять баланс процесса. По этой причине оказывалась затруднительной газификация сырых германских бурых углей и нашего подмосковного угля. С другой стороны, при более сухих углях, как челябинский (15—18% влаги), лисичанский (12—13%), журиинский (6—9%) и т. п. получается избыток тепла, идущий в конечном счете на перегрев продуктов газификации выше 200°, что нежелательно в силу вышеупомянутой возможности разложения смол. В этом случае вполне целесообразным является отвод части газов на сторону до швельшахты, благодаря чему достигается тройная выгода:



Фиг. 69. Генератор двойного газа для бурого угля.

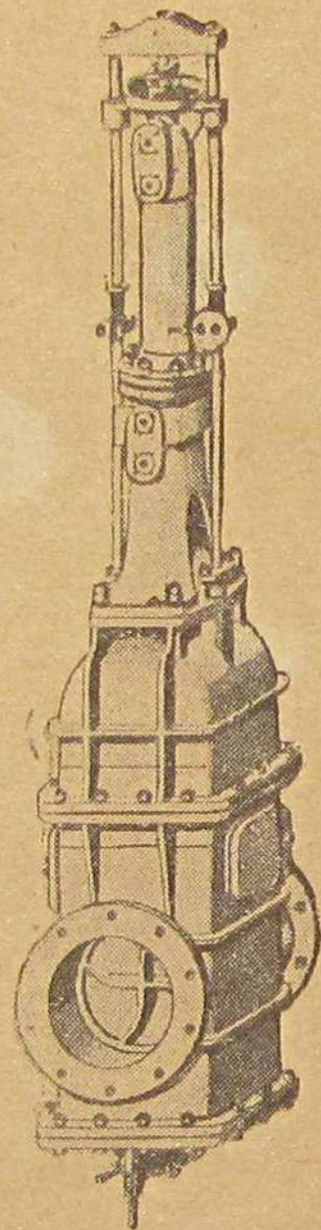


1. Качество смолы ввиду отсутствия перегрева выше, смола более текуча и газ легче подвергается очистке, так как аппараты для очистки смолистого газа не засоряются.

2. Количество газа, идущего через смолоочистку, меньше, поэтому уменьшаются размеры всей аппаратуры и облегчается улавливание смолы — из меньшего количества газов. Аппаратура же для очистки горячего газа из полукокса (из второго отвода) значительно проще и дешевле, чем сложная аппаратура для смолоочистки, а иногда она



Фиг. 70. Проходная газовая задвижка Лудло со шпинделем.



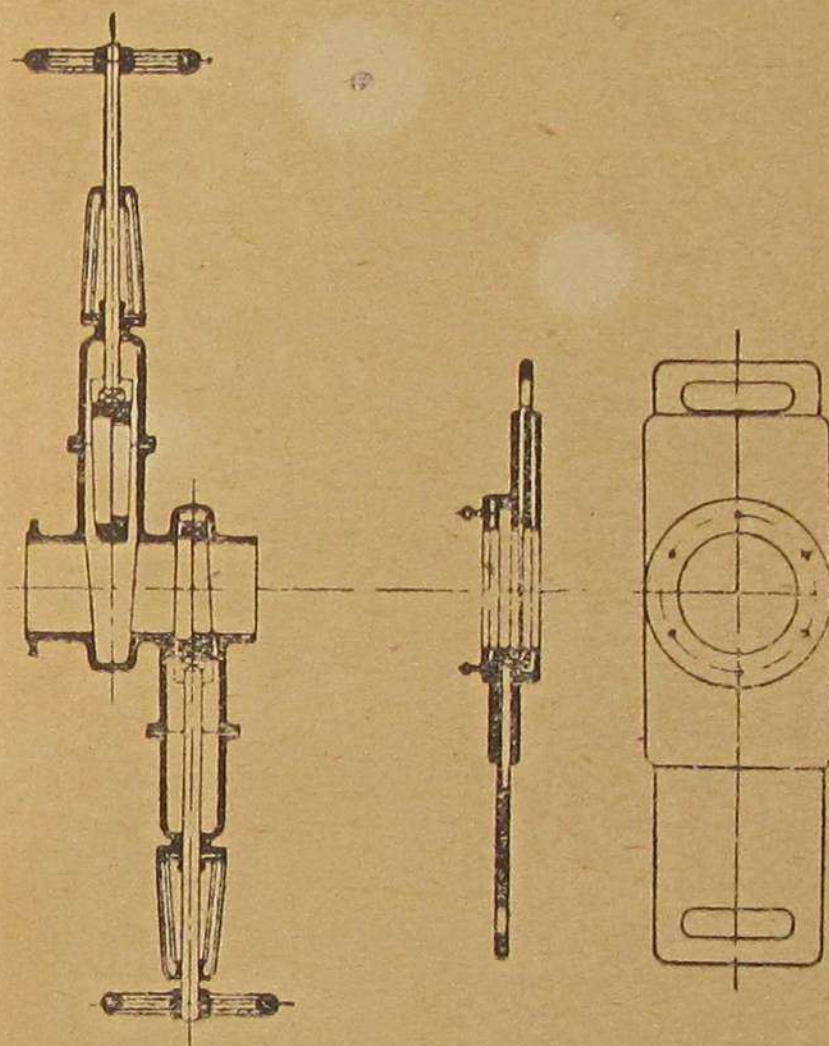
Фиг. 71. Шибер для газа, отходящих (дымовых) газов и воздуха Демаг.

и вовсе может отсутствовать. Количество подсмольных вод также меньше благодаря уменьшению количества промывных вод.

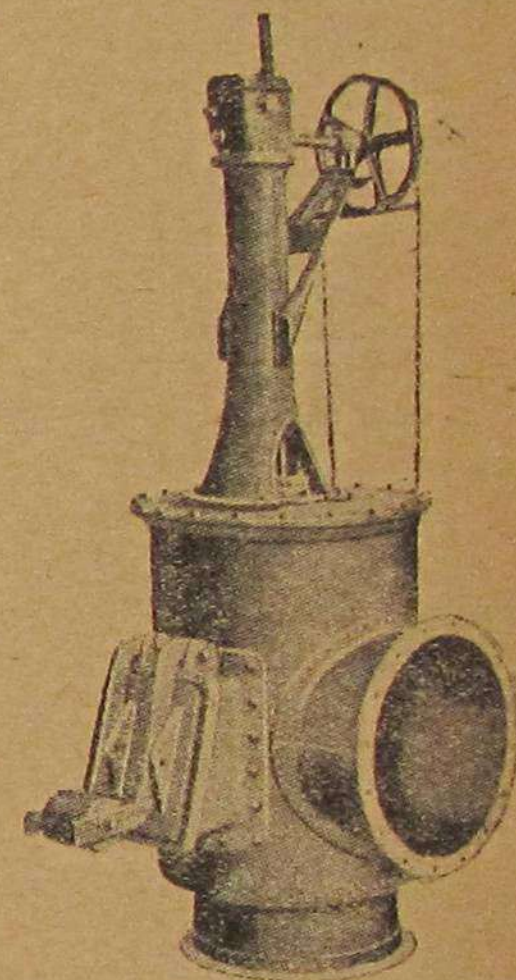
3. Генератор одинаково пригоден для торфа, подмосковного, челябинского и длиннопламенных неспекающихся углей, как журиинский или лисичанский, без изменения высоты шахты.

Недостатком этой системы является несколько большая сложность установки благодаря наличию двух очистительных аппаратов, каждая со своим газовым вентилятором. Регулировка количества газа, пропускаемого через ту или иную систему газоочистки, производится шиберами (задвижками Лудло) или у газовых вентиляторов или непосредственно у генераторов; на нижнем отводе целесообразно ставить тарельчатый клапан во избежание заклинивания при нагревании.

Основным условием правильной работы подобной установки является точное соблюдение вышеупомянутого правила: процесс полукоксования должен кончаться в швельшахте, а в нижней шахте должен газифицироваться только полукокс. Признаками правильного процесса являются: в швельшахте виден желто-зеленый газ, в нижней шахте у выпуска бесцветный или синеватый. Несоблюдение этого правила влечет за собой немедленно расстройство работы установки, так как смолистый газ попадет в аппаратуру, для него непригодную, а служащую лишь для охлаждения горячего газа с некоторым количеством сухой пыли. Горячий же газ с расщепленной вязкой сажаистой смолой попадет в холодильники и другие устройства, приспособленные лишь для жидкой текучей смолы.



Фиг. 72. Двойная газовая задвижка.



Фиг. 73. Тарельчатый угловой клапан с предохранителем и цепным управлением

Это именно и случилось с генераторной установкой фирмы Ленгерсдорф — Юнгблойд, установленной на Динасовом заводе в Пантелеймоновке. Генератор этой фирмы также имеет два отвода газов, но, к сожалению, скомпанован он гораздо менее удачно, чем у Пинча.

В этом генераторе приходилось пропускать весь газ через узкие отверстия в шамотном кольце, которые быстро засорялись небольшими количествами пыли и тяжелой смолы, еще остающейся в полукоксе. При всяком понижении слоя топлива в верхней реторте увеличивается количество смолы, остающейся в полукоксе, а при всяком прогаре происходит перегрев смоляной пыли, осевшей на шамотном кольце. Все это ведет к быстрому засорению отверстий в шамотном кольце наростами жирной пыли и сажи. Вследствие этого обогрев топлива в реторте становится неравномерным и недостаточным. Процесс полу-



коксования происходит неравномерно и неполностью, и уголь попадает в нижнюю шахту с большим содержанием смолистых веществ. Эти смолы переходят в генераторный газ и попадают вместе с ним в аппаратуру для его охлаждения, совершенно непригодную для очистки от смолы. Испаритель, составленный из 2" железных труб, прекрасно работающий на сухом горючем чистом газе, очень быстро засоряется благодаря выпадению жирных смол и сажи. Вследствие этого быстро уменьшается его паропроизводительность и не хватает пара для достаточного увлажнения дутья. Это в свою очередь ведет к усилению шлакования топлива к нижней зоне. Так как генератор работал на донецких спекающихся газовых углях, чрезвычайно легко образующих в сравнительно узкой реторте висячие мосты, то весь процесс быстро расстраивался. Приходилось очень часто шуровать, что было весьма затруднительно, так как образование сводов имело место, главным образом, в нижней части внутренней реторты и при шуровке сверху приходилось пробивать весь столб топлива, лежащий в реторте; было бы гораздо удобнее шуровать с боков, но это было невозможно из-за того, что реторта находилась внутри верхней шахты. Все эти затруднения привели в результате нескольких месяцев работы к полному расстройству газогенератора: внутренние реторты были сожжены и выброшены; отводы для смолистого газа были закрыты наглухо. Слой топлива был понижен до высоты, отвечающей обыкновенной работе газогенераторов с горячим ходом без отъема побочных продуктов, испарители забиты смолой и выброшены. Для получения пара пришлось поставить отдельный паровой котел с добавочной затратой топлива. Качество смолы было низким вследствие перегаров. Персонал проводил почти все время на средней площадке, где атмосфера была очень тяжелой. Вследствие малой высоты слоя топлива, постоянных перегаров и значительного спекания угля качество газа стало низким и, главное, очень непостоянным: без шуровки — огневой ход, после шуровки — темный газ, и так каждые 5—10 мин. В итоге получилась крайне оригинальная конструкция, при которой горячий газ низкого качества подвергался очистке с целью удаления смолы и охлаждения, т. е. он терял все преимущества, свойственные горячему газу, не давая в то же время никаких улучшений состава, свойственных газу при работе с получением побочных продуктов.

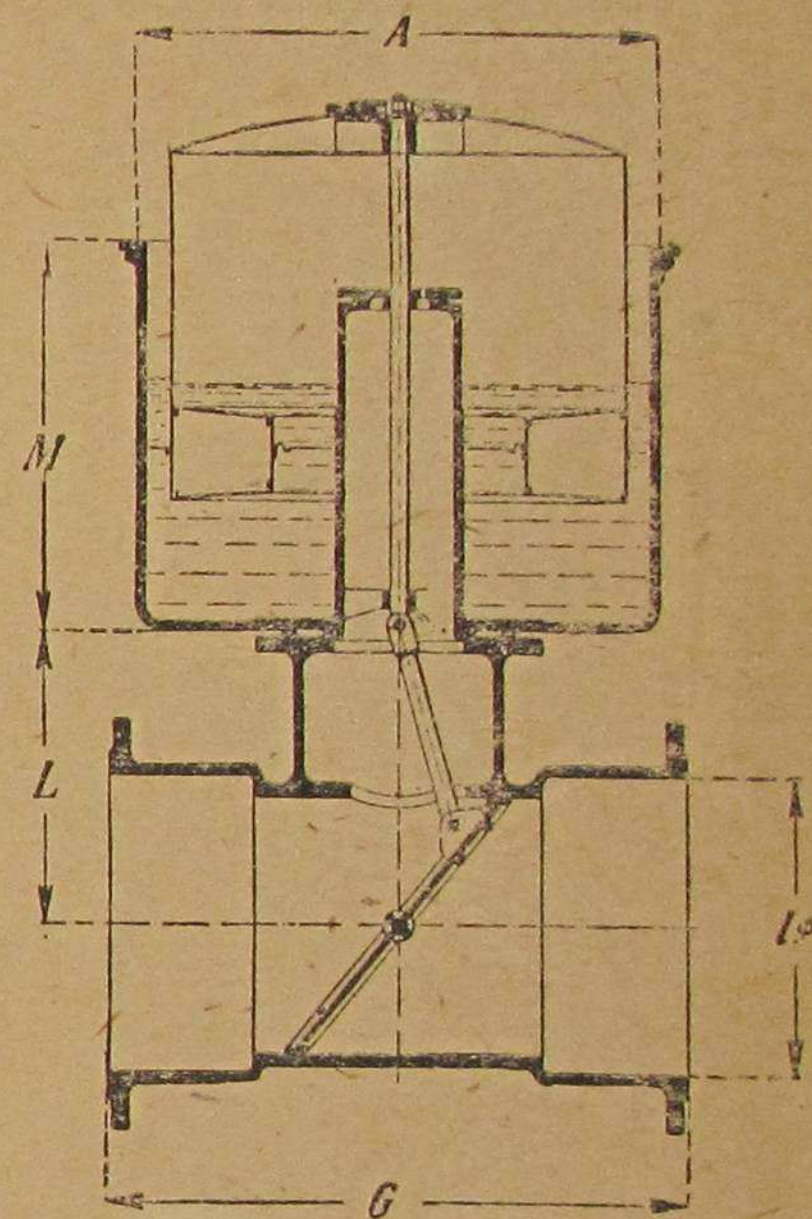
Конечно, многое в этой неудаче должно быть отнесено за счет небрежности и невнимательности персонала, за счет плохого качества угля, в котором было много пыли и т. д., но все же следует признать, что внутренняя реторта, не давая почти никаких особых преимуществ, — вызывает много осложнений, могущих привести к полному расстройству всего процесса. Поэтому от применения подобных внутренних реторт следовало бы отказаться.

Были попытки устраивать мешалки внутри швельшахты для улучшения ведения процесса, но они не получили особого распространения по следующим причинам: в реторте эти мешалки испытывают большие сопротивления, так как должны воздействовать на всю толщину слоя топлива, находящегося в швельшахте. Поэтому они требовали большого расхода энергии и быстро изнашивались; кроме того, они давали большое количество пыли, которой при швельпроцессе стремятся получить как можно меньше, так как только в этом случае получается жид-

кая легко текучая смола, смешанная с пылью смола представляет собой одно из самых больших затруднений при газоочистке, так как она не жидка и не тверда, не сыпается и не льется.

Взамен швельшахты некоторые фирмы, например, Германское общество для добычи Мондгаза и побочных продуктов, пробовали применять внутренние реторты с дном или без дна, вставленные в газовое пространство обыкновенного генератора. Преимуществом такой конструкции является меньшая высота здания, отсутствие средней рабочей площадки и т. д. Однако эта конструкция повидимому также не получит распространения, поскольку тепловосприятие такой реторты очень невелико, следовательно, процесс полукоксования идет очень медленно, а конструктивные условия не позволяют дать реторте большие размеры. Шуровка затруднительна, а мешалки не работают достаточно удовлетворительно. Поэтому эти реторты снижают производительность газогенератора и применимы только при сухих неспекающихся смолистых углях вроде журицкого пласта Кузбасса, влажность которого обычно не превышает 6—7%.

Что же касается внутренних коротких цилиндров, подвешенных к крышке газогенератора и применяемых многими фирмами — Пинч, AVG и т. д., то неверным является мнение, будто эти цилиндры могут заменить швельшахту. Они слишком малы и, не имея второго отвода газа, они не препятствуют швельгазу смешиваться с главной массой горячего генераторного газа. Они служат только для уменьшения количества пыли в газе, так как позволяют изолировать восходящий поток газа от падающих при загрузке угля мелких частичек; кроме того, в них происходит, конечно, некоторая подсушка угля. Применяя этот метод, Юнгблуд и создал довольно неудачную конструкцию: в швельшахту вставлен железный цилиндр без дна со своим отдельным отводом для газа в боковой стенке. Сверху цилиндр укреплен (подвешен) на крышке генератора, а снизу опирается на сплошную шамотную выкладку (кольцо), соединяющую его со стенками швельшахты. В шамотном кольце сделаны круглые отверстия для прохода генераторного газа в кольцевое пространство между швельшахтой и внутренней ретортой; далее газ выходил через боковой отвод.



Фиг. 74. Автоматический регулятор давления газа с поплавковым колоколом системы Пинч.



Таким образом, обогрев реторты производился снаружи через стенку. Между тем, расчет показывает, что теплопередача через стенку очень невелика и при охлаждении газа от 500 до 200° Ц может составить всего лишь около 10% того количества тепла, которое можно получить от того же газа при проходе его непосредственно через слой топлива в реторте. Охлаждение газа поэтому совершенно ничтожно, и чтобы достаточно обогреть реторту, нужно пропустить через кольцевое пространство почти весь газ с температурой около 600—700° (тепловые балансы генераторов с использованием побочных продуктов приведены в первой части).

Неслучайно, что швельшахта отсутствует в предложенных конструкциях для подмосковного угля, где влажность настолько велика, что связанная влага доходит почти до самых колосников, и нет опасности перегрева смолы, или же для несколько спекающихся каменных углей типа донецких газовых, где пропуск всего газа через швельшахту был бы затруднителен ввиду большого газового сопротивления угольной массы. Устройство же двух отводов газа и двух систем газоочистки казалось фирмам затруднительным. Поэтому-то мы не имеем швельшахт в предложениях фирм AVG, Бамаг и т. д. для донецких и кузнецких углей.

В общем наружные швельшахты оказались весьма ценными конструкциями и могут быть рекомендованы с одним отводом газа — для торфа и бурых углей; для сухих топлив весьма целесообразно проверить конструкцию с двумя отводами газа и двумя системами газоочистки.

---