

Dr.-Ing. J. GWOSDZ

**ДВОЙНОЙ
ВОДЯНОЙ ГАЗ
(KOHLENWASSERGAS)**

ОНТИ

НКТП

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ**

Dr.-Ing. J. G W O S D Z

ДВОЙНОЙ ВОДЯНОЙ ГАЗ

(KOHLENWASSERGAS)

ПЕРЕВОД С НЕМЕЦКОГО
инж. Н. Н. БОГДАНОВА

ПОД РЕДАКЦИЕЙ И С ПРЕДИСЛОВИЕМ
проф. В. П. ФЕДОРОВА

Утверждено УУЗ Уп НКТП для вузов
на 1933/34 год



ОНТИ ГОСУДАРСТВЕННОЕ НКТП
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ
Харьков 1934 Киев

Библиографическое описание
этого издания помещено в
„Летописи Укр. печати“, Кар-
точном реперт. в других ук-
ладках Укр. Книж. Палаты

Сектор Кокс и Химия

20 — 5 — 3

Ответ. редактор *Марченко К. И.*

Техоформленне *Руденский Я. В.*

Типография Государственного научно-технического издательства Украины
Киев, ул. Воровского, 42

Уполномоч. Главлита № 4503(819). Зак. № 178. Тираж 3000—12¹/₂ лис:

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому изданию	5
Предисловие автора	7
В в е д е н и е	
Термин	10
История. Значение производства двойного водяного газа для снабжения промышленности и городов	10
Двойной водяной газ и химическая промышленность	14
I. Получение водяного газа из битуминозных углей при глубоком расщеплении углеводородов	
Старые немецкие и американские способы	15
Новейшие американские способы; каменный уголь как замена кокса в американских установках для получения масляного водяного газа	19
Газогенератор для получения водяного газа из дерева	39
Английские и французские конструкции	40
II. Производство двойного водяного газа	
Генераторы двойного водяного газа типа Strache	48
Установка двойного водяного газа системы Pintsch	65
Генераторы двойного водяного газа «System Stassfurt»	67
Тригазгенератор фирмы Dellwik-Fleischer-Wassergasgesellschaft	69
Устройства для устранения малоактивного или «мертвого» центрального ядра в генераторах двойного газа	75
Установки с карбюрированием двойного газа смолой	76
Карбюрирование смолой в камере перегревателя	83
Карбюрирование газа путем разложения смолы в слое топлива	86
III. Обогрев швель шахты потоком горячего газа	
Старые предложения. Новые способы Strache и Breisiga. Английские конструкции Travers'a Clark'a. Установка водяного газа с обогревом циркуляционным газом системы Vamag	105
Карбюрирование двойного газа с применением циркуляции. Установка Vamag. Установка двойного газа с карбюрированием газа маслом системы Humphreys and Glasgow	125
IV. Особые конструкции. Использование тепла в установках двойного газа	
А. Генераторы двойного газа с нагревом шахты газификации поперечным потоком. Система Doherty. Система Loebell	115
В. Генераторы двойного водяного газа с двумя шахтами. Система Rincker. Система Berg	119
С. Производительность генераторов двойного газа и использование тепла в них	125
V. Производство высококалорийных газов в установках двойного газа	
Отъем кокса	131
Обогащение двойного водяного газа светильным и швельгазом	136
Омгазгенератор фирмы Dellwik-Fleischer-Gasgesellschaft	145
Обогащение двойного газа путем отъема генераторного газа. Омгазгенератор непрерывного действия. Способ Tully-Yeo	148
VI. Непрерывное получение двойного водяного газа	
Получение водяного газа при подводе тепла нагретыми газами. Установка для непрерывного получения двойного газа системы Leider. Способ Hilbrand'a Pintsch	152

	Получение двойного водяного газа при внутреннем обогреве с помощью кислорода. Американские и английские опыты. Применение электролитического кислорода. Расчеты Cerasoli. Опыты Vanderveer'a и Parr'a. Опыты Drawe. Предложение Ernst'a	158
	Внутренний обогрев газогенератора при помощи электрического тока. Электрогазогенератор водяного газа системы Stassano	171
VII.	Получение водяного газа из угольной пыли и штыбов	
	Газификация и дистилляция пылевидного угля во взвешенном состоянии по старым способам. Опыты Herzberg'a. Круглоячеечный генератор O. Heller'a. Расчет производительности, размеров и расхода тепла для опытного круглоячеечного газогенератора по инж. Heller'у. Газификация пылевидного угля в токе сильно нагретой циркуляционной парогазовой смеси по способу Teer- und Gas A.-G. Непрерывная газификация угольной пыли смесью кислорода и пара. Обогрев камеры газификации излучением. Обогрев камеры газификации при помощи расплавленных ванн. Генератор двойного газа с ванной из поваренной соли системы Lichtenberger и Bolz. Газификация угольной пыли в водяной газ при помощи периодически нагреваемой насадки. Установка для получения двойного газа системы Bamaq - Méguin и Heller. Способ Вепнер'a и Trent'a. Ускорение реакций при помощи катализаторов. Опыт по газификации углей с высокой реакционной способностью по реакции $C + 2H_2O = 2H_2 + CO_2$. Газификация пылеватых углей в подвижном слое по способу Winkler'a и I. G. Farbenindustrie A.-G. .	173

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Вопросы газификации за последние годы приобретают в СССР все большее и большее значение. Этот процесс получил отражение в работах топливных конференций, в организации в 1932 г. треста «Газогенераторстрой», в открытии специальности газификации во вузах, в появлении именно за последние два-три года ряда работ по вопросам газового хозяйства и проч.

Такой интерес к технике газификации явился прямым следствием индустриализации советского народного хозяйства вообще и в частности взятого советской властью и партией курса на хпмизацию страны.

Целый ряд основных отраслей народного хозяйства СССР становится крупнейшим потребителем генераторных газов, не имея во многих случаях возможности заменить их другими видами топлива. Сюда можно отнести: металлургию, машиностроение, стекольную, фарфоро-фаянсовую и другие отрасли промышленности. Крупнейшее значение производство водяного газа имеет для синтетической химической промышленности, ибо водяной газ является исходным сырьем для производства водорода, необходимого в синтезе аммиака, для процессов гидрирования, бергинизации и т. д.

К этому необходимо еще добавить, что для многих топлив производство генераторных газов будет комбинироваться с извлечением первичной смолы, как источника жидкого топлива. Для применения генераторного газа в энергетике (теплоэлектростанции, газовые машины и газовые турбины) в настоящее время открываются также широкие перспективы.

Наша литература по газогенераторам и производству газов весьма бедна и собственного производственного опыта накоплено, повидимому, еще недостаточно для появления систематического руководства в этой области. Поэтому выпуск на русском языке книги известного немецкого специалиста Gwosdz является чрезвычайно своевременным.

Как показывает само заглавие «Двойной водяной газ», книга эта не является общим руководством по газогенераторам и газификации топлива и требует от читателя предварительного знакомства с этими вопросами.

Посвященная разбору различных методов производства водяного и двойного водяного газов из углей, в том числе из низкосортных; книга инж. Gwosdz написана под углом зрения развития городского газового хозяйства Германии, вынужденного в послевоенные

годы, так же как и в других капиталистических странах, искать более дешевого сырья и более дешевых способов производства городского газа, чем применявшиеся всюду до войны в ретортных установках.

Gwosdz не дает конструктивного материала, не приводит в большинстве случаев точных эксплуатационных или экспериментальных данных, а также и экономических расчетов для описываемых способов производства, а останавливается, главным образом, на обзоре разработанных до сих пор методов производства и их критической оценке.

Для нашего читателя эта книга будет представлять несомненный интерес, так как дает возможность быстро ознакомиться с многочисленными, уже испробованными за границей, вариантами процесса получения водяного и более калорийных газов и оценить их применимость для наших условий.

В заключение несколько слов по поводу терминологии. Книга озаглавлена автором «Kohlenwassergas», при чем во введении объясняется значение этого понятия. Точный перевод этого слова на русский язык довольно затруднителен. Если пользоваться аналогией со словом Kokswassergas — коксовый водяной газ (водяной газ из кокса), то Kohlenwassergas можно было бы перевести «водяной газ из угля», что совершенно не соответствует немецкому пониманию этого слова, или же «углеводяной газ» — слово, не дающее ясного и точного представления. Наиболее точно и по форме, и по смыслу передающим немецкое Kohlenwassergas было бы русское выражение «светильново водяной газ», поскольку под Kohlenгаз понимается ретортный светильный газ и само выражение «светильново водяной газ» дает довольно правильное представление о нем, как смеси водяного газа со светильным или дистилляционным газом.

Однако редакция не сочла возможным вводить новые термины, тем более, что ни одно из рассматриваемых выражений не является достаточно удовлетворительным, и остановилась на выражении «двойной водяной газ» — понятии, уже вошедшем в обиход русской технической литературы. Как можно судить по немецким источникам¹, Kohlenwassergas и Doppelgas являются синонимами.

В. Федоров.

¹ Gwosdz, Kohlenwassergas, стр. 135; Litinsky, Restlose Vergasung und Gaswerke, Feuerfest, 1932, s. 49.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Настоящий труд является первой книгой по получению двойного водяного газа из углей и вообще первым обстоятельным сочинением по безостаточной газификации естественных углей на основе процесса водяного газа.

Несмотря на то, что этот способ газификации появился уже давно, в газовую промышленность у нас (в Германии) он вошел только во время мировой войны в виде разработанного Strache способа получения двойного газа. Теперь, после различных изменений и улучшений, этот способ получил большое значение, наряду с более старыми способами производства городского и промышленного газа. Дальнейшей областью применения, которую нашла себе полная газификация за последнее время, является получение исходных газов, и прежде всего водорода, для разнообразных химических процессов, как например, синтез аммиака, получение масел путем гидрирования углей и т. д. Интерес, проявляемый специалистами к этим процессам, виден из того, что за последнее время было построено не мало опытных установок, большей частью с затратой значительных средств.

Литература и чисто научные исследования в этой области отставали от проведенных за последние десятилетия практических работ. Труды в области получения двойного водяного газа публиковались фирмами, строившими эти установки. Их сообщения, в противоположность опубликованным за границей, весьма неполны, что объясняется боязнью выдать производственную тайну. Скрытность доходит до того, что в немецких статьях нельзя найти даже изображений и описаний конструкций тех фирм, которые принимали большое участие в развитии этого дела. Только за последнее время здесь наметился известный поворот, вызванный тем, что сейчас появились обстоятельные, подтвержденные длительным промышленным опытом, сообщения производителей. Сводного же труда, освещающего проделанную в этой области работу, совершенно не имеется, и ознакомление с состоянием техники в этой области представляет для неспециалиста довольно большие затруднения.

Настоящая книга имеет целью пополнить прежде всего этот пробел. Далее оказалось также необходимым попытаться осветить воз-

никавшие в процессе развития техники задачи и стремления и, по возможности, критически оценить предложенные решения их.

Материал в книге распределен по двум основным моментам: с одной стороны, получение водяного газа из углей, а с другой стороны, получение газа с более высокой теплопроизводительностью, чем обычный водяной газ. Получение водяного газа из обыкновенного каменного угля описано в первой главе, так как применяющиеся способы отчасти исторически примыкают к старому способу получения водяного газа из кокса, отчасти же являются мало разработанной предварительной ступенью к получению двойного водяного газа. Возникшие же за последнее время распространяющиеся почти исключительно в Германии способы использования низкоценных топлив, развитие которых базируется на различных конструкциях, имеющих совершенно новые основные предпосылки, описаны в заключительных главах книги. При оценке распределения и изложения материала нужно учесть, что правильная классификация объектов в развивающейся быстрым темпом области техники часто весьма затруднительна. Здесь описаны, главным образом, вошедшие в практику или по крайней мере испытанные способы и конструкции; из обширной патентной литературы отмечены только те предложения, которые могут иметь значение для дальнейшего развития дела.

Несмотря на проведенную уже довольно большую техническую работу, остается еще многое сделать. Можно было бы приветствовать, если бы на разъяснение многочисленных вопросов в области получения двойного водяного газа были направлены научные исследования, которые до сих пор не затрагивали этой проблемы.

Организовать в Германии систематическую работу научных институтов и наблюдать за ней — должно быть задачей Государственного угольного совета (Reichskohlenrat), который при помощи комиссий специалистов по использованию топлив в других случаях, как например, в вопросе сжигания пылевидного топлива, уже в течение ряда лет оказывает деятельную помощь промышленности.

Такое же поощрение со стороны органов общественности следовало бы оказать и молодой отрасли промышленности — полной газификации, даже если в настоящее время, в виду благоприятного положения старой газовой промышленности, это и не является настоятельной необходимостью. Ведь следует еще учесть, что установки для получения двойного водяного газа поставлены немецкими и австрийскими фирмами в других, в особенности бедных каменным углем, странах, как Югославия, Венгрия, Франция, Италия, Алжир и даже Япония. По сравнению с Англией, которую можно считать единственным конкурентом в этом деле, германская промышленность имеет то преимущество, что у нее стремления направлены на газификацию не только каменного угля, но и на использование низкоценного бурого угля.

Достигнутые в этой области успехи могли бы повести к зак-

реплению положения германских фирм в странах, обладающих залежами бурого угля.

Настоящая книга не претендует на то, чтобы быть руководством для конструирования генераторов. Она достигнет своей цели, если даст возможность широким кругам специалистов ознакомиться без ненужной большой работы с этой молодой отраслью использования топлива.

Dr.-Ing. I. Gwosdz

Берлин-Шарлоттенбург, июнь 1930 г.,
в дни Второй международной энергетической конференции в Берлине

ВВЕДЕНИЕ

Термин. Согласно принципам однотипного обозначения технических газов, установленным Германским комитетом стандартов (Normenausschuss) совместно с руководящими промышленными объединениями, под термином Kohlenwassergas (двойной водяной газ) понимается водяной газ, полученный при газификации битуминозных углей, в отличие от «водяного» газа, полученного из прококсированного или бедного летучими топливами — кокса или антрацита, — газа, который горит несветящимся голубым пламенем и потому обозначается также «голубым водяным газом». Kohlenwassergas содержит часть образующихся при коксовании углеводородов; теплотворная способность его 3200—3400 кал./м³. Под Kohlenwassergas следует понимать также газовые смеси, которые раньше, согласно введенному Strache обозначению, назывались «двойной газ».

В настоящем труде принято обозначение комиссии стандартов. Однако в этой книге речь идет не только о получении Kohlenwassergas в указанном смысле; изложение охватывает вообще получение водяного газа из битуминозных топлив. В виду этого здесь будут рассмотрены, с одной стороны, процессы, при которых углеводороды подвергаются более или менее глубокому расщеплению, и, следовательно, газ по теплотворной способности приближается в той или иной степени к «голубому» или коксовому водяному газу (2500—2700 кал./м³); с другой стороны, здесь рассматриваются и те процессы, при которых, благодаря разложению смолы или другим мероприятиям (как отъем кокса из генератора), получается газ, обладающий более высокой теплотворной способностью, чем указанная выше теплотворная способность Kohlenwassergas, полученного при безостаточной газификации.

История. Значение производства двойного 'водяного газа для снабжения промышленности и городов. Стремление применять в газогенераторах водяного газа вместо антрацита и кокса битуминозные угли возникло почти одновременно с промышленным получением водяного газа. В Германии первые опыты (в восьмидесятих годах прошлого века) были поставлены Blass'ом и обществом Europäische Wassergasgesellschaft. При использовании битуминозных углей в Америке так же, как и в Германии, были обнаружены большие затруднения, чем при газификации кокса и антрацита. Положение на топливном рынке не побуждало в то время к стремлению преодолеть эти затруднения. В течение следующих двадцати лет все-таки делались в разных местах попытки, не обещающие успеха. И только

вызванные мировой войной изменения в топливном хозяйстве поставили проблему получения водяного газа из молодых топлив на первый план и выдвинули для разрешения ее ряд сил.

Цели, к которым сводились эти новые стремления, могут быть в основном формулированы следующим образом:

1. Удешевление стоимости топлива для получения водяного газа путем применения обычных каменных и бурых углей или же малоценных отбросных топлив вместо антрацита и кокса, сильно возросших в цене.

2. Применение процесса получения двойного водяного газа для удовлетворения сильно растущей потребности в городском и промышленном газе. При этом руководствовались теми соображениями, что производство двойного водяного газа дешевле, чем светильного, получаемого как с прибавкой водяного газа, так и без нее, а при равных капитальных затратах производительность установок двойного водяного газа значительно выше.

В противоположность САСШ, последняя причина была главенствующей при разработке новых способов в Германии и Англии.

Несмотря на быстрое распространение электрического освещения, расход газа на газовых заводах сильно возрос за последние десятилетия. Так например, в САСШ подача газа возросла приблизительно с 3 млрд. м³ в 1905 г. почти до 12 млрд. м³ в 1924 г. В Англии и Германии расход газа за эти годы также сильно увеличился. Это обстоятельство объясняется прежде всего тем, что газ все в большей и большей степени применяется для целей промышленного и домашнего отопления. Хотя нельзя точно отделить этой части газа от части, идущей на освещение, но нет никакого сомнения в том, что заводы «светильного газа» стали теперь преимущественно поставщиками отопительного газа. Газовая промышленность ведет еще, как известно, очень большую пропаганду, при чем ее основное стремление сводится к дальнейшему увеличению потребления газа в промышленных топках.

Это повышение потребности газа уже некоторое время тому назад привело специалистов к заключению о необходимости расширения сырьевой базы для газового производства. До сих пор для газовых заводов было существенно не только достоинство угля по выделению высококалорийных газов, но в значительной мере и качество получающегося кокса, так как экономичность производства сильно зависела от доходов от продажи кокса. Поэтому неудивительно, что в кругу газовых фабрикантов относились сперва недоверчиво к стремлению изменить эту основу газовой промышленности путем использования кокса для приготовления газа. Однако и среди них все больше и больше укреплялось сознание того, что при старых способах производства, при большом росте потребления газа соответственно возрастет и сбыт кокса, безусловной обеспеченности которого у газовых фабрикантов не было. Значительного повышения потребности в газе следовало ожидать с того времени, когда различные отрасли

промышленности стали переходить с угольного топлива на газовое. Поощрение этого движения считалось целесообразным газовыми фабрикантами, придерживавшимися старых способов производства, так как, благодаря этому, они ожидали лучшего использования газовых установок в определенное время дня и, следовательно, повышения их экономичности. Последнее соображение уже перед войной заставило во многих местах отказаться частично от старых основ газификации и к ретортному газу подмешивать водяной газ, полученный путем газификации части кокса, выходящего из реторт.

Процесс водяного газа основан, как известно, на разложении водяного пара раскаленным углеродом. При этом образуется газовая смесь, состоящая главным образом, из горючих газов — водорода и окиси углерода. Химические основы процесса известны уже более ста лет. Для получения газа в большом масштабе процесс водяного газа был введен впервые, около 50 лет тому назад в Америке, где газ поступал к потребителю карбюрированным масляным газом. В САСШ уже в 1924 г. для газоснабжения производился, главным образом, водяной газ, карбюрированный маслом. Значительно позднее, чем в Америке, водяной газ нашел себе применение в Европе в качестве прибавки к дистилляционному газу, полученному в ретортах. Здесь еще задолго до войны на многих больших газовых заводах, в том числе и в Германии, на ряду с ретортными печами имелись и установки водяного газа. Это давало возможность при­мешивать к ретортному газу известное количество карбюрированного или голубого водяного газа. Сперва на прибавку водяного газа смотрели, как на средство, позволяющее в моменты повышенного разбора газа быстро вводить в работу резервный агрегат. Потом было установлено, что, благодаря прибавке некарбюрированного водяного газа, можно значительно снизить стоимость производства светильного газа. В большем или меньшем пользовании установками водяного газа для газовых заводов также заключалось средство регулировать цены на кокс. Угольный голод во время войны и инфляции быстро привел ко всеобщему применению прибавки водяного газа; значительное благодаря этому понижение теплотворной способности газа вызывало в переходное время расстройство работы горелок и осветительных приборов. Позднее было, однако, установлено, что при равномерной прибавке водяного газа эти расстройства очень мало заметны. Сейчас с уверенностью можно считать, что газовые заводы и в будущем не откажутся от добавки водяного газа.

В виду недостатка газовых углей во время войны и в последующие годы различные газовые заводы стали ставить опыты по применению более легкодоступных топлив. Применявшаяся в отдельных случаях прибавка рядового бурого угля и торфа к загрузкам в реторты дала мало удовлетворительные результаты. На целом ряде других заводов пытались выйти из стесненного положения путем постройки генераторов водяного газа для работы на угле, несмотря на встречавшиеся при этом затруднения, которые понятны уже потому, что до этого времени газификация углей в водяной газ была

мало разработана. Первоначально испытания производились на немногих, главным образом, мелких опытных установках, затем эти наблюдения значительно расширились и можно было бы найти данные о технически и экономически удовлетворительных результатах, достигнутых в разных местах. С этого времени ряд фирм занялся постройкой генераторов для двойного водяного газа, выпуская на рынок конструкции более или менее отличающиеся от прежних типов. Эти конструкции нашли себе спрос также и за границей. Вначале большая часть специалистов газового дела относилась к новому способу или равнодушно, или отрицательно, в дальнейшем в их кругах произошел постепенный сдвиг, как это видно из многочисленных за последние годы решений о полной газификации углей в двойной водяной газ, принятых собраниями газовых специалистов. Здесь многократно сталкивались мнения приверженцев и противников двойного водяного газа. Но можно уже сказать, что понимание различных преимуществ способа все больше и больше открывает ему дорогу, и не мало газовых заводов уделяет ему внимание, рассчитывая в свое время осуществить этот способ на практике.

Большинство поставленных до сих пор на европейском континенте и, главным образом, в Германии генераторов двойного водяного газа было предназначено для получения добавки к ретортному газу. Широкая область применения двойного водяного газа откроется перед ним тогда, когда удастся получить в простых по обслуживанию, маленьких установках газ, соответствующий по теплотворной способности обычному городскому газу. Это позволило бы иметь маленькое собственное газоснабжение тем многочисленным городам и селениям, для которых постройка ретортных установок неэкономична, а примыкание к сети дальнего газоснабжения больших газовых заводов невозможно. Судя по результатам, уже достигнутым в этом направлении на опытных установках, можно ожидать разрешения также и этой проблемы в ближайшее время. Постройка таких установок для получения высококалорийного газа из углей была бы ценной как вообще для газовых заводов, так и для потребителей, примкнувших к сети дальнего газоснабжения, так как они дали бы возможность не только быстро покрывать повышенный расход газа, но и продолжать подачу газа в случае перерыва в дальнем снабжении.

Получение водяного газа из битуминозных каменных углей в американских установках масляного водяного газа имело со времени войны свой собственный ход развития. Там переход к газификации битуминозных углей вместо кокса или антрацита вызывался значительной разницей в цене на эти топлива. На таких газовых заводах стремились перейти на новое топливо без существенных изменений установок для карбюрированного водяного газа. Благодаря энергии инженеров, работавших над этим улучшением производства, удалось в сравнительно короткий срок преодолеть встретившиеся серьезные затруднения и даже понизить, по сравнению с производством на коксе, расход топлива. Для жизнеспособности этого нового способа работы имеет большое значение и то, что удалось достичь почти той же

производительности установок, как и при старом способе работы, в то время как при начале опытов она не превышала 50%. Это достижение тем более значительно, что производительность американских коксовых генераторов водяного газа, отнесенная к равному сечению шахты, за какие-нибудь тридцать лет почти утроилась и в настоящее время, по мнению компетентных немецких специалистов, установки водяного газа используются там вдвое лучше, чем в Германии¹.

Снижение расходов на топливо, которого достигали газовые заводы при переходе на уголь, ясно из разницы цен на кокс и каменный уголь, которая в различных областях САСШ некоторое время после войны достигала 5—6 долл. за тонну. Хотя позднее она сильно уменьшилась, но по Fulweiler'у в 1926 г., по данным 30 газовых заводов, эта разница достигала в среднем 2,34 долл. На состоявшейся в ноябре 1926 г. в Питтсбурге международной угольной конференции, на которой W. H. Fulweiler сообщал о получении водяного газа из каменных углей (ср. стр. 31 и след.), один сторонник дистилляционного метода получения газа возражал против нового направления в этой области на том основании, что дистилляция каменных углей на коксовых и газовых заводах дает ряд ценных побочных продуктов. Но вполне понятно, что такая постановка вопроса не нашла сочувствия у заинтересованных в снижении себестоимости газа производителей.

Двойной водяной газ и химическая промышленность. В развитии генераторов для двойного газа будет заинтересована не только газовая промышленность. Уже в течение целого ряда лет водяной газ применяется как исходный материал для получения водорода, который во все возрастающих количествах потребляется химической промышленностью как для целей гидрирования, так и для синтеза аммиака. Новые области применения для водорода и, следовательно, водяного газа, размеры которых пока трудно предугадать, открываются работами над сжижением углей (бергинизация) и синтетическим получением углеводородов (синтол и синтез нефти по Franz Fischer'у).

В первом случае, как и при гидрировании, потребляется только водород, для целей же синтеза алкоголя и нефти необходимы обе основные составные части водяного газа, т. е. и водород, и окись углерода. Для этих областей применения теплотворная способность газа не имеет решающего значения и водяной газ может быть получен и из кокса. В то же время экономичность этих новых процессов в большой степени зависит от стоимости исходных материалов. Эти развивающиеся отрасли промышленности, как можно уже установить сейчас, будут заинтересованы в том, чтобы перерабатываемый ими в больших количествах водяной газ получить не из сравнительно дорогого кокса, а из более дешевого необработанного угля. Разработанные в этой области процессы много обещают и позволяют ожидать общего благоприятного влияния на технику производства водяного газа.

¹ Ср. также стр. 56 и 120.

1. ПОЛУЧЕНИЕ ВОДЯНОГО ГАЗА ИЗ БИТУМИНОЗНЫХ УГЛЕЙ ПРИ ГЛУБОКОМ РАСЩЕПЛЕНИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Старые немецкие и американские способы

Первые поставленные на практике опыты по получению водяного газа из каменного или бурого угля были основаны на том предположении, что окажется возможным прококсовать уголь в верхней части шахты при помощи водяного пара, сильно перегретого в реге-

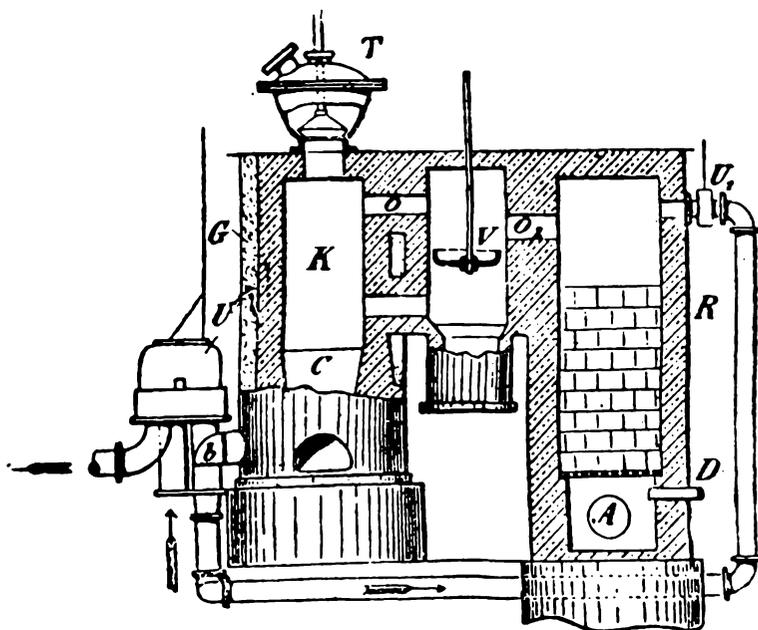


Рис. 1. Старая конструкция генератора водяного газа для тощих каменных и бурых углей системы Strache.

нераторе, в котором аккумулируется тепло газов горячего дутья. При этих условиях топливо попадет в нижнюю зону генератора — зону газификации — в виде кокса. Этот метод работы был впервые испробован Blass'ом в Эссене. Про генератор Blass'a будет сказано ниже. Позднее Strache сконструировал на этом же принципе генератор для газификации тощего каменного угля и бурого угля умеренной влажности. В отличие от генератора Blass'a продукты сухой перегонки не отводятся отдельно, а прогоняются через раскаленный

слой топлива. При этом смола, а также и высококалорийные углеводороды и аммиак, разлагаются на простейшие, более устойчивые газы. Схема генератора дана на рис. 1.

Шахта генератора G снабжена двумя отводами для газа O . По этим отводам газ попадает в распределительную камеру V , которая соединена с регенератором R при помощи канала O_2 . При пуске генератора нижняя часть шахты C заполняется коксом. Воздух для горячего дутья подается по трубопроводу b . Содержащие СО газы горячего дутья через нижний отвод o попадают в регенератор, где они сжигаются со вторичным воздухом, поступающим по трубопроводу U . Насадка регенератора при этом сильно раскаляется. Продукты горения через отверстие A поступают в боров. По достижении необходимой температуры в генераторе и регенераторе вентили ставятся в положение для газования: нижний отвод o перекрывается, верхний — открывается. После этого верхняя часть шахты K заполняется через загрузочную воронку T свежим углем и по трубопроводу D в нижнюю часть регенератора пускается пар, который сильно перегревается при прохождении через насадку регенератора, и по верхнему каналу o вступает в толщу угля, постепенно его прококсывая. Продукты сухой перегонки в смеси с паром попадают в слой раскаленного кокса, находящегося в зоне газификации C ; при этом они разлагаются, а пар, реагируя с углеродом, дает водяной газ. Водяной газ выходит по отводу b , и, пройдя переключатель U , попадает в газопровод. Разложение смолы по Strache настолько совершенно, что для очистки газа достаточен простой скруббер, как и при получении водяного газа из кокса. Для газификации пригоден любой неспекающийся каменный и бурый уголь.

По данным опытов, произведенных на установке в Петтау, из верхнесилезского каменного угля с 52% выхода кокса и с теплотворной способностью в 5781 кал., а также и из бурого угля из Бухберга, содержащего 42,9% углерода, 19,6% влаги и 8,1% золы, был получен газ со средней теплотворной способностью 2500 кал./м³. Расход топлива на 1 м³ газа составил для каменного угля около 0,6 кг, а для бурого угля 1 кг. Коэффициент полезного действия газификации при каменном угле был равен 72%, а при буром — 66%, при чем расход топлива для получения пара в расчет не принят. Можно, следовательно, сказать, что расход топлива на 1 м³ водяного газа не отличается значительно от расхода при работе по способу Dellwik'a, который был вскоре введен в практику. Термический коэффициент полезного действия генератора можно было бы еще повысить путем использования тепла отходящих газов для парообразования.

Из старых конструкций генераторов для водяного газа, работавших с разложением углеводородов, следует упомянуть о генераторе Kramer'a и Aarts'a. В этой конструкции газификация протекала в двух шахтах, соединенных с регенератором. Горячее дутье велось параллельно в обоих генераторах, а газование попеременно, при чем продукты дистилляции, образовавшиеся из свежего угля в одной шахте сжигались вместе с водяным газом со вторичным воздухом в регене-

раторе, а продукты горения, при прохождении затем через раскаленный кокс во второй шахте, превращались в горючие газы. Однако газификация битуми озных углей по этому способу не оправдала себя. Позднее в Англии Smith усовершенствовал эту конструкцию (см. гл. IV, стр. 115).

В Америке к концу прошлого столетия было разработано пять типов генераторов для получения водяного газа из битуминозных топлив.

Установки Loomis-Pettit, которые были широко распространены в САСШ, предназначались, главным образом, для получения генераторного газа, но в отдельных случаях в них получался и водяной газ, который служил для освещения. Генератор, который описал Geitel², работал при токе газов сверху вниз как при горячем дутье, так и при газовании.

Установки Rose-Hastings состояли из четырех соединенных шахт, одна из которых загружалась коксом, а три остальные смесью каменного угля и кокса. Горячее дутье велось параллельно во всех четырех шахтах. При газовании в три шахты с углем пускался пар; образовавшиеся газы и пары, пройдя через камеры перегревателя, пропускались через слой раскаленного кокса в первой шахте.

В следующей конструкции, установленной на заводе National Gas and Water Co в Чикаго, с шахтой генератора была соединена наклонная реторта для коксования, а с последней соединялся регенератор. Два таких генератора соединялись в одну производственную единицу. Работа велась следующим образом: после горячего дутья водяной пар пропусклся через один регенератор, затем через соединенные с ним коксовальную реторту и шахту генератора, после чего он поступал во второй генератор и проходил затем через вторую реторту и регенератор, который в этом случае служил камерой для карбюрации.

Генератор Fahnestock отличается тем, что в нем регенератор окружает реторту для коксования, помещенную над генератором. Для газификации каменных углей эта конструкция не имела большого значения. Наконец, следует указать еще на одну конструкцию, созданную в 1895 г., о которой здесь будет сказано несколько подробнее, так как основной идее — коксованию в тонком слое — возвращались и позднее.

В описанных уже конструкциях, а также и в тех, о которых придется говорить позднее, коксование битуминозного угля протекает в слое большой высоты, так что топливо при опускании в шахте генератора постепенно коксуется. Давно уже было замечено, что время, в течение которого топливо достигает зоны газификации, во

¹ F. N. Morton, Am. Gas Light Journ. (1909) стр. 268; O. B. Evans Proc. Intern. Gas Congress 1916 и Proceedings of the International Conference of Bituminous Coal, Pittsburgh, Nov. 15—18, 1916, стр. 475.

² Wassergas (1899), стр. 70, рис. 69.

многих случаях недостаточно для коксования и последнее заканчивается только в зоне газификации. Это запаздывание коксования влечет за собой уменьшение зоны газификации, а, следовательно, и ухудшение разложения пара и восстановления углекислоты, что в итоге сводится к уменьшению производительности. В виду этого явилась мысль ускорить коксование путем загрузки угля тонким слоем и, следовательно, через короткие промежутки времени на поверхность кокса, раскаленного при горячем дутье. Генератор водяного газа, работавший на этом принципе, был в 1895 г., согласно сообщению W. S. Bowen'a ¹, установлен в Луизвиле как дополнение к природному газу в холодное время года и работал удовлетворительно. Над зоной газификации помещалась камера для коксования, которая, как и шахта генератора, соединялась с камерой для фиксации. Горячее дутье велось в течение 4—5 мин., после чего загружалось около 25 кг угля и затем 10—12 мин. шло газование. Сырой двойной водяной газ карбюрировался масляным газом и смесь фиксировалась в камере перегревателя, разогретого при горячем дутье. По способу, описанному в американском патенте 630602 (1899), для получения возможно тонких слоев топлива при коксовании, уголь згружается в генератор в измельченном состоянии и поперечное сечение шахты делается вверху значительно больше, чем в нижней части. В патенте особенно отмечено, что этим путем возможно не только очень быстро полностью удалить из угля летучие составные части, но и, благодаря быстрому стводу последних, избежать разложения газообразных углеводородов, повышающих теплотворную способность газа. Пары конденсирующихся углеводородов должны фиксироваться в камере перегревателя, примыкающего к генератору. Однако такой способ должен был оказаться практически малопригодным, так как уже в девяностых годах прошлого столетия, как раз в Америке, все больше и больше стали признавать преимущества сильного горячего дутья, имевшего целью повышение содержания углекислоты в газах. При сильном же дутье большое количество мелких зерен угля должно уноситься газами в перегреватель и оттуда в дымовую трубу. Кроме того, при большом поперечном сечении генератора загрузка угля равномерным тонким горизонтальным слоем неосуществима при помощи тех простых приспособлений, которые указаны в патенте. Применение удовлетворительно работающих распределительных устройств было бы затруднено тем, что во время горячего дутья они подвергались бы действию высокой температуры.

Загрузка топлива тонким слоем, как мы увидим позднее, нашла себе применение в особенности в двухшахтных генераторах, в которых продукты сухой перегонки, образовавшиеся из загрузки свежего в одну шахту свежего угля, прогонялись через слой кокса в другой шахте.

Эти старые установки, работавшие в некоторых случаях удовле-

¹ American Gas Light Journ. 62 (1895), стр. 446.

творительно, позднее, при повышении требований, предъявляемых к производительности, были оставлены, в виду их сравнительно малой пропускной способности.

Новейшие американские способы; каменный уголь как замена кокса в американских установках для получения масляного водяного газа

В Америке новейшие течения направляются, главным образом, к тому, чтобы в имеющихся установках для получения карбюрированного водяного газа, без значительного их переустройства, применять вместо кокса или антрацита битуминозный уголь. В большинстве случаев несколько изменяется только способ работы установок

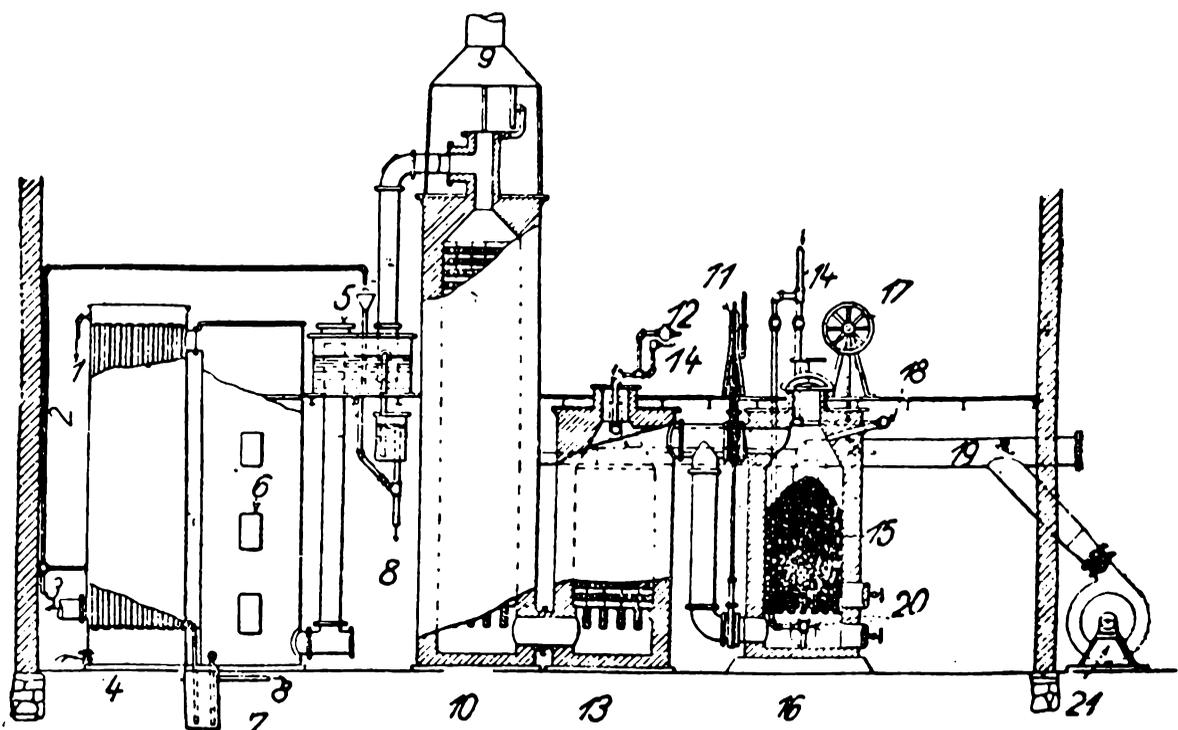


Рис. 2. Установка для получения масляного водяного газа.

1 —перелук, 2—водопровод 3—к резервуару для газа, 4—холодильник, 5—согряжающий водный элтор, 6—отверстие для чистки, 7—скруббер, 8—к труборядом для стока воды, 9—дымовая труба, 10—перегреватель, 11—перекрывающий клапан, 12—пар, 13—к рбюр тор, 14—пар, 15—оке или уголь, 16—устройство для добывания водяного газа, 17—воздушный клапан, 18—отработанный пар, 19—воздухопровод, 20—отработанный пар, 21—турбовоздуходувка.

водяного газа, построенных по системе Lowe и состоящих в основном из генератора и двух последовательно соединенных камер — карбюратора (испарителя для масла) и перегревателя (фиксатора), которые нагреваются во время горячего дутья. С этими камерами соединены скруббер и холодильник (рис. 2). Изменения хода процесса имеют целью приспособить установку к новому топливу.

Затруднения, встречающиеся при переводе установки водяного газа с кокса на битуминозный уголь, описал W.W.Odell¹. Согласно его сообщению, результаты, достигнутые на установках в Иллинойсе и соседних штатах, были настолько многообещающими, что можно было с уверенностью ожидать, что продолжение опытов должно привести к удовлетворительному преодолению этих затруднений. Основными трудностями, по сравнению с работой на коксе, являются следующие:

1. В слое топлива, около стенок шахты, наблюдается более сильное шлакование.

2. При данном вентиляторе наступает уменьшение объема воздуха, подводимого к генератору во время горячего дутья.

3. Вследствие упомянутых выше причин уменьшается количество производимого установкой водяного газа.

4. Объем и теплотворная способность газов горячего дутья возрастают по отношению к определенному объему водяного газа.

5. Поэтому на получение 1 м³ водяного газа расходуется большее количество топлива.

6. Наблюдаются различные расстройства процесса, сопровождающиеся образованием газовых каналов в слое топлива, глыб шлака на стенках шахты, дыма, засорением вентиля и иногда выделением углерода.

Упомянутые выше (пункты 1—4) затруднения частично устранены изменением горячего дутья. Это изменение состоит в том, что сперва горячее дутье ведется как обычно, при чем весь газ горячего дутья сжигается в регенераторах. Когда же последние достаточно раскалены, то в течение долей минуты отводят образующийся генераторный газ в газгольдер, смешивая его с водяным газом.

Как средство против сильного шлакования сперва применялось увеличение числа обратных газований. Это оказалось целесообразным, в особенности при шлаках с низкой температурой плавления. Частому обратному газованию приписывалось улучшение разложения паров смолы и уменьшение засорения перегревателя выделяющимся углеродом. Но этот способ работы, с другой стороны, связан с недостатками, так как при обратном газовании затрудняется выделение летучих, вследствие охлаждения водяным паром слоя топлива. Для получения же высокого эффективного слоя кокса следует стремиться к облегчению выделения летучих. Кроме того, при обратном дутье газы выходят при наиболее высокой температуре и уносят из газогенератора большие количества тепла.

Более быстрый износ насадки перегревателя, что объясняется отчасти содержанием в газах горячего дутья высококалорийных газов, получающихся при коксовании угля, пытались устранить путем изменения высоты слоя топлива по сравнению с работой на коксе. Уменьшение высоты слоя имело бы следствием понижение содержания СО в газах горячего дутья, но, с другой стороны, тогда

¹ Amer. Gas Journ. Vol. 120, № 6, 9/II 1924, стр. 117.

следовало бы ожидать и уменьшения производительности, так как при газовании пришлось бы уже работать с меньшими скоростями пара. При повышении же слоя топлива можно было бы, конечно, достигнуть известного повышения пропускной способности, но содержание горючих составных частей в газах горячего дутья повысилось бы, и, вследствие этого, ухудшился бы общий коэффициент полезного действия установки. Усовершенствования, сделанные в области применения каменного угля в производстве водяного газа после появления упомянутой статьи, покоятся, главным образом, на изменении обычных для работы на коксе периодов горячего и холодного дутья, которое имело целью отчасти лучшее использование тепла газов горячего дутья, а отчасти и достижение более благоприятного распределения тепла в слое топлива. На ряду с этим, весьма эффективным оказалось и устройство колонны в центре шахты. По мнению различных специалистов газового дела, эти колонны в первую очередь были причиной того, что теперь пропускная способность установок водяного газа, работающих на каменном угле, не отстает значительно от установок, работающих на коксе. Ввиду этого здесь следует подробнее остановиться на данном вопросе.

При переходе с антрацита и кокса на обыкновенный каменный уголь наблюдалось особенно сильное понижение производительности у генераторов большого диаметра. Только после многочисленных опытов этому явлению было найдено удовлетворительное объяснение. В этих генераторах было обнаружено сильное течение газа во внешнем кольце, тогда как внутренние части угольного слоя оставались малозатронутыми реагирующим газом.

Образование мертвого ядра, в которое не проникал реагирующий газ, сперва объясняли тем, что при обычной загрузке газогенератора посередине мелкозернистые части угля падают в середину шахты, а куски большего размера ссыпаются к стенкам. Этим можно объяснить более сильный ток воздуха и пара в наружных слоях топливной колонны и отставание газификации центрального ядра¹. Однако более высокая загрузка топлива по краям не дала никаких результатов.

Дальнейший опыт указал, однако, что неравномерное течение газа нельзя объяснять одной только неоднородностью загрузки; оно усиливается еще тем, что более быстрый ток газов горячего дутья во внешних слоях вызывает более быстрое коксование угля, в то время как во внутренних слоях становится ощутительным уменьшение проницаемости, вызванное более продолжительным пребыванием угля в размягченном состоянии.

Значительно лучше шел процесс при прибавке к углю каменноугольного кокса или антрацита и особенно, если стремились создавать внутреннее ядро из этих прибавок. Прибавки, которые составляли от 20 до 50% от веса загрузки, сужали, однако, область применения

¹ Здесь, как и далее, автор оставляет без рассмотрения вопрос о роли решетки в равномерном распределении дутья по сечению шахты генератора. *Прим. ред.*

процесса, так как опять-таки требовали более дорогих топлив и, кроме того, удорожали производство.

В периоде опытов было, однако, установлено, что улучшение условий процесса газификации в ядре при прибавке кокса объясняется не только равномерностью тока газов, но и той важной ролью, которую должно очевидно играть тепло, накапливаемое в кусках кокса и передаваемое излучением углю, что облегчает коксование угля уже в верхних слоях загрузки. Это предположение о влиянии излучения тепла было подтверждено наблюдениями над газогенераторами меньших диаметров, в которых неприятности, вызываемые внутренним ядром в больших газогенераторах, или совсем не наблюдаются, или же наблюдаются в меньшей степени. Поэтому накоплен-

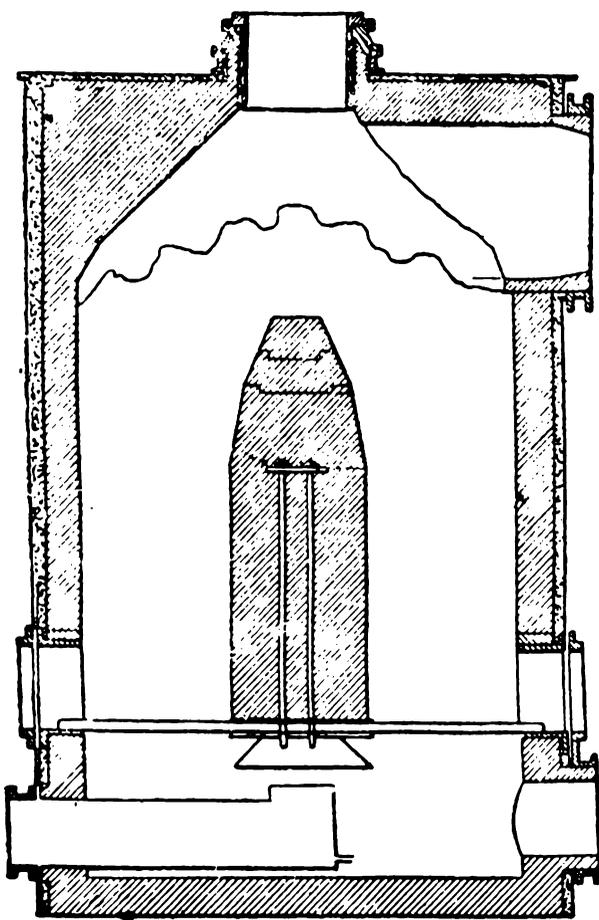


Рис. 3. Генератор водяного газа с центральной колонной

ное в стенках тепло, которое в газогенераторах с малым диаметром может проникать до внутренних частей слоя, должно оказывать большое влияние на своевременное коксование угля. Опыты, поставленные в этом направлении, дали возможность заключить, что излучение от стенок проникает в слой топлива приблизительно на 45 см.

При устройстве центральных колонн сперва преследовали цель только исключить затрудняющее газификацию мертвое внутреннее ядро в слое топлива, и поэтому колонны делали вначале полыми, а газифицирующие агенты впускали в слой топлива через отверстия в их стенках. Эффект, однако, оказался неудовлетворительным, очевидно потому, что, вследствие охлаждения стенок воздухом и паром, благоприятное влияние теплоизлучения отпадало. Вблизи колонн образовывались прогары, которые повышали расход топлива. После замены пустотелых колонн массивными из огнеупорной кладки почти все трудности работы на каменном угле были устранены. Колонна (рис. 3) покоится на плоской решетке, с которой она соединена анкерными болтами. Диаметр колонны составляет около $\frac{1}{3}$ от внутреннего диаметра шахты.

При упомянутых выше опытах было установлено, что излучение тепла от стенок проникает в слой топлива только на глубину 45—60 см. Поэтому, при выборе диаметра колонны стремились к тому, чтобы внутренние части кольцеобразного слоя топлива ни в каком случае не отстояли дальше 45 см от излучающих тепло поверхностей, т. е. стенок шахты или колонны.

В генераторах с маленьким диаметром, около 2,7 м, устройство устойчивой колонны затруднительно. В этих случаях оказалось столь же эффективным устройство поперечной стенки в шахте. Колоннам приписываются экономия топлива от 6 до 14 % по сравнению с работой на коксе.

Колонны ставились фирмами Coal Products Company и United Gas Improvement Company.

После сообщения (в октябре 1925 г.) комиссии по водяному газу при Американской газовой ассоциации (Americ. Gas Ass.) был опубликован ряд дальнейших сведений об этом способе, называемом Pierprozess. Эти сообщения заслуживают внимания и за пределами узкой области получения водяного газа, так как в них (особенно Н. К. Seely, Chemical and Metallurgical Engineering, апрель 1926 г., стр. 218) освещается вообще процесс газификации углей в генераторе.

Воздушное газование (Windgasen). — Выше было указано, что некоторые трудности, возникающие при применении битуминозных углей для получения водяного газа, пытались устранить тем, что незадолго до окончания горячего дутья закрывали отводящий газы вентиль и газ горячего дутья примешивали к водяному газу. Этот способ работы, который американцы называют blow-gun, мы будем называть, в противоположность паровому газованию, «воздушным газованием» (Windgasen), а полученные при этом газы — газам воздушного газования. R. Haslam, также в своем труде о топливах¹, приписывает этому способу воздушного газования очень значительное повышение экономичности газификации углей.

Продолжительность этой промежуточной ступени, удлиняющей период горячего дутья и одновременно являющейся газованием, равна 10—17 сек. Этим путем используются для газообразования значительные количества генераторного газа, обладающего довольно высокой теплотворной способностью (ср. табл. 1), чем заметно повышается производительность установки. С другой стороны, вследствие высокого содержания азота и углекислоты в газе воздушного газования, понижается теплотворная способность водяного газа, почему первоначально придерживались того мнения, что при получении масляного водяного газа заданной теплопроизводительности должен потребоваться соответственно больший расход карбюрационного масла. Однако было обнаружено, что при правильном ведении процесса это увеличение расхода весьма незначительно, вследствие

¹ Haslam and Russel, «Fuels and their Combustion», Нью-Йорк, 1926, стр. 633.

большой теплопроизводительности водяного газа, полученного из угля, а может быть также и вследствие менее сильного нагревания карбюраторных камер. — Продолжительность периода воздушного газования требует точной регулировки, так как при чрезмерном удлинении его появляется опасность нежелательного повышения удельного веса газа.

За последнее время разработан новый способ ведения процесса, который также может быть отнесен к категории воздушного газования, так как в нем тоже генераторный газ, образующийся в конце периода горячего дутья, примешивается к водяному газу, но это воздушное газование ведется при обратном токе воздуха. Американцы обозначают этот процесс «reverse air blast process». Этот способ не соответствует применяемому раньше обратному дутью (Air reverse Blast).

Газование ведется таким образом, что воздух, пройдя перегреватель, поступает через карбюратор в газогенератор, проходя по нему сверху вниз. Как и в описанном выше воздушном газовании, процесс занимает только небольшую часть периода горячего дутья. Отдельные фазы процесса протекают в следующей последовательности:

1. Прямое дутье.
2. Обратное дутье.
3. Прямое газование (с подачей масла).
4. Обратное газование.
5. Прямое газование.
6. Продувка (с целью очистки).

Газы, полученные при обратном дутье, так же как и газы обратного газования, попадают по трубопроводу непосредственно к гидравлике или к скрубберу. Вентиль для горячего газа в этой установке отпадает и заменяется двумя обратными вентилями в гидравлике.

При работе с обратным дутьем продолжительность прямого дутья сокращается, так что в нижней части топливной колонны температура поднимается не так высоко, как при обычном способе работы с одним прямым дутьем. При обратном дутье в верхней части шахты происходит горение и образовавшаяся здесь углекислота восстанавливается в нижних слоях, потребляя тепло. Благодаря этому, понижается температура и достигается более равномерное распределение тепла в слое топлива. На основании опыта, полученного в установках этого рода, обратному дутью приписываются следующие преимущества:

1. Повышение производительности.
2. Уменьшение расходов топлива.
3. Некоторая экономия карбюраторного масла.
4. Удлинение срока службы насадки регенератора.
5. Уменьшение шлакования, благодаря более умеренным температурам, господствующим в нижней части слоя топлива.

Вследствие увеличенного числа вентиля обслуживания несколько

сложнее. Отвод горячих газов обратного газования ускоряет изнашивание трубопроводов и вентиляей.

Здесь следует отметить, что описанный выше способ работы с обратным дутьем постольку соответствует обратному газованию (в sk-run process), поскольку в обоих случаях реагирующим газом подводится в газогенератор тепло из перегревателя. Далее этот способ работы включает в себя и способ Chrisman'a (Chrisman down-run process), который состоит в том, что во время обратного газования водяной газ не проходит через карбюратор, а подается непосредственно в сборный газопровод. Процесс разработан как для работы на коксе, так и для работы на угле. Этим путем должно уменьшаться сильное охлаждение карбюратора сравнительно холодными газами обратного газования. Пределы колебаний температуры при карбюрации таким путем уменьшаются.

Основы способа, обозначенного выше воздушным газованием, впервые описаны в американском патенте 1385167. Мысль о подмешивании богатых окисью углерода газов конечной части периода горячего дутья к водяному газу неоднократно появлялась и раньше (так например, в способе получения так называемого Dreifertel-wassergas, предложенном Fleischer'ом).

Разработанные теперь в Америке способы так называемого воздушного газования имеют целью не только более хорошее использование топлива, но, главным образом, более благоприятное распределение тепла в генераторе и, благодаря этому, повышение производительности.

В связи с этим следует упомянуть о предложенном O. ell'ем (американский патент 1379038 Re, 15826, 1924 г.) способе, который имеет целью облегчить ведение процесса получения водяного газа при работе на естественных топливах, и в особенности на спекающихся каменных углях. В основном этот способ состоит в том, что во время газования как прямого, так и обратного к пару прибавляется немного воздуха, а при горячем дутье, которое ведется только снизу, к воздуху делается добавка пара. Прибавка пара при горячем дутье препятствует излишнему повышению температуры и вследствие этого, в виду уменьшения шлакования, допускает удлинение периода горячего дутья. Благодаря этому достигается увеличение высоты раскаленного слоя, что в связи с прибавкой небольших количеств воздуха к пару при газовании допускает удлинение времени газования. Во всяком случае, благодаря прибавке к воздуху пара, увеличивается и продолжительность периода горячего дутья. При получении масляного водяного газа тепло газов горячего дутья используется для газификации больших количеств масла, так что в конечном результате это должно дать повышение производительности установки¹. Об одном из процессов, основанных на этом принципе, сообщается, что периоды дутья и газования необыкновенно длились (5 и, соответственно, 15 мин., способ Simplex².

¹ Подвод известных количеств воздуха во время газования напоминает разработанный в Германии способ получения тригаза, речь о котором будет позднее.

W. B. Davidson, «Gas manufacture», Лондон, 1928, стр. 272.

Газование обратным током (Back-run). — Дальнейшей новостью, введенной несколько лет тому назад в практику американских установок для получения карбюрированного газа, является способ получения водяного газа при газовании обратным током (back-run process). По различным сообщениям на этом пути достигнуты уже очень значительные результаты, и этот способ нашел известное отражение также и в новых установках в Англии. Способ был разработан с целью использования битуминозных углей, но оправдал себя и на старых, работающих на коксе, установках. При этом способе при газовании обратным током водяной пар в течение части периода обратного газования поступает не непосредственно в газогенератор, как перед тем, а впускается в него сверху, в слой топлива, пройдя предварительно через перегреватель в карбюратор. Газы из нижней части генератора по особому трубопроводу поступают в гидравлический затвор и оттуда в газоочистительную аппаратуру.

Первоначально этот способ преследовал цель — очистку насадки карбюратора и перегревателя от сажи, образующейся при разложении углеводородов. При пропускании пара выделившийся углерод переводится в водяной газ. Таким образом, сажа не теряется с отходящими газами горячего дутья, как это бывает обычно и особенно при применении битуминозных углей, тяжелых масел и масел с высоким содержанием серы. Имеется также указание, что на опыте доказано отсутствие образования сероуглерода при содержании в чистоте насадок карбюратора и перегревателя. Способ был разработан как для кокса, так и для битуминозных углей. В последнем случае раньше рекомендовали загрузку свежего угля, незадолго до периода газования обратным током, с тем, чтобы током перегретого пара облегчить выделение смолы из топлива и пары ее разложить, по возможности, в слое раскаленного кокса во время обратного газования. Более точные наблюдения показали, однако, что выделение смолы становится интенсивным только в течение второй половины периода газования. Продолжительность газования обратным током составляет приблизительно от одной трети до двух пятых всего периода газования. После газования обратным током включается короткий период продувания воздухом. Для более наглядного пояснения описанного процесса ниже приводится описание установки, запатентованной американцем G. E. Whitwell.

Whitwell указывает, что насадка обычных установок для получения масляного водяного газа даже при применении высокосортных масел служит не больше 1200 рабочих часов. При новом способе не только удлиняется срок службы насадки, но и имеется возможность использовать для получения масляного водяного газа низкосортные дешевые масла. Кроме того, этот способ позволяет применять для получения масляного водяного газа и битуминозные каменные угли, хотя выделяющиеся из них при разложении углеводороды также загрязняют насадку при ведении процесса обычным способом.

Установка Whitwell изображена схематически на рис. 4.

Шахта газогенератора А соединена трубопроводом с испари-

телем для масла. Нижняя часть последнего соединяется трубопроводом Y с перегревателем C . Трубопровод N' идет к гидравлическому затвору D . От воздухопровода E , оканчивающегося в генераторе, ответвляется перед регулировочным вентилем F трубопровод G с вентилем H . По нему во время горячего дутья впускается в испаритель B добавочный воздух. Нижняя часть газогенератора соединена с трубопроводом N' , который снабжен вентилем. Этот трубопровод, служащий для обратного тока газов, соединен в S с трубопроводом N'' . Оба эти трубопровода соединяются, кроме того, трубой K . К этой трубе R присоединен паропровод K , по которому пар впускается

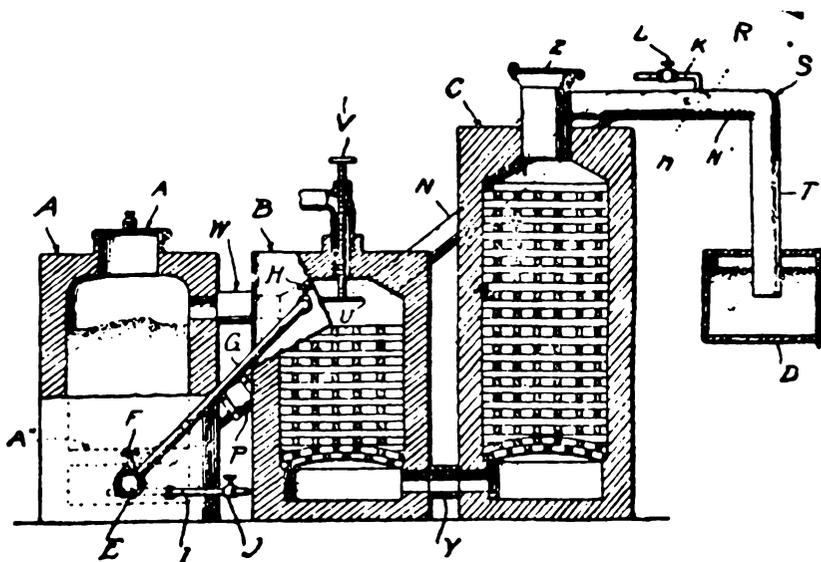


Рис. 4. Установка для получения масляного водяного газа при испроблении для газования с обратным током.

по направлению к перегревателю. Обычный подвод пара к нижней части газогенератора осуществляется при помощи трубы L . Эта установка работает следующим образом. При горячем дутье закрыты все вентили и открыты только вентили F , H и клапан Z , отводящий газ из перегревателя. Газы горячего дутья, поступающие из генератора в карбюратор, полностью сжигаются здесь вторичным воздухом. Горячие газы отдают свое тепло насадке карбюратора и перегревателя и через клапан Z выпускаются на воздух. После того как в генераторе и карбюраторе накопилось достаточное количество тепла открывается вентиль J на паропроводе I и закрываются вентили F , H и Z . Если должен быть получен карбюрированный газ, то открывается также и вентиль V на маслопроводе. Образующийся в газогенераторе A водной газ по соединительному штуцеру W поступает в испаритель для масла B , из последнего в смеси с парами масла в перегреватель C , где масляные пары разлагаются на постоянные газы. Готовый газ по трубопроводу N' поступает через гидравлический затвор D в магистральный трубопровод. После того как это прямое газование продолжалось необходимое время, закрывают вентили J и V и открывают вентиль P , а также и вентиль L на паро-

проводе *K*. Теперь начинается период газования обратным током. Пар, вступающий через сопло *M* в трубу *R*, попадает по трубе *N'* в верхнюю часть перегревателя *C*, проходит его сверху вниз, затем проходит снизу вверх через испаритель *B* и, наконец, пронизывает сверху вниз слой топлива в газогенераторе *A*.

Водяной пар воспринимает на этом пути, в особенности в верхних частях перегревателя, накопленное там тепло, сильно перегревается и переводит в водяной газ углерод, отложившийся на насадке во время предыдущей части периода газования. Газы по трубопроводу *N* поступают в гидравлический затвор *D*, а часть их, засасываемая выходящим из трубы *K* паром, увлекается им опять в перегреватель и т. д. Этой циркуляционной части газа во время газования обратным током Whitwell приписывает ряд преимуществ. Так например, воспринятое большим потоком газа тепло подводится обратно в газогенератор и таким путем используется для газификации. В описанной установке процесс газования обратным током соединен с циркуляцией части голученного газа. Этот комбинированный способ, как увидим дальше, нашел себе применение в установке *Hughes and Glasgow*, служащей для получения двойного водяного газа (стр. 43 и стр. 112).

Способ газования обратным током называется также и по имени изобретателя его способом *Young-Withwell*. Не безинтересно отметить, что этот способ, сильно рекламируемый теперь в Америке, очень сходен со способом запатентованным в Англии в 1921 г. *C. V. Tully*¹. По этому патенту перед горячим дутьем также включается короткий период газования, во время которого водяной пар пропускается предварительно через насадку, окружающую дистилляционную реторту, и затем проходит через зону газификации сверху вниз. Газование обратным током имеет здесь целью охлаждение перегревателя, чтобы не слишком повышать его температуру во время следующего периода горячего дутья. Таким путем должно уменьшаться при прохождении газа через перегреватель² сильное разложение углеводородов, находящихся в водяном газе.

Газование обратным током, как было уже указано, имело первоначально целью удаление из камер карбюраторов углерода, выделяющегося при газовании. Позднее были установлены преимущества возвращения в генератор части тепла, накопленного при горячем дутье, и использования его для процесса получения водяного газа. При этом достигались известная экономия топлива и повышение часовой производительности установки. Уменьшение же количества отбросного тепла, используемого для парообразования, по сравнению с этими преимуществами не имеет большого значения. Весьма вероятно, как указывают сторонники этого процесса, что при таком способе работы достигается лучшее использование карбюрационного масла, объясняемое тем, что обратный ток пара сильно охлаждает

¹ Ср. британский патент 192743 и дальше стр. 40.

² Ср. дальше (стр. 40) описание генератора *Tully*.

нагревательные камеры и, благодаря этому, температура верхней части карбюратора не поднимается чрезвычайно высоко во время горячего дутья. Высказывалось предположение, что обратный ток пара противодействует главной задаче обратного газования — возвращению тепла и перемещению высоких температур в более глубокие части коксового слоя. Однако это не соответствует действительности, так как именно в верхних слоях, благодаря подводу тепла, следует ожидать быстрого разложения пара, вызывающего сильное охлаждение, а в нижних зонах эндогермические процессы отнимают тепла уже меньше. Нижним слоям, охлажденным предыдущим прямым газованием, отдается физическое тепло нисходящего потока водяного газа, но, как указывает и Haslam, температура у нижнего газотовода никогда не бывает так высока, как при выходе водяного газа из перегревателя, следовательно, таким образом достигается также известное уменьшение тепловых потерь.

Способ газования обратным током введен теперь и в Англии Humphreys'ом и Glasgow'ом. Об установке в Nine-Elms имеется в Gas- und Wasserfach статья Nübling'a и Mezger'a¹. Приведенный ими сравнительный цифровой материал, характеризующий работу с обратным током и без него, дает возможность сделать заключение о значительных преимуществах работы с газованием обратным током, которые в основном состоят в повышении суточной производительности установки с 441 000 м³ до 494 000 м³. Не останавливаясь дольше на этих цифрах, отметим только, что установка в Nine-Elms замечательна особенно тем, что в ней одновременно введен и ряд других новшеств в производстве водяного газа, а именно — автоматическое удаление шлаков из газогенератора, построенного в виде парового котла, и автоматическое управление системы вентилей всей установки, которое нашло теперь всеобщее распространение в Америке. Большие перспективы имеет применение газования обратным током для получения карбюрированного газа низкого удельного веса. Такой газ, по сообщению L. Stein и L. J. Willien², применяется в смеси с коксовым газом в больших количествах для покрытия моментов повышенного расхода бытового газа в Чикаго. Удельный вес коксового газа колеблется от 0,38 до 0,43 и не должен быть значительно повышен водяным газом, прибавка которого в зимние месяцы достигает 2 $\frac{1}{4}$ млн. м³ на 7 $\frac{3}{4}$ млн. м³ коксового газа. Повышение удельного веса газа вызывало раньше неприятности для потребителя. В тех случаях, когда необходимо делать большие добавки водяного газа, следует заботиться о понижении его удельного веса путем увеличения содержания водорода и метана. При обычном процессе получения масляного водяного газа это было бы трудно достижимо. Но так как существующие установки работают газованием обратным током, явилась мысль во время периода газования обрат-

¹ Gas- und Wasserfach. 1927. № 45, 46 и 47.

² Chemical and Metallurgical Engineering, ноябрь 1927, стр. 676.

ным током прибавлять к пару карбюрационного масла и пропускать его вместе с паром через перегреватель и карбюратор в зону газификации генератора. Опыт, как указано в упомянутой статье, привел к удовлетворительным результатам.

Еще раньше было замечено, что коксовый водяной газ, полученный при газовании обратным током, отличается обычно более высоким содержанием водорода, чем газ, полученный при прямом газовании, что показывают нижеследующие результаты анализов:

	Прямое газование	Газование обратным током
CO ₂	5,3	4,7
O ₂	0,2	0,3
CO	38,8	38,1
CH ₄	1,8	2,1
H ₂	48,0	53,6
N ₂	5,9	1,2
Уд. вес (выч.)	0,53	0,50

Можно считать, что более высокое содержание водорода объясняется разложением паров масла, увлекаемых паром из карбюратора во время начала газования обратным током. Эти пары задерживаются в карбюраторе после прямого газования. Еще раньше пробовали вводить масло (около 0,413 л на 1 м³ газа) вместе с перегретым паром в коксовый слой генератора также во время газования обратным током.

Состав полученного при этом газа был следующий:

CO ₂	1,2	CH ₄	18,1
C _n H _n	1,8	H ₂	57,5
O ₂	0,0	N ₂	0,4
CO	21,0	Тепл. способн. (выч.)	4200 кал.
Уд. вес (выч.)	0,39		

Как видно из этого, карбюрационное масло крекируется с образованием больших количеств водорода, что на обычных установках для масляного водяного газа, конечно, нежелательно. Учтя эти старые опыты, на установке в Чикаго стали во время газования обратным током впрыскивать в карбюратор масло в количестве по 20,34 л между двумя загрузками угля. Уже при этих опытах, при которых газифицировался битуминозный уголь, удельный вес газа понизился на 16 % по сравнению с газом, полученным обычным способом. Однако температура в карбюраторе стала слишком низкой, а в перегревателе она чрезмерно возросла, поэтому вскоре перешли на газификацию кокса, так как рассчитывали, что при работе на коксе можно будет легче получить высокую температуру в слое кокса, благоприятную для крекинга масла. Вскоре было обнаружено, что вследствие высоких температур может быть значительно повышено количество масла, прибавленного при газовании обратным током.

Таким путем удалось снизить удельный вес газа на 20% по сравнению с обычным газом. В виду наблюдающегося и в этих условиях неравномерного распределения температур в карбюраторе и перегревателе, а также сильного выделения сажи, масло стали вводить около выхода из перегревателя, для какой цели в перегревателе было сделано несколько масляных сопел.

Вызываемые выделением углерода затруднения были устранены путем увеличения диаметра сливной трубы в гидравлическом затворе, с целью увеличения количества протекающей воды, и путем выполнения холодильника наподобие промывателя от сажи.

В приведенной ниже таблице сопоставлены цифры, характеризующие работу генераторов по новому и по старому способу при газификации углей и кокса.

	Работа на коксе под домом для при газовой обратным током	Нормальная работа на каменном угле	Нормальная работа на коксе
Часовая производительность в куб. м.	6420	4250	5210
Расход топлива на 1000 м ³ в кг	353	470	480
Расход масла на 1000 м ³ в кг	57	49.5	53
Теплотворная способность в кал./м ³ . .	4930	4960	5200

Таким образом достигается увеличение производительности на 51% по сравнению с нормальной работой на угле и на 20% по сравнению с нормальной работой на коксе. Расход топлива на 1000 м³ газа снизился кругло на 125 кг, тогда как повышение расхода карбюраторного масла составляло только около 4—7 кг. Повышение производительности и уменьшение расхода топлива следует отнести за счет повышения выхода газа из масла.

По сравнению с экономией, полученной от того, что отпадает необходимость резервных установок для покрытия моментов повышения расхода газа, лишней расход масла, по мнению авторов статьи, не имеет значения. Этот способ будет пригоден и там, где нет необходимости стремиться к получению газа с низким удельным весом, но где производительность генератора должна временами сильно повышаться.

На международной угольной конференции в Питтсбурге (15—18 ноября 1926 г.) W. H. Fulweiler в своем докладе сообщил ряд дополнений к прежним данным об описанном выше, развивающейся теперь в Америке, способе применения битуминозных углей, вместо кокса и антрацита, для получения водяного газа. Наиболее существенное из его доклада изложено ниже.

¹ Proceedings of the International Conference on bituminous Coal. Published by the Carnegie Institute of Technology. Питтсбург, Пенсильвания (1926).

Для удовлетворительного течения процесса превращения битуминозных каменных углей в водяной газ оказалось необходимым соблюдать определенные условия. Наиболее существенным является применение угля подходящих свойств с размерами кусков между 7 и 15 мм и с полным отсутствием мелочи. Прежние опыты не удавались, главным образом, потому, что при них не отсеивали уголь; это вызывало накопление мелочи в середине шахты и токи газов у стенок шахты со всеми упомянутыми выше недостатками этого явления. Образующиеся у стенок шахты газовые каналы облегчают возникновение сильных местных прогаров, увлекающих значительные количества угольной пыли в перегреватель. Наблюдавшийся раньше дым был избегнут тем, что загрузка свежего угля производилась после воздушного газования. При таком способе работы удавалось также сохранить значительную часть летучих для водяного газа. Образование дыма при горячем дутье может быть значительно сокращено при применении добавочного воздуха.

Загрязнения вентилей наблюдающиеся при работе на угле, могут быть устранены путем применения для смазки газового масла или графита. Отмеченные O'ell'em расстройства процесса, вызываемые образованием эмульсий смолы в газопроводах, объясняются, главным образом, неблагоприятными свойствами слоя топлива в первых конструкциях. Опыты, поставленные позднее на правильно работающих установках, показали, что смола, выделяющаяся из угля, содержит почти исключительно высококипящие составные части, но, в виду сравнительно незначительного ее количества, она не оказывает заметного влияния на свойства смолы, образующейся в процессе получения водяного газа.

Наибольшее значение имеет сделанное на практике наблюдение, что обычно применяемое в коксовых генераторах давление дутья слишком высоко для работы на углях. Такое высокое давление вызывает унос больших количеств угольных частиц в перегреватель и преждевременное засорение его. Понижение давления дутья до 500—550 мм водяного столба и уменьшение количества воздуха приблизительно на 30% оказалось, как показал опыт, целесообразным. Введение в практику карбюрационных камер без насадки было дальнейшим усовершенствованием, обеспечивающим уменьшение засорения их и, следовательно, предохраняющим от вредного повышения сопротивления камер. В этих камерах тонко распыленное карбюрационное масло испаряется за счет излучения тепла стенками. Удаление из этих камер отложений унесенных частиц угля не представляет затруднений. При режиме генератора, наиболее подходящем для работы на угле, отходящие газы отдают в котле меньше тепла, чем при газификации кокса.

По мнению Fulweiler'a значительное влияние на ход процесса газификации и на полученные результаты имеют не только физические свойства угля, но и его химический состав и поведение в огне. Проведенные в этом направлении исследования подтверждают предположение, что газовые угли с высоким содержанием летучих дают

лучшие результаты. Дальше было установлено, что наиболее подходящими для газификации являются не неспекающиеся угли, а угли с умеренной способностью к спеканию. Угли, которые остаются в пластическом состоянии в большом температурном интервале, как будто бы менее пригодны, чем угли, быстро переходящие в кокс. Особенно же важно, чтобы уголь при нагревании не рассыпался, а сохранял кусковую форму. Хрупкие угли менее пригодны, чем угли твердые.

Сделанное Fulweiler'ом на международной угольной конференции сообщение о разработанных за последние годы в Америке способах газификации битуминозных углей в обычных газогенераторах водяного газа имеет еще и более общий интерес, так как дает наглядную картину тех значительных успехов в производстве водяного газа, которые достигнуты в Америке за последние 25 лет.

По мнению Fulweiler'a благоприятные результаты, достигнутые при газификации углей, следует приписать, на ряду с колоннами, в первую очередь введению периода воздушного газования, которое получило очень широкое распространение. Непосредственное влияние этого процесса на удельный расход угля и масла можно уяснить путем следующих рассуждений: 1000 м³ (голубого) водяного газа с теплотворной способностью в 3000 кал. требует около 610 кг твердого топлива, тогда как 1000 м³ газа, полученного при воздушном газовании и имеющего теплотворную способность в 1340 кал., требует только 290 кг. Если количество газа воздушного газования повысить чрезмерно, то уменьшится расход твердого топлива на определенное количество полученного масляного водяного газа и увеличится суточная пропускная способность газогенератора, но, с другой стороны, соответственно увеличивается и расход масла, необходимого для получения масляного водяного газа с определенной теплотворной способностью, что объясняется большой прибавкой бедного газа воздушного газования.

С целью выявления наилучших условий для газификации у американских специалистов появилось стремление выработать методы определения коэффициентов полезного действия отдельных фаз процесса, а именно: образование (голубого) водяного газа, газа воздушного газования, масляного газа, инертных разбавляющих газов, а в случае газификации битуминозного угля и дистилляционного газа. Расчет представляет известные трудности. Так, например, обогащающее действие применяемых теперь в Америке карбюрационных масел колеблется в довольно значительных пределах (от 5000 до 6100 кал. на литр), и поэтому сравнение данных различных опытов затруднительно. На практике принимают средний выход масляного газа из одного литра масла равным 0,450—0,437 м³. Вычитая объем масляного газа из 1000 и предполагая, что теплотворная способность некарбюрированного водяного газа равна 2600—2680 кал., можно подсчитать количество тепла, внесенное масляным газом, и выразить его в единицах тепла, отнесенных к одному литру масла. Но как уже упоминалось, различные масла дают колеблющиеся выходы газа;

колебания выходов зависят от температуры крекирования и, по всей вероятности, от концентрации масляного газа в водяном, а поэтому цифры, получаемые описанным путем, будут более или менее неточны.

Комиссия по водяному газу при American Gas Association на основании предварительных работ F. Wills'a выработала новый метод расчета, предназначенный специально для масляного водяного газа. В труде учтено применение этого метода и для газификации битуминозного угля при воздушном газовании. При помощи этих вычислений удалось установить, что при получении водяного газа из каменных углей в него переходит около 55—60% дистилляционных газов, выделяющихся при обычной перегонке.

Таблица 1

Состав газа при производстве водяного газа из угля и кокса с применением воздушного газования

Газ	Водяной газ				Газ воздушного газования				Конечный газ (масляно-водяной)			
	Кокс		Уголь		Кокс		Уголь		Кокс		Уголь	
Тяжел. углевод.	—	0,3	1,0	1,1	—	—	—	0,5	9,8	8,6	9,7	9,5
CO	4,9	38,0	33,7	32,1	14,0	16,9	17,8	24,2	29,5	28,9	26,0	23,0
H ₂	50,8	46,0	50,3	46,9	4,7	5,0	9,3	10,9	33,6	38,2	32,3	34,3
CH ₄	0,2	2,1	4,7	4,5	0,5	0,3	1,7	3,0	11,4	8,9	8,2	9,5
C ₂ H ₆	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	1,0	1,9	1,6
CO ₂	3,4	6,9	5,0	5,1	12,9	10,6	8,7	4,5	5,9	5,2	6,0	7,3
O ₂	0,5	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	0,4	0,6
N ₂	3,9	6,5	5,0	10,1	67,6	67,0	62,2	56,5	4,5	8,6	15,5	14,2
Теплотворная способность	2670	2430	2980	2820	587	659	935	1369	4700	4670	4645	4600

В табл. 1 приведены данные анализов различных газов, получающихся при применении воздушного газования как при газификации битуминозного угля, так и при работе на коксе. Цифры показывают, что при газификации угля теплотворная способность газов горячего дутья в конце дутья достигает довольно значительной величины.

¹ Report of Water Gas Committee Amer. Gas Assoc., 1926.

В табл. 2 сопоставлены характеристики рабочих процессов при газификации кокса и каменного угля.

Таблица 2

Технические показатели работы генератора диаметром 3 м при газификации кокса и битуминозного угля

	Кокс	Битуминозный уголь
Продолжительность рабочих циклов в секундах	282	228
Продолжительность дутья в процентах от цикла	25	33
Продолжительность воздушного газования в процентах от цикла	нет	3
Продолжительность парового газования в процентах от цикла	75	61
Продолжительность продувки в секундах	нет	30—37
Продолжительность обратного газования в процентах от парового газования	50	40
Расход воздуха в м ³ в минуту	390	230
Средний расход пара в кг в минуту	75	82

В сообщении Fulweiler'a приведены и основания тому, что при газификации каменного угля в конечном итоге расход угля на 1000 м газа можно снизить до 400 кг, тогда как при работе на коксе расход в 480 кг считается хорошей средней величиной. Табл. 3, в которой приведены тепловые балансы, показывает, какое влияние имеет большая теплотворная способность битуминозного угля.

Термический коэффициент полезного действия нового процесса, как видно из приведенных цифр, довольно хорош. Производительность современных американских установок значительно выше, чем в Германии.

Полученными в разных местах на практике достижениями промышленности, однако, не удовлетворяется и пытается осветить условия процесса с научной точки зрения. Об этом можно заключить по длинному ряду опытов, поставленных с целью выяснения пригодности различных каменных углей для газификации в газогенераторах водяного газа. Опыты были поставлены в 1928—29 гг. отделением технических исследований Мичиганского университета по инициативе Мичиганского объединения специалистов газового дела. Эти опыты полностью подтвердили полученные раньше на практике данные о коэффициенте полезного действия и пропускной способности генераторов, работающих на каменных углях. Сводный отчет E. S. Pettyjohn'a¹ содержит, кроме того, обстоятельный разбор влияния размера кусков, спекаемости угля, его зольности и особенно условий работы на поведение углей в генераторах водяного газа.

¹ Gas Age Record от 24 августа 1929 г., стр. 237.

Таблица 3

Сравнительный тепловой баланс газогенераторов при получении из кокса и битуминозного угля 100 м³ масляного водяного газа с теплотворной способностью 4710 кал.

Топливо	Кокс		Битуминозный уголь	
	Кал.	Проц.	Кал.	Проц.
<i>Приход</i>				
Теплотворная способность топлива				
49,4 кг по 7088 кал.	350 000	50,2	341 000	46,1
43,3 кг по 7882 кал.				
Теплотворная способность карбюраторного масла				
33,4 л по 9320 кал.	311 300	44,6	356 500	48,2
38,25 л по 9320 кал.				
Теплосодержание пара				
56,2 кг по 645 кал.	36 250	5,2	41 500	5,7
64,3 кг по 645 кал.				
Всего	697 550	100,0	739 000	100,0
<i>Расход</i>				
Теплотворная способность масляного водяного газа	471 000	67,6	471 000	63,6
Теплотворная способность смолы	57 000	8,2	67 000	9,0
Теплосодержание водяного газа, смолы и пара	50 000	7,2	63 600	8,6
Теплотворная способность и теплосодержание газов горячего дутья	30 400	4,6	39 000	5,4
Тепло, использованное в паровом котле	26 000	3,7	20 000	2,7
Потери горючего в золе	12 700	1,8	10 000	1,4
Потери излучением и теплопроводностью	24 700	7,2	24 700	9,3
Остаток (прочие неучтенные потери)	25 750		43 700	
Всего	697 550	100,0	739 000	100,0

Для превращения угля в кокс, прежде всего, как известно, имеет значение размер поверхности кусков угля, так как, вследствие малой теплопроводности углей, тепло быстрее проникает с поверхности внутрь куска при малом его размере. В косовой печи образование кокса идет лучше, когда состояние размягчения угля наступает, по возможности, одновременно на поверхности и внутри отдельных кусков, так как только при этих условиях получается связанная коксовая масса, на поверхности которой выходящие дистилляционные газы образуют трещины. В виду этого, для коксования теперь везде употребляется уголь, предварительно измельченный. В газогенераторе водяного газа мелкий и сильно спекающийся уголь,

быстрее подвергающийся влиянию тепла, раньше переходит в пластическое состояние и образует оболочку вокруг непрококсированных еще кусков большего размера. При кусковом угле получается, вследствие этого, лучше проницаемый для газа слой и, чем сильнее спекается уголь, тем в больших количествах применяют его в форме кусков. При спекающихся углях свойства образовавшегося в газогенераторе кокса в одинаковой мере зависят как от размера кусков, так и от спекаемости. При кусковом угле, содержащем мало мелочи, свободное пространство между отдельными кусками топлива, вследствие коксования, сильно увеличивается. Благодаря этому, кислород воздуха во время дутья получает доступ к дистилляционным газам, выделяющимся из угля, и частично сжигает их, не оказывая вредного влияния на процесс коксования. При мелкозернистом угле сгорание продуктов сухой перегонки препятствует слипанию более мелких частиц; этим и объясняются наблюдения, что угли, дающие хороший кокс в коксовых печах, в генераторах водяного газа заметно теряют спекаемость.

Высокозольные угли коксуется плохо, вследствие распределения золы в веществе угля. Температура плавления золы значительно выше температуры размягчения угля, и поэтому зола пронизывает массу угля в виде твердого скелета, чем и затрудняется спекание. Такие угли при вступлении в зону газификации сохраняют свою кусковую форму. Даже в зоне окисления, после сгорания углерода, зольный скелет часто сохраняет форму исходного куска угля.

Угли, богатые кислородом, обладают слабой спекаемостью и отдельные куски их мало спекаются друг с другом. Вследствие этого, при работе даже на мелкокусковом угле, достигается хорошее распределение воздуха.

Основной задачей горячего дутья при процессе получения водяного газа является накопление возможно большего количества тепла, необходимого для периода газования. Следует стремиться к тому, чтобы достигнуть этого накопления в возможно короткий промежуток времени, для чего необходимы большие скорости воздуха. Ввиду этого мелкозернистый уголь мало пригоден для газификации, так как при нем неизбежен большой унос во время горячего дутья.

Во время коксования уголь вспучивается и представляет больше сопротивления для воздуха, так что даже и при слабо спекающихся углях, во избежание образования каналов в зоне коксования, необходимо известное понижение скорости воздуха по сравнению с работой на коксе. При углях с большей спекаемостью вспучивание настолько велико, что получить в зоне коксования равномерно проницаемый слой затруднительно. Газы проходят частью вдоль стенок, а частью по образующимся каналам, что, вследствие местных перегревов в слое топлива, вызывает более сильное шлакообразование. В этих случаях часто приходится сильно снижать скорость воздуха, благодаря чему содержание CO в газах горячего дутья повышается и расход тепла на восстановление CO_2 в зоне газификации сильно увеличивается: температуры в нижней части зоны горения возрастают,

в то время как в верхних слоях остаются низкими. Результатом этого является ухудшение термического коэффициента полезного действия горячего дутья.

Количество водяного газа, образовавшегося за период газования, в первую очередь зависит от количества тепла, накопившегося во время горячего дутья и, кроме того, от однородности слоя. Кокс во многих отношениях является идеальным топливом для газогенераторов водяного газа. Преимущества применения углей заключается в низкой стоимости их и в обогащении водяного газа углеводородами. Условия для хорошего газообразования во время газования, в основном, те же, что и для успешности горячего дутья. Особенное значение имеет равномерная газопроницаемость слоя и для этого наиболее подходящи кусковые угли со слабой спекаемостью.

Применяемое давление дутья зависит от характера угля, сечения газогенератора и продолжительности рабочего цикла. Допустимое давление дутья в значительной мере обуславливается распределением воздуха в слое топлива, что в свою очередь зависит от размеров кусков, спекаемости и содержания мелочи в угле. Если путем наблюдения за образованием прогаров установлено наивысшее давление дутья, то увеличение количества воздуха, подаваемого за рабочий цикл, может быть достигнуто только удлинением периода горячего дутья. Длительность последнего ограничивается образованием шлаков у стенок и возможностью использования тепла в карбюраторных камерах; она устанавливается в зависимости от общей продолжительности рабочего цикла и распределения воздуха в слое топлива. При плохом распределении воздуха температура плавления золы может быть легко превзойдена при любом угле и, благодаря этому, могут образоваться скопления шлаков у стенок. Равномерное распределение воздуха имеет здесь большее значение, чем температура плавления золы. При более коротком рабочем цикле можно работать с большей относительной продолжительностью горячего дутья, не опасаясь того, что температура поднимется выше температуры плавления шлаков или количество тепла, накапливаемое в карбюраторной установке, будет излишне велико. Как-раз эти соображения привели к постепенному сокращению общей продолжительности рабочего цикла.

Из химических свойств угля значение имеет содержание золы, серы и кислорода. Повышение содержания какой-нибудь из этих составных частей, уменьшая содержание углерода, приводит к соответствующему увеличению расхода топлива. Зольность вызывает еще потери, обусловленные увеличением числа и продолжительности чисток генератора от шлаков. Потеря топлива при шлаковании повышается еще и из-за чрезвычайно высокой скорости пара, что, вследствие охлаждающего действия водяного пара, ведет к уменьшению размеров кусков кокса, образовавшегося в газогенераторах.

Для достижения высшего коэффициента полезного действия при переработке битуминозных углей в водяной газ, следует давление дутья держать ниже границы образования прогаров; часть цикла,

падающую на период дутья, увеличить настолько, насколько позволяет шлакообразование у стенок шахты, и расход пара держать ниже того предела, при котором, вследствие растрескивания кусков кокса, затрудняется удаление шлаков без больших потерь кокса. По данным этого исследования, при подходящих условиях газификации каменного угля в газогенераторах водяного газа достигается пропускная способность, равная 70—80% от пропускной способности на коксе. При применении воздушного газования она может быть увеличена еще приблизительно на 10%. При выборе наиболее благоприятных условий работы следует обращать внимание, главным образом, на размер кусков угля, содержание мелочи, спекаемость, а также на содержание и температуру плавления золы.

Газогенератор для получения водяного газа из дерева

Большое сходство с генератором водяного газа Strache, изображенным на рис. 4, имеет разработанная недавно в Америке конструкция L. P. Lowe, предназначенная для газификации древесных отбросов.

По литературным данным¹, подобная установка для получения голубого водяного газа из древесных отбросов построена на заводе Southern Oregon Gas Company в Grants Pass, при чем результаты ее работы удовлетворительны. Схема установки дана на рис. 5. Установка состоит из газогенератора со сравнительно высокой шахтой; верхние части зон газификации и сухой перегонки соединены каналами с камерой перегревателя. Дутье ведется снизу и газы горячего дутья по нижнему каналу попадают в перегреватель, в котором они сгорают в смеси со вторичным воздухом. Во время газования работа может вестись двумя способами. Один из них полностью соответствует способу работы описанного выше генератора Strache. Служащий для газования пар вступает снизу в перегреватель и перегретым по верхнему каналу попадает в камеру сухой перегонки, откуда в смеси с летучими продуктами, выделяющимися из топлива, проходит зону газификации сверху вниз. Водяной пар должен при этом превратиться в водяной газ, а смола в постоянные газы. При втором способе работы водяной пар вводится в генератор снизу, реагирует в раскаленных слоях с прококсованным топливом, образуя водяной

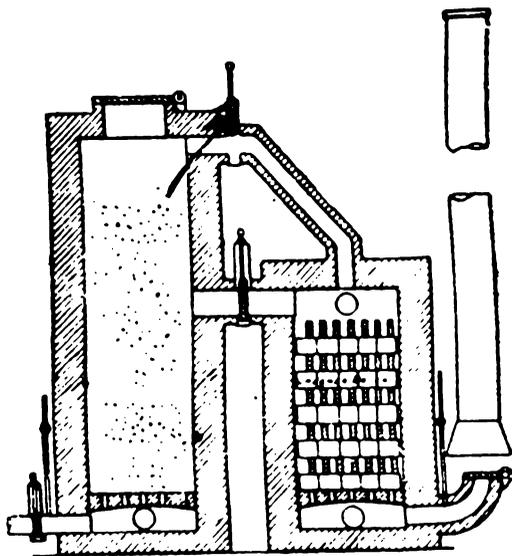


Рис. 5. Генератор водяного газа для древесных отбросов системы L. P. Lowe.

¹ American Gas Journal, 1927, № 2, стр. 27.

газ, который, пройдя зону сухой перегонки, поступает по верхнему каналу в перегреватель, где происходит фиксация продуктов сухой перегонки. Готовый газ выходит в этом случае через газоотвод в нижней части перегревателя. Газификация опилок невозможна из-за высокой влажности. Из кусковых древесных отбросов получается газ с теплотворной способностью около 2680 кал. В статье не указано, какой из способов работы оказался более выгодным.

!Английские и французские конструкции

В Англии газификация битуминозных углей в водяной газ применялась на ряде маленьких установок еще за несколько лет до

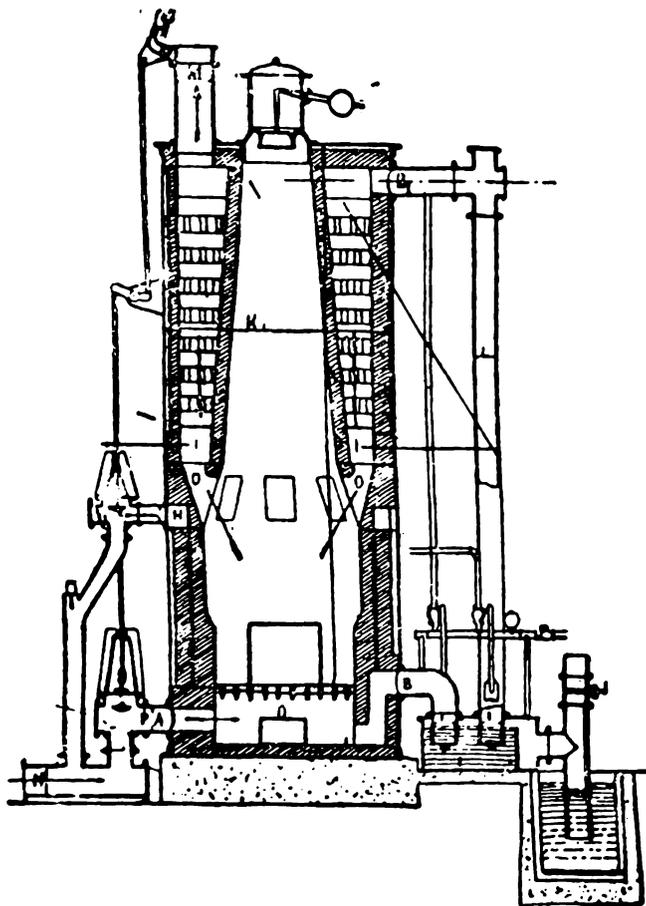


Рис. 6. Генератор водяного газа системы Tully

мировой войны. Эти установки, построенные по системе Tully, работают, главным образом, так, что летучие, получающиеся при сухой перегонке угля, частично разлагаются. Они вырабатывают водяной газ с высшей теплотворной способностью около 3000 кал. и представляют таким образом известный переход к установкам двойного водяного газа, в которых особое внимание уделяется получению больших количеств высококалорийных углеводородов. Генераторы Tully нашли широкое применение в Англии; по новейшим сведениям в работе находится более 200 генераторов. Генераторы Tully служат отчасти для получения

добавочного газа к ретортному газу, а отчасти и для самостоятельного газоснабжения на более мелких газовых заводах. Первоначально их выполняли с двойной шахтой, теперь же перешли к одинарной шахте. Способ работы этих установок можно пояснить по рис. 6 б-а.

Установка состоит из газогенератора, промывателя, парового котла и механизма для управления различными вентилями, который обслуживается одним человеком. В верхней части генератора помещается перегонная реторта, окруженная аккумулятором тепла.

Аккумулятор соединен с шахтой газогенератора при посредстве каналов *O*; рядом с газовыми каналами находятся каналы *H* для подвода вторичного воздуха, в то время как первичный воздух подается по штуцеру *A* под решетку.

Работа генератора распадается на три периода:

1. Горячедутье (рисунок 6): продолжительность около 2 мин.; открыты верхний и нижний подводы воздуха и клапан на трубе для отходящих газов. Поднимающиеся из шахты генератора газы, которые содержат CO , сжигаются со вторичным воздухом в аккумуляторе тепла, окружающем реторту. Из аккумулятора газы выходят в дымовую трубу.

2. Период газования снизу вверх (рис. 6а): продолжительность 4—5 мин.; открыт нижний подвод пара и верхний отвод для газа. Выходящий из зоны газификации водяной газ в смеси с продуктами сухой перегонки угля проходит через аккумулятор тепла и через верхний газоотвод *B* попадает в гидравлический затвор, а оттуда в газоочистительную установку.

3. Период газования сверху вниз: продолжительность 4—5 мин. Открыт верхний подвод для пара и нижний отвод для газа. Пар через аккумулятор тепла попадает в шахту газификации и проходит последнюю в смеси с продуктами сухой перегонки сверху вниз. Из шахты газ проходит по нижнему газоотводу, примыкающему к зольной камере, через гидравлический затвор в газопровод сырого газа. В установках большего размера применяется механическая решетка и необходимый для газификации пар получается в котле за счет тепла отходящих газов. Производительность существующих установок колеблется от 1400 до 21 000 м³ газа в сутки. В среднем из одной тонны угля получается 1400—1700 м³ * газа и около 45 кг смолы. Сред-

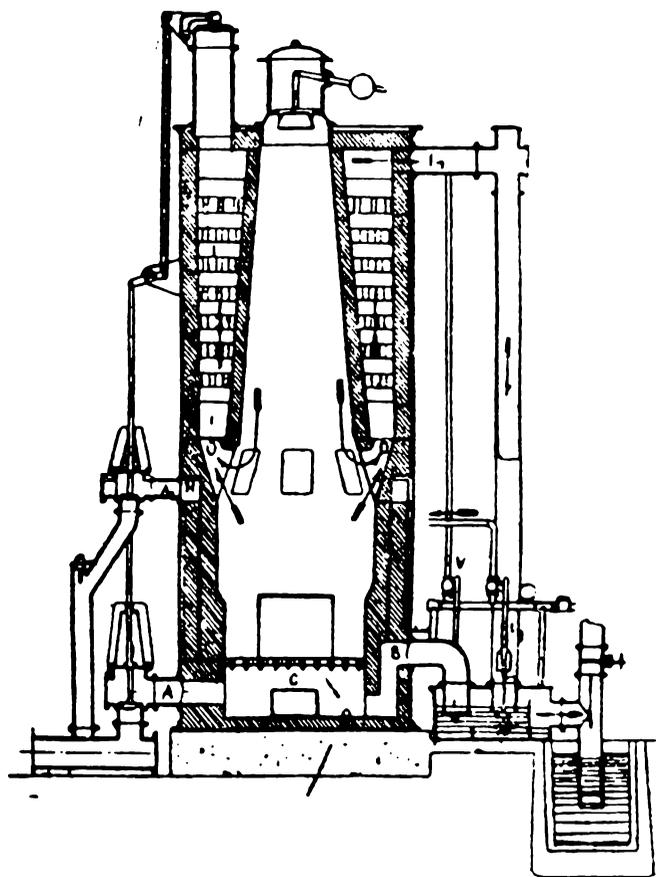


Рис. 6а. Генератор водяного газа системы Tully.

* Указанные выходы очень высоки и едва ли основаны на точных замерах. В позднейших сообщениях в *Génie Civil* для установки системы Stein-Tully указываются выходы 1300—1400 м³ газа с теплотворной способностью 3200—3300 кал./м³

ний состав газа следующий: CO_2 —5,2%, O_2 —0,8%, CO —30%, C_nH_m —2%, CH_4 —8%, H_2 —50% и N_2 —4%.

Описанный выше газогенератор для получения водяного газа из каменного угля распространен и во Франции под названием генератора Stein-Tully. Фирма Société des Appareils de Manutention et

Fours Stein поставила ряд таких генераторов на газовых, металлургических и стекольных заводах¹.

Построенная недавно на газовом заводе в Versailles установка из двух генераторов дает в сутки 10 000 м³ водяного газа, который служит прибавкой приблизительно к 20 000 м³ дистилляционного газа. Замечательна на этом заводе механизация производства, которая необычна для таких маленьких установок. Загрузка производится периодически через воронку с запорным клапаном, управляемым электричеством, а удаление золы осуществляется вращающейся решеткой с электрическим приводом. Все вентили и клапаны управляются автоматически, как это теперь делается на американских установках². На установке в Versailles газы, выходящие из аккумулятора тепла, не выпускаются на воздух, а содержащееся еще в них тепло используется для получения пара. Для

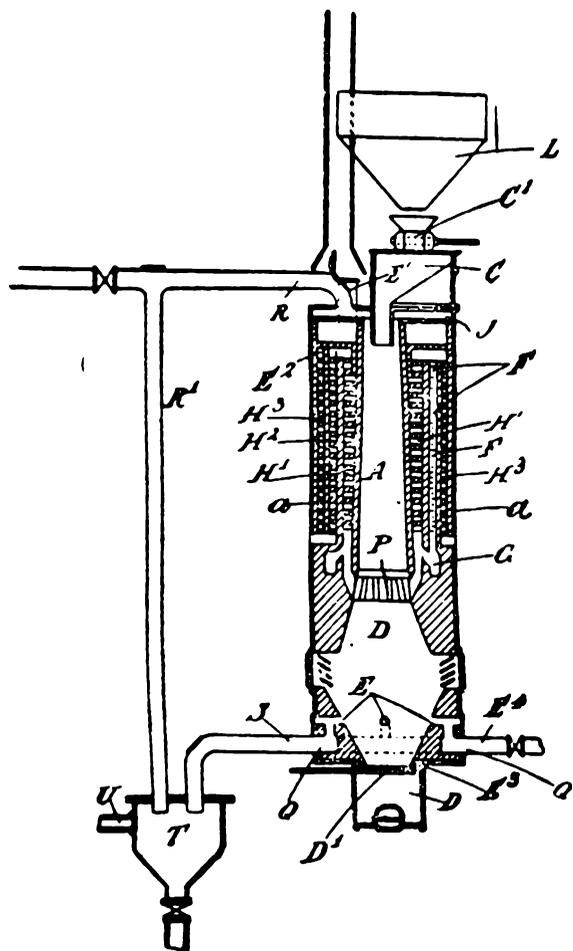


Рис. 7. Генератор двойного водяного газа системы Моора.

этого служат водотрубные паровые котлы, поверхностью нагрева по 35 м², расположенные над каждым аккумулятором тепла. Последний во время газования отдает накопленное в нем тепло трубкам котла.

Сходная с описанной выше системой газогенераторов конструкция, которая также была разработана в Англии³, изображена на рис. 7. Аккумулятор тепла, окружающий высокую перегонную шахту, разделен на несколько ходов (H_1 , H_2 , H_3). По этим ходам проходят газы горячего дутья, смешанные со вторичным воздухом,

¹ Génie Civil, 5 ноября 1927, стр. 453—457.

² В Англ. Gas Journal от 17 июля 1929 (стр. 1320) дан рисунок, разработанного недавно Tully аппарата для автоматического управления и приведено краткое описание его.

³ W. B. Davidson. Gas Manufacture, London 1922, стр. 272.

сперва снизу вверх, затем сверху вниз и, наконец, опять снизу вверх. Газование ведется попеременно снизу вверх и сверху вниз (дутье, газование снизу вверх; дутье, газование сверху вниз; дутье, газование снизу вверх и т. д.). При газовании снизу вверх пар поступает по трубе E^4 , а газы отводятся через реторту A и трубу K в гидравлический затвор T . При газовании сверху вниз пар подается по трубе E^1 , а газы, проходящие нисходящим током, через реторту и генератор по трубе S отводятся в гидравлический затвор. Перед каждым периодом дутья включается короткий период продувки, во время которого в регенератор по E^2 впускается пар, вытесняющий оставшиеся в каналах газы через камеру газификации D в гидравлический затвор. Этим путем должно избегаться образование взрывчатых смесей в аккумуляторе тепла. Достаточно полного использования тепла аккумулятора в этой конструкции не предусмотрено. С целью получения газа, обогащенного дистилляционными газами, работа может вестись с отъемом части кокса через нижнюю часть шахты D . Для гашения этого кокса через штуцер E^3 впускается пар.

К только-что описанному типу относится газогенератор Moore, служащий для получения водяного газа из каменных углей. По новейшим сведениям¹ этот генератор оказался весьма пригодным для получения городского газа. Он может быть применен как для получения водяного и карбюрированного водяного газа, так и для получения дистилляционного газа; на нем работают как с отъемом, так и без отъема кокса. Стоимость установки, расходы по эксплуатации и ремонту, как указывается, низки, а производительность, по сравнению с незначительной занимаемой ею площадью, высока.

Значительное дальнейшее усовершенствование газования обратным током дает британский патент 239280, взятый Caldwell'ем, Humphreys'ом и Glasgow'ом. Основной идеей этого способа является устранение попадания углеводородов, образующихся во время горячего дутья, в камеру перегревателя, где они сгорают и вследствие этого теряются для целей обогащения водяного газа.

Как показано на рис. 8, над шахтой газификации I помещается шахта для сухой перегонки, имеющая значительную высоту. Камера перегревателя 3 соединена с газогенератором тремя трубопроводами. Газы горячего дутья обычно попадают в перегреватель по среднему трубопроводу 8 . Образующиеся во время горячего дутья продукты сухой перегонки могут по особому трубопроводу (не показанному на рисунке) попасть в сборный газопровод. В конце горячего дутья может быть включен короткий период воздушного газования, во время которого газы горячего дутья, содержащие много CO , проходят через шахту сухой перегонки, вызывая выделение летучих из угля. Полученные за этот короткий промежуток времени газы горячего дутья, которые обогащены продуктами дистилляции, проходят через перегреватель без прибавки вторичного воздуха и поступают в сборный газопровод. После горячего дутья газование ведут

¹ Англ. Gas Journ.. 17 июля 1929, стр. 135.

сперва снизу, при чем водяной газ проходит через шахту сухой перегонки в перегреватель. Затем следует период газования обратным током, во время которого водяной пар проходит через вторую и первую шахты перегревателя и по верхнему трубопроводу 7 поступает в верхнюю часть шахты сухой перегонки. Газ проходит обе шахты генератора в нисходящем направлении. Если должен получаться карбюрированный маслом водяной газ, то при прямом газовании, как и в способе Whitwell'a, в первую камеру перегревателя вводится масло.

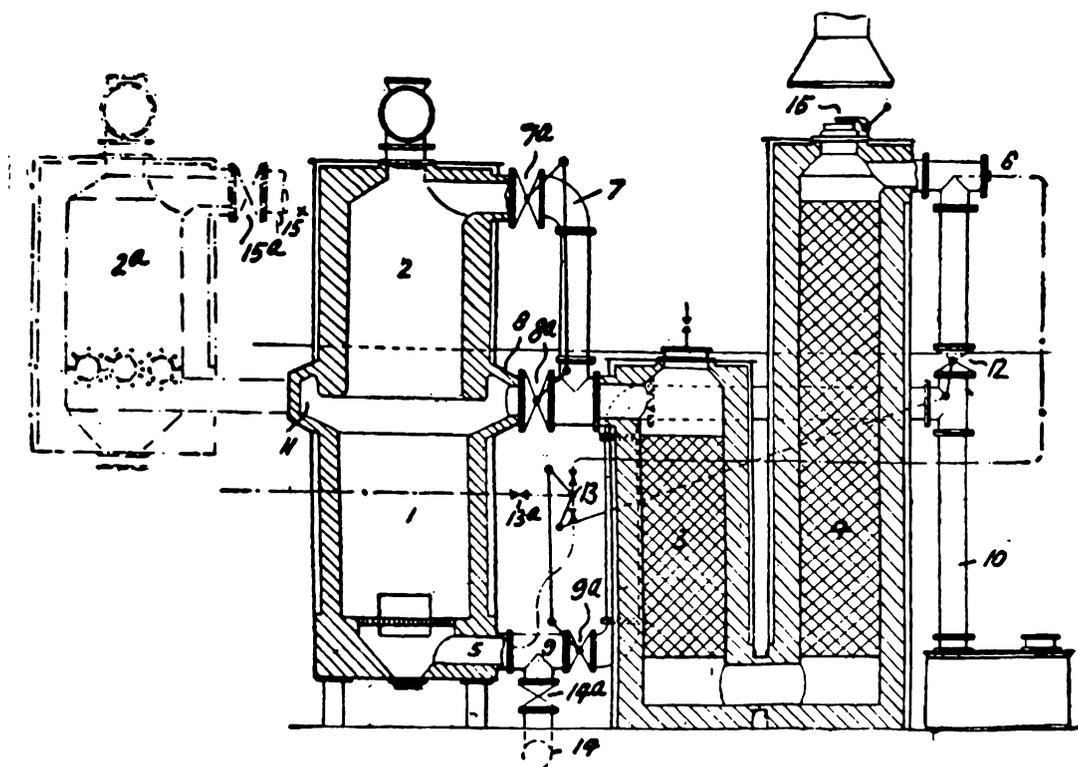


Рис. 8. Установка для получения двойного водяного газа с газованием обратным током системы Caldwell, Humphreys and Glasgow.

Через изображенную на рисунке дополнительную реторту 2а во время газования пропускается, с целью проведения дистилляции угля, часть горячего водяного газа, а также и часть пара, во время газования обратным током¹. При газовании обратным током в отдельных случаях так же, как и в способе Whitwell'я, горячий водяной газ может быть пущен в круговорот. Описанная конструкция со всеми ее особенностями была осуществлена фирмой Humphreys на установке двойного водяного газа North Middlesex Gas Company. Так как эта установка дает газ, близкий по теплотворной способности к двойному водяному газу, то о ней будет сказано подробнее ниже (стр. 112).

Heurtey и Sauvageon запатентовали во Франции конструкцию газогенератора, близкую к конструкции Tully, которая отличается

¹ Это приспособление на практике, повидимому, еще нигде не осуществлено.

тем, что работа ведется со слоем золы такой высоты, что он действует на отходящий водяной газ как аккумулятор тепла. Пар во время периода газования проходит всегда через регенератор, окружающий реторту, и вступает в верхнюю часть камеры газификации. Водяной газ отдает свое тепло слою золы. Таким путем в зоне газификации должна держаться равномерная температура без частой смены в периоды прямого и обратного газования¹.

Построенная несколько лет тому назад на маленькой газовой станции в Goring на Темзе фирмой Patent Retorts Ltd, Лондон, установка для газификации английских углей сильно отличается от конструкции типа Tully. По данным, приведенным в английском Gas Journal (29 июня 1927 г., стр. 995), установка отличается простой и компактной конструкцией и простым обслуживанием. Устройство газогенератора видно из рис. 9 и 9а.

Генератор состоит из сильно расширяющейся книзу камеры газификации и из расположенной над ней дистилляционной реторты, которая окружена аккумулятором тепла. Камера газификации разделена поперечной, сверху заостренной перегородкой, на две

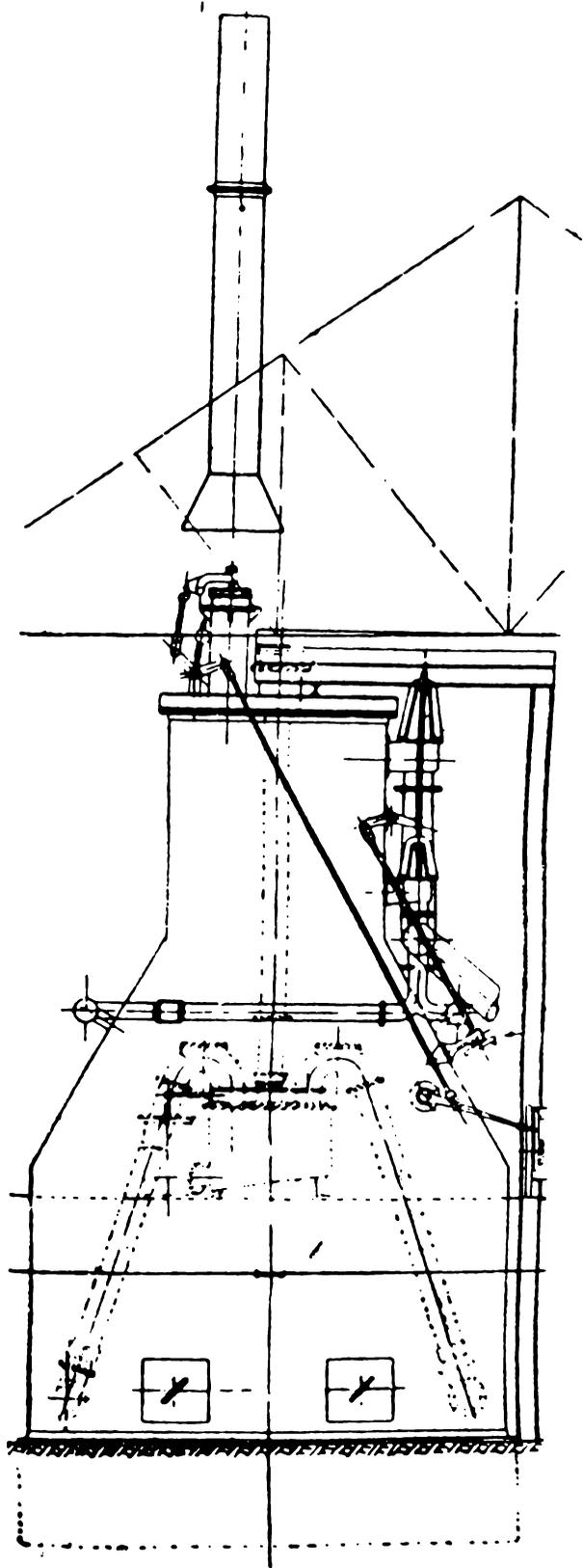


Рис. 9. Генератор двойного водяного газа в Goring.

¹ Французский патент 548428.

части, чем эта конструкция несколько напоминает тригазгенератор общества Dellwik-Fleischer (ср. рис. 15). Работа на обоих генераторах отличается тем, что в тригазгенераторах газы горячего дутья проходят попеременно из одной половины шахты в другую, в описываемой же конструкции такое попеременное течение газов проводится только во время части периода газования.

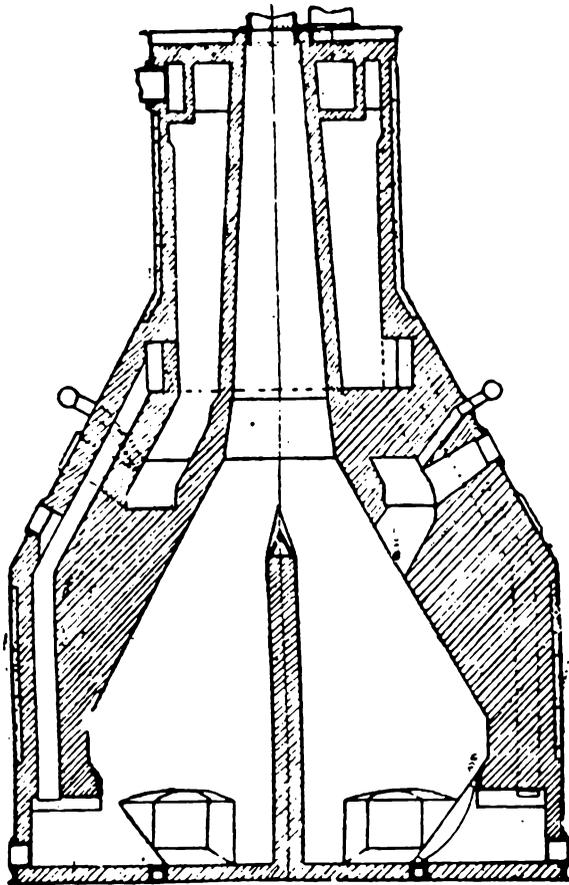


Рис. 9а. Генератор двойного водяного газа в Goring (разрез).

Способ работы следующий: во время горячего дутья воздух входит в верхнюю часть кладки шахты и по каналам, расположенным в стенках, подводится снизу одновременно в обе половины шахты. При этом он сильно нагревается за счет тепла отходящих газов горячего дутья; таким путем должно достигаться значительное сокращение периода горячего дутья. Газы горячего дутья поступают, как обычно, в камеру аккумулятора тепла, окружающую дистилляционную реторту, и сгорают там в потоке вторичного воздуха. Горячее дутье продолжается около $1\frac{1}{2}$ мин. Газование проводится за три приема. Во время первых двух периодов пар проходит попеременно из нижней части одной половины шахты над разделяющей стенкой в дру-

гую камеру, из нижней части которой газ по трубопроводу поступает в гидравлический затвор, общий для обеих половин шахты (рис. 9). Только во время третьего периода газование ведется снизу одновременно через обе половины шахты, и газы пропускаются через дистилляционную реторту, откуда увлекают продукты сухой перегонки в газопровод.

Внутренний обогрев дистилляционной реторты проводится только во время части периода газования. Чтобы предохранить продукты сухой перегонки от смешивания и потери с газами горячего дутья, их отводят во время горячего дутья в гидравлический затвор отдельной 45 мм трубой. Для обслуживания установки достаточно одного рабочего, которому только раз в день при подъеме угля и два раза в пе-

делю при удалении золы помогает второй. Газ имеет теплотворную способность около 2900 кал./м³; выход газа из тонны угля составляет в среднем, около 1200 м³. Коэффициент полезного действия газификации не достигает, следовательно, 50%. Суточная производительность установки, работавшей тогда только по 6 час. достигала 2500 м³, которых было достаточно для снабжения газом двух местечек. При полном использовании установка могла бы дать трехкратное количество газа.

Описанная выше установка, многочисленные установки типа Tully и ей подобные удовлетворяли заводчиков, в то время как созданные в других странах установки двойного водяного газа часто вызывали различные недовольства. Причиной этого могло быть следующее. Газификация английских углей представляет вообще меньшие трудности, чем газификация немецких и американских углей. Кроме того, эти генераторы имеют небольшой диаметр, вследствие чего, как мы уже имели возможность видеть при рассмотрении американских генераторов для двойного водяного газа, достигнуть на них благоприятного состояния слоя топлива легче, чем в генераторах большого сечения. Меньшее шлакование связано, по всей вероятности, со свойственной этим генераторам сравнительно большой высотой шахты, которая, с одной стороны, облегчает постепенную дистилляцию угля, а, с другой стороны, благодаря накоплению больших количеств тепла и удлинению пути газа, позволяет удлинить периоды газования без чрезмерного повышения температуры в слое топлива. Этот простой способ работы отвечает прежде всего требованиям маленьких газовых заводов, когда установки, как в Goring, служат для снабжения местечек газом без добавки ретортного газа. При этом низкая производительность и сравнительно низкий термический коэффициент полезного действия газогенератора не имеют большого значения для экономичности установки. Для германских условий, где для бытовых целей применяется вообще газ значительно более высококалорийный установки для получения двойного водяного газа описанных выше конструкций мало пригодны.

II. ПРОИЗВОДСТВО ДВОЙНОГО ВОДЯНОГО ГАЗА

Попытки осуществить на практике в одном аппарате коксование углей, с целью получения светящего газа, и превращение полученного кокса в водяной газ делались уже давно. Однако, все эти попытки не удавались, главным образом, из-за недостаточного использования для коксования тепла, освобождающегося при горении и газификации кокса. Так, при опытах по газификации каменного угля, поставленных в 1885 г. обществом Europäische Wassergas-Aktiengesellschaft, пытались осуществлять коксование за счет тепла газов горячего дутья, передаваемого непосредственно углю при внутреннем обогреве; физическое же тепло отходящего водяного газа для этой цели совершенно не использовалось. В другом случае в генераторе Andrea в Вене (1885 г.), физическое тепло газов и горячего

дутья и водяного использовалось только для внешнего обогрева реторты, опущенной в шахту генератора¹. Но и соединение внешнего обогрева газами горячего дутья с внутренним обогревом водяным газом, что было позднее предложено Bessemlfelder'ом², не дало бы удовлетворительного результата из-за больших тепловых потерь, которые неизбежны при пространственном отделении газификации и коксования.

Генераторы двойного водяного газа типа Strache

Проблема безостаточной газификации углей в водяной газ, при условии коксования с получением продуктов дистилляции, была впервые практически разрешена Strache. В своих первых конструкциях (ср. стр. 15) Strache стремился к замене дорогого кокса в производстве водяного газа, служащего для добавки к ретортному газу, более дешевым углем, и в особенности бурым углем. Позднее, при разработке известного процесса получения двойного газа, им руководила мысль соединить в одном аппарате и коксование, и газификацию в водяной газ³ и получить газ, значительно превышающий по теплотворной способности водяной газ из кокса. Путем такого соединения должны быть устранены тепловые потери обоих процессов и тепло отходящего водяного газа должно быть использовано для коксования угля. Экономия тепла, которая при этом получается, Strache иллюстрирует следующим примером.

Из 100 кг органической массы угля получается 33 м³(0°) дистилляционного газа с теплотворной способностью 5500 кал./м³, т. е. в газ переходит 181 500 кал. В реторте остается 70 кг кокса, из которого по меньшей мере 15 кг служат для обогрева реторты. Использовано может быть 55 кг кокса или около 48 кг органической массы кокса, которые, в среднем, дают по 1,8 м³ водяного газа с теплотворной способностью 2800 кал./м³; всего получается 1,8 × 48 = 87 м³ водяного газа, содержащего 87 × 2800 = 243 600 кал. Следовательно, из 100 кг угля получается 28 + 87 = 115 м³ смешанного газа по 3700 кал. = 425 100 кал.

В генераторе же двойного водяного газа получают, по Strache, 160 м³ двойного водяного газа по 3334 кал., т. е. 533 400 кал., что соответствует экономии приблизительно в 20%. Эта не чрезмерно большая экономия тепла не могла бы служить сильным побуждением к замене ретортного получения газа получением двойного, тем более, что работа на генераторах двойного водяного газа до сих пор представляет некоторые трудности. Можно еще сказать, что цифры, положенные Strache в основу расчетов, не соответствуют средним данным практики⁴. Использование тепла угля в генераторах двойного газа, в общем, незначительно отстаёт от данных

¹ Ср. германский патент 37887 и M. Geitel, Das Wassergas, 2 изд., 1899, стр. 57.

² Германский патент 115070.

³ Journal für Gasbeleuchtung, 1920, стр. 230.

⁴ Весь расчет вызывает большие сомнения. Ср. с расчетом на стр. 132. Прим. ред.

Strache, коэффициент же полезного действия ретортного коксования, как известно, до последнего времени еще возрастает.

Несмотря на это, даже после того, когда была выяснена действительная производительность генераторов двойного водяного газа, широкими кругами специалистов было признано право на существование этого метода газификации. Это объясняется тем, что от него ожидалось другие значительные преимущества, которые состоят, главным образом, в изменении стоимости установки, содержания и эксплуатации ее, большей гибкости, меньшей площади, а также и возможности переработки более дешевых углей.

В первой конструкции газогенератора двойного водяного газа системы Strache в шахту генератора была опущена дистилляционная реторта, которая для лучшего обогрева была снаружи окружена камерой горения с отопительными каналами (рис. 10). У основания камеры к поднимающимся газам подмешивался вторичный воздух. Сперва предполагали, что при горении в каналах газов горячего дутья, содержащих значительные количества CO, свежему углю будет передано такое количество тепла, которое, вместе с физическим теплом проходящего через реторту водяного газа, будет достаточно для полного проведения дистилляции угля. Однако вскоре было обнаружено, что это справедливо только для некоторых сортов угля. В позднейших конструкциях генераторов двойного газа внешнему обогреву не придавали в виду этого особого значения. Газы горячего дутья хотя и обогревали еще реторту, но сжигались уже в теплообменнике, куда они попадали по выходе из генератора. Теплообменник служил для перегрева пара, который таким образом возвращал в генератор большую часть тепла газов горячего дутья. Благодаря этому достигалось не только улучшение образования водяного газа, но одновременно и усиление подвода тепла в реторты во время газования.

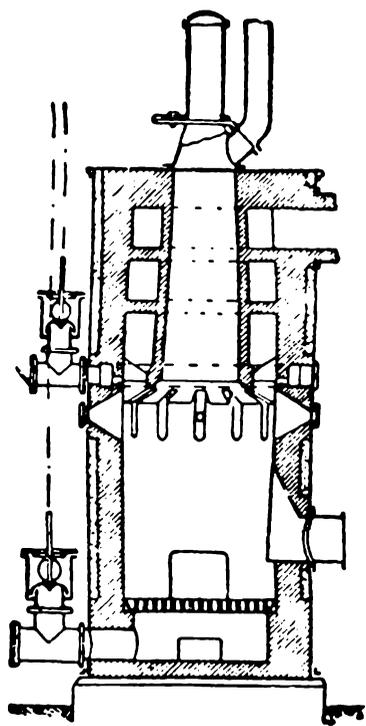


Рис. 10. Старая конструкция генератора двойного газа системы Strache

Новейшая конструкция генератора двойного газа показана на рис. 11. Здесь газы горячего дутья, выходящие из зоны газификации *a*, обогревают реторту *a'*, но сжигаются они только после того как пройдут вентиль *b* и вступят в пароперегреватель *c*. Вторичный воздух подается по трубе *n* из главного воздухопровода *m*, куда воздух нагнетается вентилятором *g*. Дымовые газы из перегревателя *c* поступают в испаритель *d* и уходят в дымовую трубу *l*. Воздух для горячего дутья подается в генератор по трубопроводу *m*. При га-

зовании закрываются: вентиль *b* на газопроводе, *i* на воздухопроводе и шибер *k* на дымовой трубе, а также поднимается опущенный во время дутья колпак, перекрывающий газопровод *q* в гидравлике *v*. После этого в испаритель *d* вбрызгивается при помощи распыливающего сопла *j* вода, которая и испаряется на раскаленной насадке.

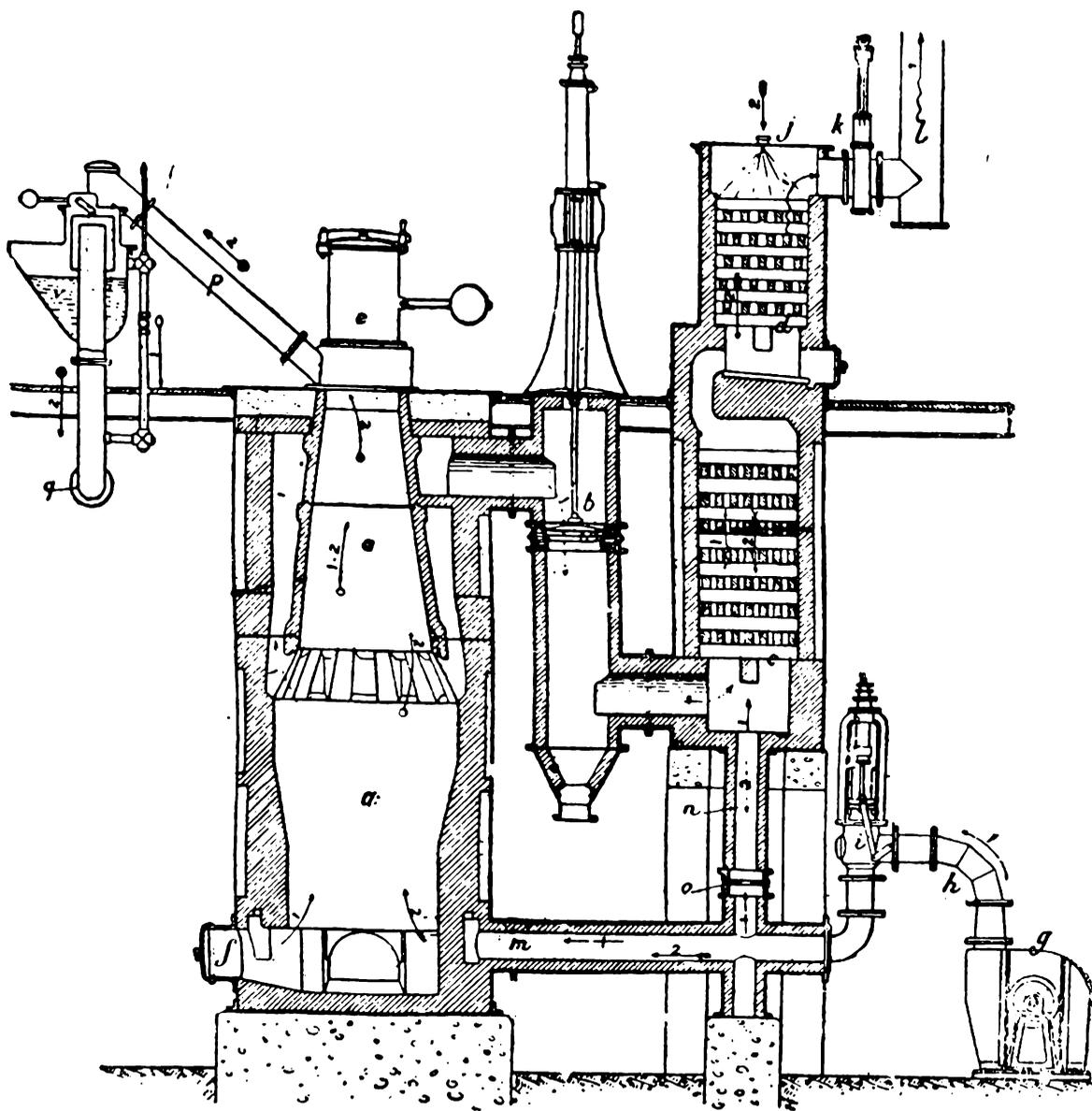


Рис. 11. Генератор двойного водяного газа системы Vergasungs-Industrie Akt.-Ges. в Вене.

Водяной пар через перегреватель *e* и трубы *n* и *m* поступает в шахту газогенератора, превращается здесь в водяной газ и проходит затем через дистилляционную камеру *a'*, отсюда вместе с продуктами дистилляции по трубе *p* попадает через гидравлику *v* в газопровод *q*, ведущий к газоочистительной установке.

Когда эндотермический процесс образования водяного газа настолько понизит температуру в слое кокса, что водяной пар перестанет разлагаться в достаточном количестве, тогда прекращают подачу воды и после перестановки вентилей и пуска вентилятора *g* газогенератор снова разогревают. Период газования оканчивается по указанию разработанного Strache прибора — сигнализатора («Dampf-schlussmelder»). Накопление неиспаренной воды в желобке на дне испарителя указывает на то, что и аккумулярованное в испарителе тепло использовано уже в достаточной мере.

При горячем дутье проход через гидравлику перекрыт; однако, при этом обводной трубопровод *s* остается настолько открытым, что образующиеся в реторте во время горячего дутья газы сухой перегонки могут поступать в трубопровод. Установка вентиля на обводном трубопроводе производится при помощи пробы на пламя, даваемое газом. Этот обводной трубопровод для дистилляционных газов, выделяющихся во время горячего дутья, встречается и в других, более поздних конструкциях.

Для того, чтобы смягчить влияние на аппаратуру перемены давлений при периодическом процессе, целесообразно включить в сеть перед газоочистительной установкой небольшой уравниватель давления.

В новейших установках двойного газа, имеющих большой диаметр, удаление золы осуществляется при помощи вращающейся решетки (рис. 12). В старых генераторах с плоской решеткой при удалении шлака уголь в реторте иногда опускался так низко, что в генератор попадал непрококсированный уголь, вследствие чего при последующем дутье терялись продукты дистилляции. Вращающаяся решетка значительно облегчает удаление шлаков и огпадает остановка генератора, необходимая для удаления золы вручную.

Описанная выше конструкция генератора двойного газа системы Strache выполняется фирмой Vergasung-Industrie Akt.-Ges. в Вене. На газовом заводе Wien-Simmering с 1928 г. работают три генератора с вращающейся решеткой с часовой производительностью по 1000 м³. Двойной газ, пройдя смолоотделители и трубчатый холодильник, поступает через общий уравниватель давления емкостью 1000 м³ в трубопровод, где смешивается с ретортным газом. После этого смесь подвергается дальнейшей очистке. Нижняя часть шахты генератора является паровым котлом, который двумя трубопроводами соединен с верхним котлом. Горячие газы из перегревателя поступают в паровой котел, заменяющий в этой установке испаритель. Этот котел питает трубчатый вентилятор, мятый пар из которого вместе с паром из верхнего котла поступает в перегреватель и оттуда под решетку.

Имеются указания¹, что пар перегревается до 1000° (?).

В Германии и северных государствах патенты Strache эксплуатирует фирма Akt.-Ges. für restlose Vergasung в Эрфурте. На рис. 12 изображена одна из установок, построенных этой фирмой². Она отли-

¹ Zeitschr. d. Österr. Gas- und Wasserfachvereins, 1/IV 1930, стр. 58.

² Génie Civil, 31/X 1925, стр. 370.

чается от установки, изображенной на рис. 11, главным образом, тем, что дистилляционная шахта поставлена на шахту газогенера-

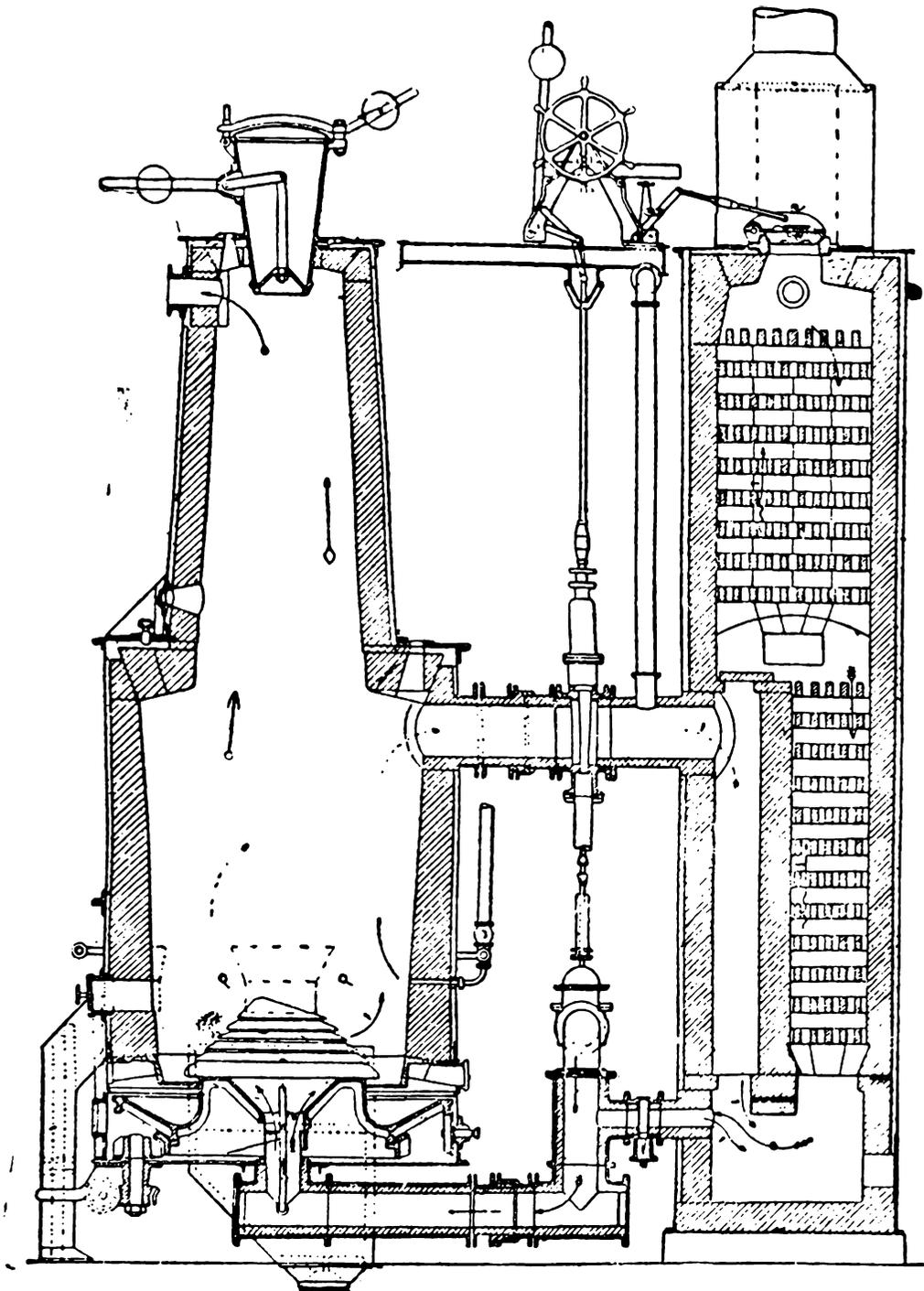


Рис. 12. Генератор двойного водяного газа системы Akt.-Ges. für restlose Vergasung.

тора и не имеет внешнего обогрева. Испаритель здесь не предусмотрен, а пар в перегреватель с двумя камерами подается из постороннего источника.

Первоначально работа на генераторах двойного газа велась с получением низкотемпературной смолы. Выделение смолы должно было заканчиваться, по возможности, еще до поступления топлива в горячие нижние слои дистилляционной камеры, иначе неизбежны потери смолы, вызываемые разложением. Стремление к получению смолы вскоре после войны уступило место стремлению получить высококалорийный газ, что стало считаться важнее. В этом случае следует также стремиться к своевременной дистилляции угля перед поступлением его в зону газификации, чтобы избежать потери углеводородов с газами горячего дутья. Кроме того, при опускании непрококсированного полностью топлива уменьшается высота зоны газификации, что влечет за собой ухудшение газообразования. Это наблюдается в особенности при спекающихся углях и влечет за собой равномерное проникание воздуха в середину спекающегося столба топлива и сильное шлакование у стенок.

Дальнейшей неприятностью, с которой приходится сталкиваться при работе на генераторах двойного водяного газа, является унос мелких частиц и пыли газами горячего дутья, объясняемый высоким давлением дутья, с которым теперь обычно работают. Унесенная пыль может очень быстро вызвать забивание газопроводов и насадки теплообменника. Часть пыли может быть отделена включением в газопровод пылеотделителем. Однако это средство мало применяется, вероятно, из-за связанного с ним охлаждения газов.

Для бесперебойной и теплотехнически выгодной работы еще на старых установках двойного газа считали необходимым внимательный выбор угля. Наиболее подходят бедные пылью, неспекающиеся и непучащиеся угли в кусках умеренного размера, которые не распадаются при газификации. Сырой бурый уголь можно газифицировать только тогда, когда он не содержит много мелочи и имеет низкую влажность. При зольных топливах и в особенности при низкой температуре плавления шлаков легко могут возникнуть затруднения в работе.

Для того, чтобы не быть слишком связанным при выборе топлива, к каменному углю прибавляют известные количества кокса. С коксовой прибавкой работали различные генераторы двойного газа. В других случаях для этой цели применяли и сырой бурый уголь, который во время угольного голода можно было легче достать. Прибавка бурого угля в районах его добычи будет практиковаться и впредь, так как вследствие низкой стоимости бурого угля себестоимость газа, как указано в статьях Breisig'a¹ и Schipke², понижается.

По данным, полученным на газовом заводе Chemnitz, которые приводит Schipke, выход двойного газа из смеси 60% саксонского каменного угля и 40% сырого бурого угля с 40% влаги достигал 1140 м³ при теплотворной способности 3120 кал. (0°, 760, сухой газ), тогда как теплотворная способность двойного газа из одного каменного угля

¹ Gas- und Wasserfach, 1922, стр. 513.

² Gas- und Wasserfach, 1922, стр. 546.

была 3250 кал. и выход сырого газа — 1610 м³. Для нормально работающих генераторов двойного водяного газа, во избежание сильного понижения теплотворной способности газа, можно допустить или только незначительную прибавку влажного бурого угля, или же употребление бурого угля, освобожденного от части воды предварительной подсушкой.

В установках двойного газа типа Strache, а также и почти во всех до сих пор поставленных в Германии установках двойного водяного газа газование ведется только снизу вверх, в противоположность способам работы большинства установок для получения водяного газа из кокса и способам газификации битуминозного угля, разработанным в Америке. Этот упрощенный способ работы был давно оставлен в коксовых генераторах и заменен переменным газованием снизу вверх и сверху вниз, так как наблюдения показали, что при одностороннем газовании горячая зона в слое топлива постепенно поднимается, вследствие чего уже и в верхних зонах наступает сильное шлакование. Вращающаяся решетка, которая применяется теперь для генераторов двойного газа большего диаметра, благодаря непрерывному удалению золы уменьшает этот недостаток одностороннего газования.

Дальнейшим улучшением процесса был введенный Strache сильный перегрев пара, который, как отмечает Strache, сперва вызвал некоторые затруднения. По мнению Schrotta¹, перегрев пара препятствует перемещению горячей зоны вверх, так как облегчает воспламенение в более низких слоях топлива. Однако можно думать и обратное: более сильный перегрев пара влечет за собой повышение скорости реакций разложения водяного пара в нижних слоях топлива, это вызывает более сильное охлаждение их а, следовательно, способствует перемещению вверх горячих зон. По дальнейшим сведениям о работе различных установок можно заключить, что работа ведется с большим избытком неразложенного пара. Сам Strache позднее учел это обстоятельство и в одном месте своей книги² говорит о работе генераторов двойного газа, что «во время периода газования сильно нагретая смесь газа и пара, перегретого в теплообменнике, пропускается через слой угля в дистилляционной реторте и вызывает коксование угля». Этим он приписывает пару, на ряду с водяным газом, значение передатчика тепла в дистилляционную реторту. Большие скорости пара являются причиной более равномерного распределения температур во всей зоне газификации, что объясняется, вероятно, большим участием в разложении пара верхних слоев топлива. Здесь следует еще упомянуть, что чрезмерно высокая температура в верхних слоях прококсованного топлива в зоне газификации, по имеющимся наблюдениям, влечет за собой во время горячего дутья нежелательное повышение температуры насадки перегревателя, примыкающего к газогенератору. При больших коли-

¹ GWF. Sonderheft. 24/V 1930, стр. 23.

² Leitfaden der Technologie der Brennstoffe, стр. 234.

чествах неразложенного пара в дистилляционную реторту переносятся большие количества тепла, что улучшает условия дистилляции. Благодаря этому создаются благоприятные условия и для газообразования в зоне газификации. Опасаться понижения производительности при больших скоростях пара нет оснований, так как лабораторные опыты Haslam'a показали, что абсолютная производительность, т. е. количество водяного пара, превратившегося в водяной газ в единицу времени, практически не зависит от скорости пара. Это заключение о благоприятном влиянии больших количеств неразложенного пара на процесс получения двойного водяного газа может быть подтверждено наблюдениями Vater'a над работой генераторов двойного газа в Chemnitz, о чем речь будет ниже (стр. 60).

Сейчас мы займемся ознакомлением с различными стремлениями, направленными на использование отходящего тепла для эффективного проведения дистилляции угля. Примененный Strache метод возвращения в генератор отходящего тепла путем сильного перегрева пара нашел себе применение и в генераторах двойного водяного газа других систем. Температура нагрева берется между 300 и 700°. Температура понижается, конечно, каждый раз к концу газования и зависит вообще от состояния слоя топлива и условий горячего дутья.

Продолжительности горячего и холодного дутья зависят от условий работы и свойств газифицируемого топлива. Они бывают весьма различны на разных установках двойного газа. Так например, Strache приводит для одной установки:

	Мин. в час
Горячее дутье	14,3
Газование	10,3
Переключение и нагрузка . . .	5,1

Далее он говорит, что при одном опыте, длившемся 45 час., был проведен 161 цикл, при 145 загрузках, средняя продолжительность горячего дутья была 4 мин.; на один цикл приходится:

	Мин.
На горячее дутье	4
На газование	11,3
На загрузку	1,5

По Schipke¹ на установке в Chemnitz при переработке саксонского каменного угля и сырого бурого угля горячее дутье длится 1 — 1¹/₄ мин., а газование 5—6 мин. Отношение продолжительности газования к продолжительности дутья здесь значительно больше, чем в приведенном выше примере.

По способу, запатентованному O. Misch'ем, директором о-ва Dellwik-Fleischer-Gasgesellschaft, по которому также работают с пе-

¹ Gas- und Wasserfach, 1922, стр. 515.

регрев пара, период газования настолько сокращается, что водяной э п в конце газования поступает в дистилляционную шахту при такой высокой температуре, которая обеспечивает полное коксование свежего топлива. Для руководства указывается длительность дутья 1—1¹/₂ мин., а длительность газования 3, самое большее 5 мин. Существенным в этом способе является то, что длительность газования устанавливается в зависимости от необходимости провести своевременное коксование топлива, а не в связи с условиями образования водяного газа, как это делалось раньше.

Можно, пожалуй, подумать, что сокращение времени газования будет связано с уменьшением часовой производительности генератора. Ниже приведены для сравнения соотношения, применяющиеся в последнее время на американских установках водяного газа.

На двух установках практикуются следующие нормы:

	Работа на коксе	Работа на кам. угле
Горячее дутьё	1 мин. 50 сек.	1 мин. 16 сек.
Воздушное газование	—	— » 7 »
Паровое газование	2 » 30 »	2 » 18 »
Продукт	— » 10 »	— 35 »

Уже 30 лет в Америке стремятся к сокращению периодов, в особенности периода газования из тех соображений, что благодаря этому достигается уменьшение разности температур в течение цикла, а это должно повлечь за собой более равномерное газообразование и, следовательно, лучшее использование установки (ср. стр. 38). Как уже было сказано выше, необходимым условием для этого сокращения периодов была полная механизация переключения, что было причиной появления быстроработающих, а теперь часто и автоматических, приспособлений для переключения. По имеющимся сведениям, пропускная способность 1 м² поперечного сечения шахты может быть теперь принята равной 250—300 кг кокса в час; к этим цифрам приближается пропускная способность при работе на угле. При сравнении этих цифр с данными по газификации каменных углей в генераторах двойного газа, производительность которых по Schripke равна приблизительно 135 кг м² час, можно заключить, что производительность американских установок почти вдвое больше, чем германских. Fulweiler в упомянутом уже труде¹ говорит, что на основании данных, которыми он располагал о работе европейских генераторов двойного водяного газа, должен был прийти к заключению, что их пропускная способность значительно ниже, чем у американских установок тех же размеров. Конструкторам генераторов двойного водяного газа было бы полезно уделить серьезное внимание описанным выше достижениям американской техники. Возможно, что это побудило бы их к дальнейшему улучшению как конструкций, так и методов работы, к чему прежде всего должно бы относиться значительное сокращение периода газования. Большое повышение производительности при бесперебойной работе послужило бы стимулом

¹ Proc. of the Intern. Conf. on Bit. Coal., 1936, стр. 509.

к замене ретортного получения газа безостаточной газификацией углей.

Надежных данных о работе генераторов двойного газа очень мало. Strache в своей последней книге ¹ приводит подробный тепловой баланс установки двойного газа, основанный на 45-часовом опыте. За время опыта было прогазифицировано 8569 кг верхне-силезского угля в смеси с 1362 кг кокса. Высшая теплотворная способность угля была равна 6330 кал., он содержал 7,5% влаги, 8,5% золы и 28% летучих. Проба в трубке дала выход смолы 9,1%. Кокс содержал 21% воды, 9,1% золы и имел высшую теплотворную способность 5690 кал.

Всего было получено влажного двойного газа 14 690 м³ (при 27° и 738 мм давления) или 130 м³ двойного газа из 100 кг сырой смеси (что соответствует 165 м³ двойного газа из 100 кг смеси органической массы угля и органической массы кокса). Состав газа был следующий:

	%		%
CO ₂	7.8	H ₂	50,1
CO	33.8	N ₂	2,3
CH ₄	5.0	O ₂	0,2
C _n H _m	0.8		

	Кал.
Высшая теплотворная способность (по калориметру)	3260
» » » (вычисленная)	3245
Низшая теплотворная способность	3013
считая на 1 м ³ при 0° и 760 мм	
Перешло в газ 165 × 3260	537 900

Выход смолы 7,26% от веса прогазифицированного угля.

**Тепловой баланс генератора двойного газа по Strache
в расчете на 100 кг кокса**

А. Приход тепла

а) Теплосодержание:	Кал.	%
Топливо	1100	0,10
Пар	6390	0,59
Воздух	3400	0,32
	10800	1,01
б) Теплотворная способность:		
Топливо	1 064 500	98,99
Всего	1 075 300	100,00

Б. Расход тепла

а) Теплосодержание:		
Двойной газ	25 800	2,40
И-разлож. пар	15 800	1,46
Пары смолы	900	0,08
Газы горячего дутья	68 600	6,37
Шлаки	1200	0,10
	112 300	10,41

¹ Strache und Ulmann. Leitfaden der Technologie der Brennstoffe, Leipzig und Wien. 1927, стр. 277.

б) Теплотворная способности:		
Двойной газ	714 100	66,40
Газы горячего дутья	76 000	7,06
Смола	92 000	8,60
Углерод в уносе и шлаке	37 400	3,47
	<u>919 500</u>	<u>85,54</u>
Потери в окружающую среду	43 500	4,05
Всего	<u>1 076 500</u>	<u>100,00</u>
Коэффициент полезного действия:		
в двойном газе	—	66,40
в смоле	—	8,60
Коэффициент полезного действия	—	75,00

Коэффициент полезного действия газификации в этом случае довольно высок. Но следует иметь в виду, что здесь газифицировался не один каменный уголь, а с прибавкой значительных количеств кокса, облегчающего газификацию.

Доктор-инж. Vater¹ дает тепловой баланс и экономический подсчет, характеризующие работу установки двойного газа в Chemnitz. По его данным, из 100% введенного тепла (94,2% в угле и 5,8% в паре) получено:

	%
В двойном газе	61,5
в смоле	9,8
	<u>71,3</u>

Потери тепла были при этом следующие:

	%
В двойном газе	9,8
В газе горячего дутья	11,3
Горючее в шлаках	0,7
Излучение, утечки и пр.	6,9
	<u>28,7</u>
	<u>100,0</u>

На установке в Chemnitz из 1 т смеси 54% тощего орешка различного происхождения и 46% среднегерманского бурого угольного брикета, по данным Vater'a, получается 1370 м³ (0° и 760 мм) двойного газа с высшей теплотворной способностью 3100 кал. Первоначально вместо брикета применялся сырой бурый уголь.

По Strache² экономичность этой установки может быть значительно повышена путем простых улучшений, как например, более полным разложением пара и использованием тепла отходящих газов для получения пара, так что в двойном газе получится 71,6% от тепла, внесенного топливом.

¹ G. Vater, Studien zur Wärmewirtschaft des Doppelgasverfahrens. Gas- und Wasserfach, 1923, т. 66, стр. 615 и Entgasen u. Vergasen, 1926, стр. 77.

² Leitfaden der Technologie der Brennstoffe, 1927, стр. 271.

Учитывая результаты работы различных установок для получения двойного водяного газа, о которых будет сказано ниже, мы не можем разделять этих оптимистических взглядов.

На установке в Chemnitz, так же как и в случае, описанном Strache, газифицируется смешанное топливо. Полученные в обоих случаях результаты не могут, в виду этого, быть перенесены непосредственно на газификацию каменного угля без примесей. Следует учесть, что для отдельных сортов угля, обладающих благоприятными для газификации свойствами, технические показатели будут близки к приведенным выше, но в общем газификация одного каменного угля представляет большие трудности и дает менее хорошие результаты. На основании американского опыта коксу и легко отдающему летучие бурому углю приходится приписывать не только разрыхление слоя топлива, но и отдачу соседним слоям непрококсованного¹ топлива тепла лучеиспусканием, тепла, накопленного в скоксованном топливе. Это облегчает своевременное коксование и тем самым улучшает условия расщепления пара и образования газа.

Тепловой баланс упомянутой выше установки двойного газа в Chemnitz указывает на довольно плохое разложение пара; отношение разложившегося пара к неразложившемуся равно 1,03. По мнению Strache², это отношение можно повысить до 5,7—величины наиболее выгодной, как указывает работа других установок двойного газа — путем уменьшения скорости пара на 40%. При соответствующем увеличении диаметра шахты уменьшение скорости пара не вызвало бы снижения производительности газогенератора.

Strache основывает свои заключения на опыте работы коксовых генераторов водяного газа где «при незначительных скоростях пара, можно достичь почти полного разложения пара», но мы, учитывая ранее высказанные соображения, не можем перенести это суждение непосредственно на производство двойного водяного газа.

Если недостаточное разложение пара в самом деле является следствием слишком большой скорости, то уменьшение последней улучшит, конечно, газообразование. Но оно поведет или к запаздыванию дистилляции, вследствие недостаточного подвода тепла в камеру сухой перегонки, или к неблагоприятным условиям для передачи тепла коксуемому углю; поэтому, уменьшение скорости пара не даст удовлетворительного газообразования.

Дальше Strache указывает, что уменьшение скорости пара на 40% не потребует ни в каком случае для получения того же количества газа удвоения сечения шахты. При переходе на степень разложения пара 85% (отношение 5,7) для сохранения производительности необходимо будет увеличить сечение шахты только в 1,47 раза. Отсюда видно, что в этом заключается довольно большое понижение удельной производительности газогенератора.

¹ В русском языке нет термина, соответствующего немецкому «entgasen», почему и приходится прибегать к не вполне соответствующему понятию — «коксование». Прим. р-д.

² Strache-Ulmann, Technologie der Brennstoffe, стр. 272.

Однако предположение Strache о том, что производительность генератора при применении маленьких скоростей всегда может быть улучшена, путем увеличения сечения шахты, опытом установки в Schemnitz не оправдывается. В упоминавшейся уже статье¹ Vater говорит по этому поводу: «Во всяком случае, процент пара, проходящего неразложенным через генератор, очень велик. При всех наших попытках вдуть меньшие количества пара и достигать таким путем лучшего разложения, производительность установки значительно понижалась и весьма возможно, что большое сечение генераторов высокой производительности оказывает здесь неблагоприятное влияние». То обстоятельство, что генераторы двойного водяного газа большого сечения работают хуже, чем генераторы с малым диаметром, подтверждается также и результатами работы построенных позднее установок.

Это можно объяснить, как будет показано дальше (стр. 72), главным образом, неблагоприятными условиями для своевременного подвода к углю требующихся ему в швельшахте больших количеств тепла. На основании изложенного ранее (стр. 55) можно понять, что в данном случае для своевременного завершения процесса коксования и для достижения, благодаря этому, приемлемой производительности следовало бы работать со значительно большим избытком пара, служащего переносчиком тепла.

О результатах работы установок двойного водяного газа на одном буром угле до сих пор известно очень мало. Только недавно R. Miksch опубликовал результаты опытов, поставленных им совместно со Strache в 1927 г. по инициативе австрийской фирмы Alpine-Montangesellschaft. Опыты были поставлены на генераторе типа Strache на газовом заводе в Марбурге (Югославия); газифицировался лигнит (из Köflach'a). Приводим здесь, в основном, имеющие общий интерес данные о газификации лигнитных бурых углей.

«Лигнитный бурый уголь без примесей до сих пор считался мало пригодным для получения двойного водяного газа. Причиной тому, с одной стороны, был повышенный расход тепла, из-за высокой влажности, а с другой стороны, склонность угля рассыпаться на мелкие кусочки, вследствие чего свободное сечение шахты так сильно уменьшалось, что затруднялся проход воздуха, а это вызывало падение производительности и ухудшало выход газа. В виду этого почти все заводы, применяющие бурый уголь для получения двойного водяного газа, стали смешивать его со спекающимся каменным углем для того, чтобы в нижней части генератора получать кусковой кокс.

Лигниты имеют свойство давать сильную усадку при сушке; лигнит из Köflach'a уменьшается в объеме на 20—24%. Если такой уголь привести в соприкосновение с нагретым воздухом, дымовыми газами или перегретым паром, то в начале сушки вода отдается из наружного слоя куска угля. Этот слой дает усадку, но так как умень-

¹ Gas- und Wasserfach, 1923, стр. 646.

шению объема препятствует внутреннее ядро еще сырого угля, то наружный слой трескается и отваливается. Процесс сушки распространяется на следующий слой и так далее до тех пор, пока кусок не высохнет, но одновременно с этим уголь распадается на мелочь.

Совсем иначе протекает сушка лигнитов по методу проф. Fleissner'a. Сырой лигнит сперва равномерно прогревается насыщенным паром в автоклаве под давлением 12—15 атм. После того как куски угля прогрелись до самого центра, пар из автоклава перепускается в другой автоклав, куда загружен свежий уголь. При понижении давления в первом автоклаве из кусков угля выходит влага, находящаяся в парообразном состоянии; она используется для подогрева угля во втором автоклаве. Уже во время подогрева из угля выделяется вода в виде жидкости, что объясняется коагуляцией коллоидов угля. Вследствие прогрева угля насыщенным паром под давлением обеспечивается равномерная усадка по всему объему куска и уголь при этом не рассыпается на мелочь; кусковая форма угля сохраняется. Выделение части воды в жидком виде требует меньшего расхода тепла и, кроме того, вытекающая вода, так же как и конденсационная, вымывает из угля часть минеральных веществ, благодаря чему зольность угля уменьшается. Уголь из Köflach'a подсушивается этим способом с 35—36% влажности до 13—15%. При сушке изменяется структура угля. На поверхности имеются еще трещины, но уголь имеет такую прочность, что не крошится даже и при лежании на воздухе. Кроме того, уголь сохраняет прочность и при нагревании и не распадается в пыль, что весьма важно для генераторного процесса».

Высушенный таким способом уголь так же легко газифицировался в генераторе двойного газа в Марбурге, как и обычно применяемая смесь лигнита с верхнесилезским каменным углем. Наиболее существенные результаты опытов приведены в помещенных ниже сводках¹.

Результаты, полученные при газификации бурого угля в генераторе двойного газа типа Strache (16-часовая работа)

Уголь: влажность 12,9%, зольность 9,3%, выход кокса 38,4%, летучие 39,4%, высшая теплотворная способность 5220 кал./кг.

Дистилляция в трубке: выход газа 17,4 м³/100 кг, теплотворная способность газа из 1 кг угля 756 кал., выход смолы 9,1%; выход сырого кокса 51,3%.

Элементарный анализ: углерод 52,61%, водород 4,15%, горючая сера 0,48%.

Анализ шельгаза: уд. вес газа 1,117 кг/м³, содержание углекислоты в газе 29,0%.

Состав двойного газа, полученного за 16 часов работы.

CO₂ — 8,4%, CO — 34,2%, CH₄ — 0,3%, C_nH_m — 0,2%, H₂S — 0,5%, H₂ — 38,1%,
O₂ — 0,3% и N₂ — 11,7%.

Содержание горючего в шлаке 29,3%.

Средняя теплотворная способность очищенного газа была равна 3030 кал. м³. Среднее содержание CO₂ в газах горячего дутья — 5,4%.

Выход двойного газа из 100 кг сырого угля был 76,4 м³ (при 0° и 760 мм).

¹ Gas- und Wasserfach, 19/1 1929, стр. 53

Тепловой баланс

А. Приход тепла	%
Теплотворная способность угля	98,5
Теплосодержание угля	0,1
» воздуха	0,1
» пара	1,3
	100,0
Б. Расход тепла	
Теплотворная способность двойного газа	44,1
» » смолы	11,1
» » горючего в плаках	3,2
» » » » уносе	0,2
Теплотворная способность газов горячего дутья	16,4
Теплосодержание генераторного и дымового газов	8,2
» двойного газа	0,3
Теплота испарения влаги угля	1,4
» сухой перегонки угля	6,5
Излучение по разности	5,6
	100,0
Коэффициент полезного действия определяется по следующим цифрам:	
Теплотворная способность двойного газа	44,1
» » смолы	11,1
» » горючего в плаках и отборе	3,2
Теплотворная способность газов горячего дутья	16,4
	77,8

В виду того, что физическое тепло газа горячего дутья и дымового газа может быть использовано на 70%, практически коэффициент полезного действия может быть повышен, как сказано в статье, на 5,7%, т. е. до 83,5%.

На основании этих цифр можно заключить, что термический коэффициент полезного действия весьма высок. Однако для газовых заводов в большинстве случаев прежде всего имеет значение количество тепла, перешедшее в газ. Коэффициент полезного действия газификации — 44% — очень невелик, хотя процесс газификации протекал хорошо, так как, согласно опубликованным данным, поступавший в генератор пар р-злагался практически полностью. Сравнительно неблагоприятное использование тепла для газообразования мы объясняем тем, что углекислота газов горячего дутья, вследствие высокой реакционной способности бурогоугольного кокса, слишком сильно восстанавливается, поэтому содержание тепла в газах горячего дутья значительно выше, чем при газификации каменного угля. Возбуждавшийся неоднократно в связи с исследованиями горючести кокса вопрос о том, является ли легкогорючий кокс более подходящим для получения водяного газа, чем трудногорючий, должен быть на основании рассмотренных опытов решен в пользу последнего. Здесь следует упомянуть еще о другом обстоя-

¹ В русской технической литературе не принято относить к полезному действию потерю горючего в плаках, даже если бы некоторое количество угля и удалось вернуть из них путем отбора. Теплотворная способность газов горячего дутья полностью не может быть использована, а потому и не может полностью входить в к. п. д. *Прим. ред.*

тельстве, связанном с этим вопросом. Как на установке в Марбурге, так и вообще на установках двойного газа производительность генератора при газификации бурого угля, по сравнению с производительностью на каменном угле или его смеси с бурым, или вообще не повышается, или же может быть повышена весьма незначительно, хотя, в виду большей реакционной способности бурого угля, можно было бы ожидать значительного увеличения производительности. Вероятно, это связано с тем, что, вследствие более сильного восстановления CO_2 во время горячего дутья, температура в зоне газификации не поднимается так высоко, как при каменном угле. Благодаря этому, вызываемое более высокой реакционной способностью быстрое разложение пара выравнивается более низкой температурой.

Установка двойного водяного газа системы Pintsch

Другим испытанным на практике генератором является генератор акционерного общества Julius Pintsch в Берлине. Сам генератор отличается от генератора Strache тем, что дистилляционная реторта

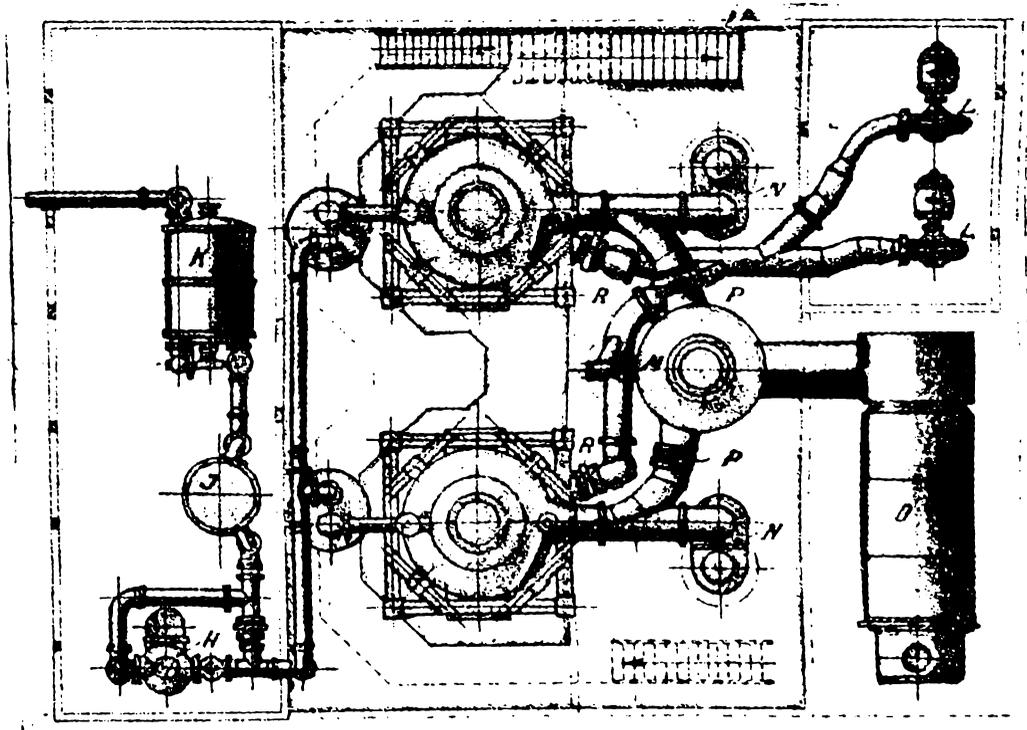


Рис. 13. План к рис. 13 а (стр. 64).

находится не внутри шахты генератора, а над ней, в виде высокой шахты, расположенной выше отвода для газов горячего дутья. При таком расположении внешний обогрев дистилляционной реторты газами горячего дутья отпадает.

На рис. 13 и 13а показана установка системы Pintsch из двух генераторов с часовой производительностью по 1500 м^3 газа. Каждый генератор двойного газа состоит из генератора А с вращающейся

решеткой и надстроенной швельшахтой *B*. Обе шахты выложены шамотом. Зола и шлаки механически переносятся в зольные мешки *C*, из которых через определенные промежутки времени выгружаются в вагонетки *D*. Над швельшахтой находится загрузная воронка *E* с двойным затвором. Уголь поступает в воронку из бун

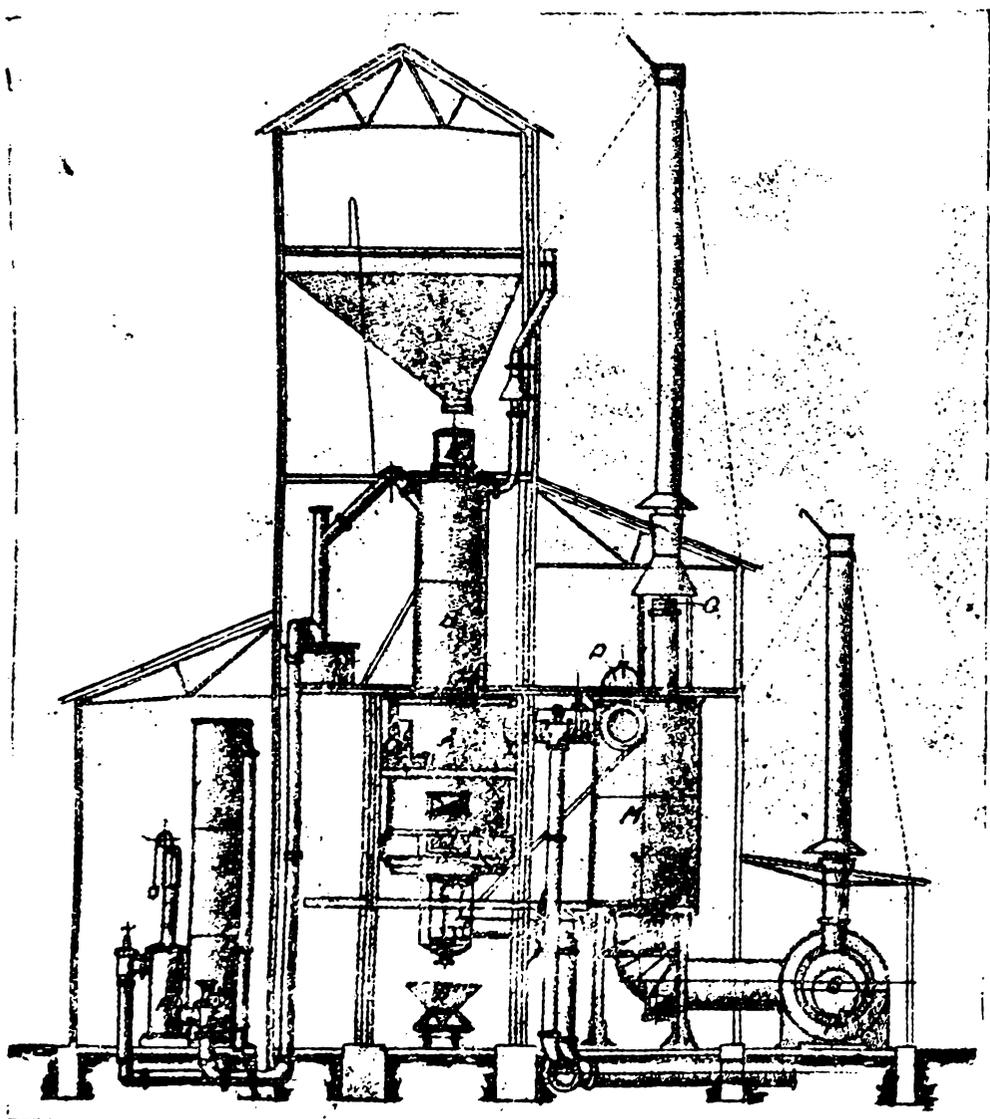


Рис. 13а. Установка двойного водяного газа системы Julius Pintsch A.-G.

жера *F*. Верхняя часть швельшахты соединяется с выхлопной трубой, служащей для отвода газов при остановке генератора, и с трубой, ведущей к гидравлике *h*. Двойной газ, пройдя через гидравлику, попадает в смолоотделитель пелуз *II*, снабженный обводным газопроводом. Из смолоотделителя газ поступает в трубчатый холодильник *J*, а оттуда во вращающийся аммиачный промыватель *K*.

Для горячего дутья имеются два вентилятора высокого давления *L*, которые непосредственно соединены с электромоторами. Один из вентиляторов запасной. Воздухопровод, идущий под решетку

генератора, имеет ответвление, подающее воздух в камеру сжигания *M*, к которой примыкает паровой котел *O*. Каждый генератор может быть соединен со скруббером для отходящих газов *N*, через который газы выпускаются наружу, когда котел *O* выходит из строя. Газы горячего дутья выходят ниже швелльшахты и поступают в камеру *M*, где они сжигаются, и, пройдя через котел, попадают в дымовую трубу. В позднейших установках камеры сжигания *M* служили для перегрева пара при газовании. О работе такой установки из трех генераторов, диаметром по 3 м, на газовом заводе Dresden-Reick имеется обстоятельный отчет Schroth'a¹. О получении двойного водяного газа из бурого угля в генераторах системы Pintsch см. стр. 66 и след.

Генераторы двойного водяного газа «System Stassfurt»

Несколько лет тому назад фирма «Vertriebsgesellschaft für Doppelgasgeneratoren» в Leopoldschall-Stassfurt разработала конструкцию генератора, которая подходит, главным образом, для маленьких газовых заводов. Своеобразно в этой конструкции расположение парового котла, который окружает дистилляционную реторту по всей ее высоте (рис. 14).

Кокс, лежащий в шахте газификации, разогревается дутьем высокого давления. К газам горячего дутья под дистилляционной ретортой подмешивается вторичный воздух. Продукты горения проходят вверх по пространству между ретортой и стенками котла, а затем опускаются вниз по системе труб внутри котла и отсюда выводятся наружу. Нижняя часть подвешенной реторты, подверженная действию сравнительно высокой температуры, изготавливается из жа-

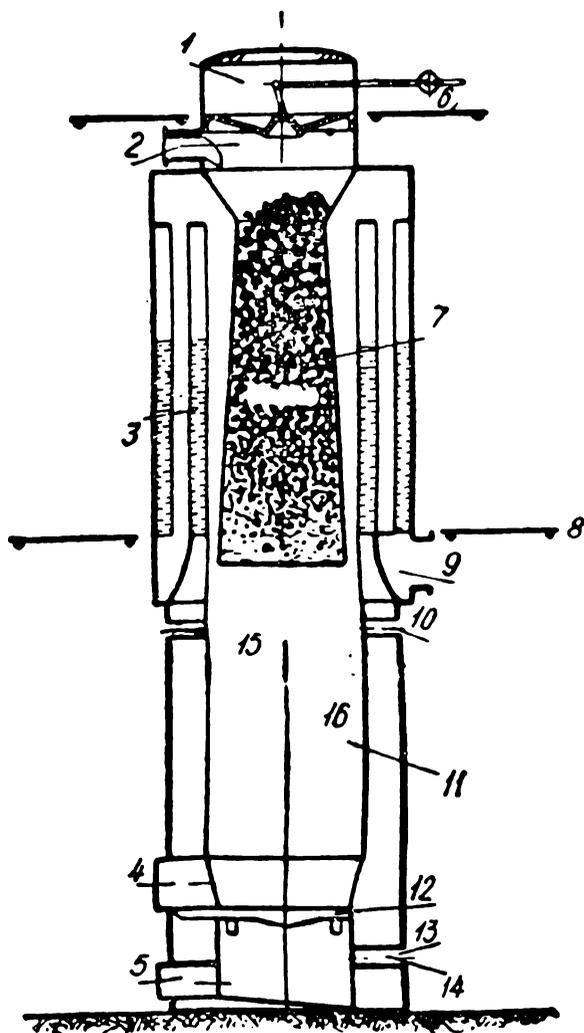


Рис. 14. Генератор двойного водяного газа «System Stassfurt».

1 — наполняющая воронка, 2 — для выхода газа, 3 — паробразователь, 4 — дверь для шлака, 5 — дверь для золы, 6 — верхняя рабочая площадка, 7 — реторта для удаления газа, 8 — нижняя рабочая площадка, 9 — отходящие газы, 10 — впускное отверстие для вторичного воздуха, 11 — шахта генератора, 12 — решетка, 13 — подводящий паропровод, 14 — впускное отверстие для нижнего дутья, 15 — полукokes, 16 — кокс.

¹ G. W. F. Sonderheft, 24/V 1930, стр. 18.

роупорного железного сплава. Вентиль, предусмотренный на газопроводе отходящего газа, шибер на воздухопроводе и паровой вентиль служат для регулировки периодов газования и дутья. Переключение вентиляей производится механизмом для управления. Обслуживание очень просто и на установке из трех генераторов достаточно одного рабочего. Для газификации применяется каменный уголь, к которому может быть примешан кокс или коксовая мелочь. Высшая теплотворная способность газа из каменного угля была равна 3250 кал./м³, а низшая 3000 кал./м³ (при 0° и 760 мм). Получающаяся смола может служить для дальнейшего повышения теплотворной способности газа.

Генераторы этой системы установлены на газовых заводах в Aschersleben на 250 м³ часовой производительности и в Harzgerode на 50 м³ час. Бесперебойная работа этих генераторов так же, как и описанных выше маленьких английских установок, объясняется, главным образом, небольшим диаметром шахты.

Вслед за первыми опытами по получению светильного газа из бурого угля, поставленными недавно в среднегерманском буроугольном районе, на газовом заводе в Дрездене были поставлены опыты по газификации буроугольных брикетов без примесей в генераторах двойного газа системы Pintsch. Об этих опытах имеется сообщение директора газового завода К. Schmidt'a¹. Газифицировался так называемый газовый брикет с завода Anhaltische Kohlenwerke. Теплотворная способность брикета—5530 кал. Состав его следующий:

	%		%
Влажность	11,27	Выход кокса	57,70
Легучие	31,03	Золь	9,80

Анализ по Fischer'у дал:

Кокс	51,72
Смола	12,20
Подсмольная вода	16,80
Газ (при 15° и 750 мм)	135,20 л/кг.

В приведенной ниже табл. 4 столбец I относится к безостаточной газификации, в столбце II приведены для сравнения данные дистилляции в горизонтальной реторте, а в столбце III — в вертикальной. Выход смолы, который при дистилляции в реторте (столбец II) был равен 4,61 кг на 100 кг брикета, при получении двойного газа оценивается в 7,2⁰/₆. Точный учет количества смолы в этом случае так же, как и при дистилляции в вертикальной реторте, был затруднителен, вследствие мазеобразной консистенции ее.

В упомянутом сообщении указывается еще на то, что наиболее благоприятные условия для газификации брикета были достигнуты приблизительно при тех же продолжительностях периодов газования и дутья, как и при нормальной работе на смеси каменного угля с коксом, хотя в зоне газификации температура была значительно ниже, чем в случае работы на смешанном топливе.

¹ Gas- und Wasserfach, 1/XII, 1928, стр. 157.

	I	II	III
Выход газа из 1 т брикетов в м ³ (0° и 760 мм)	845	398	850
Уд. вес (воздух=1)	0,665	0,595	0,714
CO ₂ %	13,0	12,0	20,70
C _n H _m %	—	2,20	1,60
O ₂ %	—	0,20	—
CO%	29,60	21,70	17,10
CH ₄ %	6,90	14,30	20,60
H ₂ %	40,90	43,50	32,70
N ₂ %	9,60	6,30	7,30
Высшая теплотворная способность (0° и 760 мм)	3050	430	3800

Более холодный ход генераторов при газификации брикетов объясняется так же, как и в описанных выше опытах с подсушенным лигнитом в Марбурге (стр. 63). В обоих случаях и в остальном так же наблюдается хорошее совпадение результатов. Коэффициенты полезного действия газификации при равной теплотворной способности газов мало отличаются друг от друга (46,6% против 44,4% в Марбурге), только содержание CO₂ при газификации брикетов было приблизительно на 4,5% выше, чем при лигните. Следует отметить, что полученные результаты хорошо совпадают с результатами опытов Drawe по газификации бурого угля брикетов кислородом в генераторе со швельшахтой. В этом случае, о котором речь будет ниже (гл. VI), коэффициент полезного действия газификации, при несколько более низкой теплотворной способности газа (2983) и при выходе 850 м³, был только немного выше (50,5%), чем в обоих рассмотренных случаях.

Тригазгенератор фирмы Dellwik-Fleischer-Wassergasgesellschaft

Тригазгенератор, разработанный фирмой Dellwik-Fleischer-Wassergasgesellschaft во Франкфурте-на-Майне через несколько лет после появления способа Strache, предназначен также для получения двойного водяного газа при безостаточной газификации угля с одновременным получением побочных продуктов. Выделение последних должно производиться в дистилляционной реторте с внутренним обогревом. В этом способе впервые обнаруживается стремление к более сильному обогреву дистилляционной реторты только изнутри. Процесс протекает в высокой шахтной печи (рис. 15), состоящей из двух частей. Нижняя широкая часть является шахтой газификации, а более узкая верхняя — шахтой дистилляции. Основное горячее дутье ведется не снизу, а из того места, где одна шахта переходит в другую. Воздух проходит слой кокса сверху вниз.

Кроме того, одновременно ведется еще вспомогательное дутье через нижнюю часть слоя, содержащую значительные количества воли и шлака. Это дутье ведется попеременно с двух сторон поперек шахты, разделенной особым порогом, при чем направление его меняется каждый период. После горячего дутья через всю высоту коксового слоя продувается водяной пар, который впускается с той стороны шахты, с которой во время предыдущего дутья вдувался воздух.

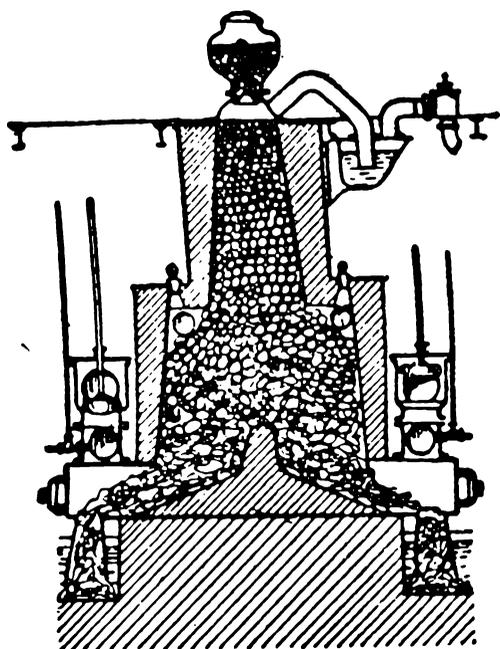


Рис. 15. Тригазгенератор системы «Dellwik-Fleischer-Wassergasgesellschaft».

Дальнейшая особенность процесса заключается в том, что при трудно дистиллирующихся углях газовый поток, вступающий во время газования в верхнюю половину генератора, дополнительно подогревается. Для этой цели у основания дистилляционной шахты впускается небольшое количество воздуха и сжигается незначительная часть водяного газа. Тригазгенератор был позднее приспособлен для получения первичной смолы. По сообщениям фирмы в таких генераторах можно газифицировать и малоценные каменные и бурые угли. На установке в Gladbeck Brauck газифицировался спекающийся каменный уголь в смеси с рейнским бурым углем¹.

Установка, построенная на заводе Frankfurter Gasgesellschaft могла работать удовлетворительно только на угле из одного определенного рудника и поэтому она была оставлена².

Тригазгенераторы не оправдали надежд, которые возлагались на них конструкторами. Возможно, что конструктивное выполнение при механическом золоудалении будет несколько сложно, так как для каждой из двух половин шахты потребуется по вращающейся решетке. Дальнейшим недостатком, может быть даже более серьезным, является трудность, которую при применении механической решетки, представит соединение нижней части шахты с теплообменником. В описании способа отмечается, что газы горячего дутья выходят сравнительно холодными, и что значительная часть заключенного в них тепла используется в паровом котле. Осуществлена ли эта мысль с таким же успехом — неизвестно. Производственный опыт работы на каменноугольных газогенераторах показал, что с газами горячего дутья тепла уходит гораздо больше, чем при

¹ Journ. f. Gasbel., 1919, стр. 261.

² Gas- und Wasserrfach, 1926, стр. 546.

работе на коксе. Теперь уже всеми признано, что полное использование этого тепла является необходимым условием для получения удовлетворительного термического коэффициента полезного действия установки. Новейшие стремления направлены к тому, чтобы вернуть это тепло в генератор в форме пара и при том при возможно более высокой температуре, так как только при этом условии возможно своевременное завершение процесса дистилляции. Дальнейшим недостатком описанного процесса является то, что при газовании пар проходит только по одной половине коксовой колонны и поэтому большая часть сечения шахты не используется для газообразования. Кроме того, горение кокса должно протекать, главным образом, вблизи от верхнего впуска воздуха, поэтому следует принять, что выгорание горючего из золы будет недостаточным, особенно тогда, когда топливо опускается неравномерно, что легко может случиться при шлаковании.

Попыткой улучшить процесс в тригазгенераторе является запатентованный фирмой Dellwik-Fleischer-Wassergasgesellschaft (патент 357520) способ, по которому пар и водяной газ прогоняются через две соединенные последовательно шахты газификации, снабженные дистилляционными камерами, при чем горячее дутье ведется через каждую шахту в отдельности. К водяному газу перед вступлением его в дистилляционную шахту второго генератора подмешивается некоторое количество воздуха. При таком прохождении газов холодного дутья через два слоя кокса газообразованию, конечно, улучшается. Но улучшаются ли по сравнению с тригазгенератором с одной шахтой газификации и условия обогрева дистилляционной шахты — это является еще большим вопросом. Следует еще отметить, что в этом способе горячее дутье ведется просто снизу вверх, а не так, как в тригазгенераторах. Применяемая в тригазгенераторах прибавка воздуха к водяному газу с целью повышения его температуры перед входом в шахту дистилляции не получила большого распространения. По сообщению Strache¹, в его генераторе двойного газа во время газования к водяному газу также должно было прибавляться некоторое количество воздуха. Однако этому мероприятию как-будто не приписывалось решающего значения для проведения внутреннего обогрева дистилляционных камер генераторов двойного газа.

Устройства для устранения малоактивного или «мертвого» центрального ядра в генераторах двойного газа

Первые генераторы двойного газа, которые можно считать опытными, имели небольшой диаметр. Работа на построенных позднее установках с большим сечением шахты представила ряд затруднений. Вскоре было обнаружено, что эти затруднения объясняются образованием малоактивного или «мертвого» ядра внутри слоя топ-

¹ Journ. f. Gasb-l, 1920, стр. 230.

лива. Такое же явление было обнаружено и на американских установках водяного газа при переходе с кокса на каменный уголь. Способы, которыми пытались устранить образование этих мертвых ядер, ясны из приведенного ниже описания двух предложенных конструкций.

Одна из этих конструкций предложена Strache и является предметом германского патента 382611. Предложение Strache, в основном, заключается в устройстве ядра внутри камеры газификации под дистилляционной ретортой (рис. 16). По описанию, приведенному в патенте, в генераторах с опущенной дистилляционной ретортой для прохода в верхнюю часть генератора образовавшихся внизу

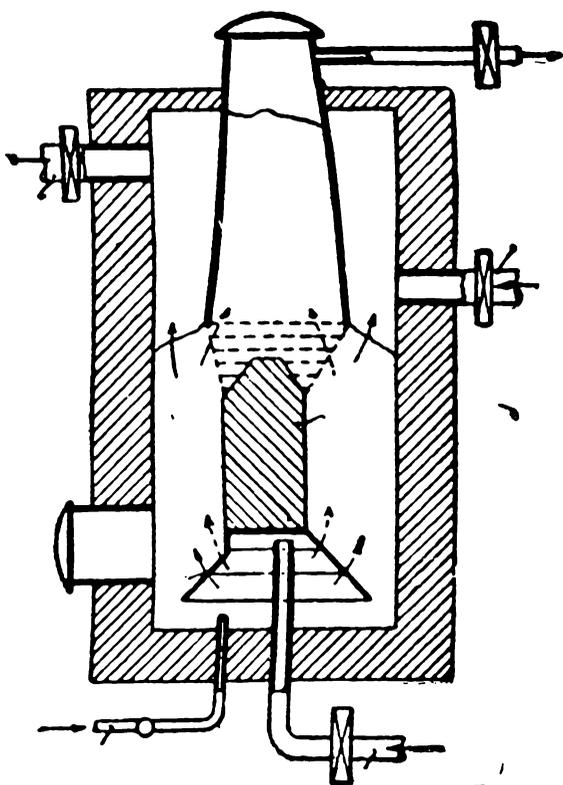


Рис. 16. Генератор двойного газа с внутренним ядром системы Strache.

газов остается только сравнительно небольшое кольцевое пространство между стенками нижней шахты и дистилляционной ретортой. В камере газификации тепло развивается, главным образом, в наружных слоях, тогда как ядро остается сравнительно холодным. Пар вдувается под решетку и образовавшийся водяной газ проходит внутрь реторты, производя дистилляцию угля. Разложение пара очень несовершенно, так как он быстро попадает в более холодное внутреннее ядро. При устройстве же внутри генератора специального тела малоактивное холодное ядро топлива устраняется и водяной пар при газовании вынужден идти через раскаленный слой кокса.

Только пройдя через этот слой, водяной пар, превратившийся уже в водяной газ, попадает в середину дистилляционной реторты, откуда увлекает продукты дистилляции.

Устройству такого ядра, которое, в противоположность центральным колоннам американских генераторов (стр. 22), не выходит за пределы зоны газификации, нельзя приписывать сколько-нибудь значительного влияния на своевременное проведение процесса дистилляции в реторте.

Фирма Dellwik-Fleischer-Wassergasgesellschaft рекомендовала позднее для получения двойного водяного газа с теплотворной способностью около 3200 кал. свою «установку для получения двойного газа» с использованием тепла, изображенную на рис. 17.

В этой установке пар получается в котле, примыкающем к перегревателю; он сильно перегревается в перегревателе и поступает под решетку генератора. Отвод газов горячего дутья через штуцер, расположенный внутри шахты (патент 350443), имеет целью устранение внутреннего трудно коксующегося и газифицирующегося ядра топлива, которое легко образуется при боковом отводе газов, через стенку шахты.

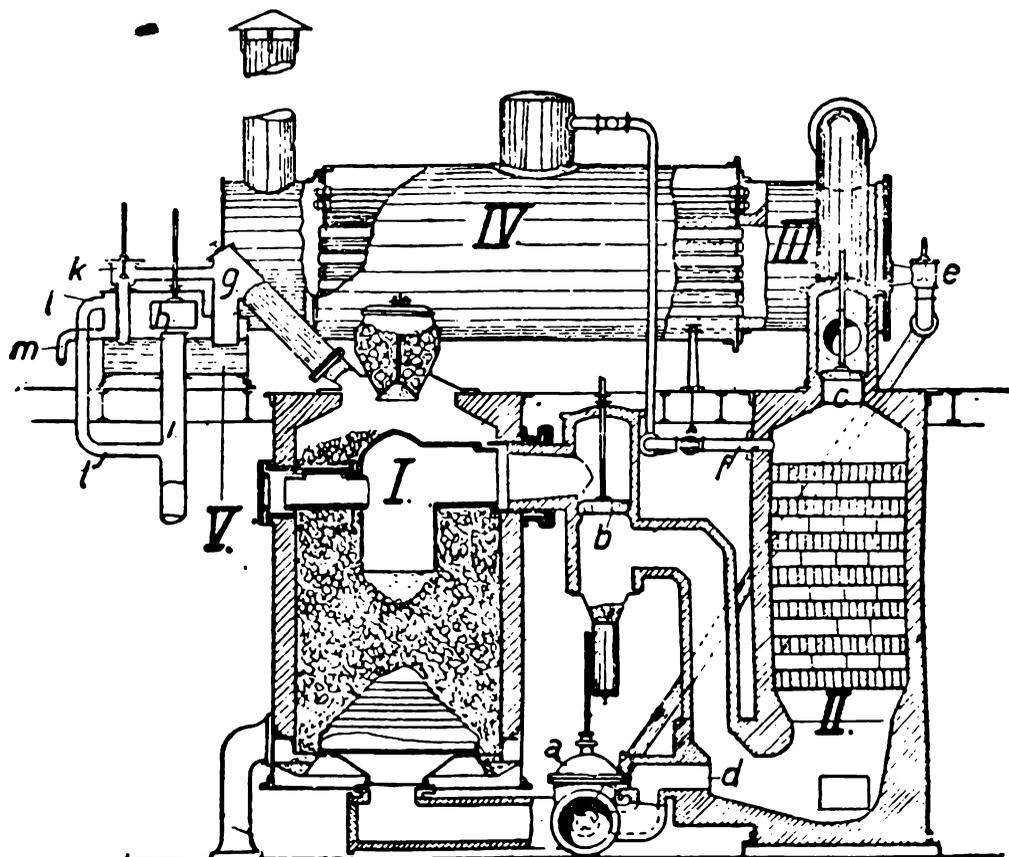


Рис. 17. Установка двойного газа с использованием отходящего тепла системы Delwik-Fleischer-Wassergasgesellschaft.

- I. Генератор двойного газа.
- II. Перегреватель пара.
- III. Камера горения.
- IV. Утилизация отходящего тепла.

a—главный воздушный шибер, *b*—клапан горячего газа, *c*—клапан перегревателя отходящего газа, *d*—вторичный воздух или перегретый пар, *e*—третичный воздух, *f*—насыщенный пар, *g*—двойная газовая погружающаяся труба, *h*—колообразный затвор, *i*—отход двойного газа, *k*—труба для отгоночных газов, *l*—газопроводы для отгоночных газов, *m*—спуск.

Оба эти способа, предназначенные для разрешения проблемы устранения неактивного или мертвого ядра, опускающегося глубоко в зону газификации, не имели практического значения. Nübeling¹ и Mezger объясняют запаздывание дистилляции, ведущее к образо-

¹ Gas- und Wasserfach, 1930, стр. 2.

ванню мертвого ядра в шахте газификации, также преимущественным течением газов горячего дутья по наружным зонам. Кроме того, они считают, что образующийся при газовании водяной газ стремится преимущественно в наружные зоны дистилляционной реторты. По их мнению такому течению газов при обычном расширении дистилляционной реторты книзу благоприятствуют пустоты у стенок реторты, образующиеся вследствие усадки нижней части угольной колонны. Для устранения этих недостатков они рекомендуют¹ полное отделение угольной колонны в дистилляционной шахте от коксового слоя в камере газификации и предлагают для этой цели устройство разгрузочного цилиндра, несущего на себе всю колонну топлива в дистилляционной реторте. Практическое осуществление этого приспособления должно было представить довольно значительные затруднения и едва ли удалось бы получать при одном только этом приспособлении равномерную высоту слоя кокса в шахте газификации, так что потребовалось бы специальное механическое приспособление для выравнивания слоя кокса. Кроме того, этот цилиндр будет производить известную шуровку лежащих над ним слоев топлива, что должно привести к нежелательному образованию пыли, в особенности тогда, когда влияние этой шуровки будет распространяться до слоев угля, находящегося еще в размягченном состоянии. Позднее, на опыте, полученном на генераторе двойного водяного газа в Preston, мы увидим, насколько такая шуровка может быть вредна. Пространственное отделение дистилляции от газификации не может быть рекомендовано, вследствие значительно менее благоприятных условий подвода тепла в шахту дистилляции и полного устранения непосредственной передачи тепла от горячих слоев кокса; хотя здесь следует отметить, что в отдельных конструкциях такое устройство себя и оправдало. Нельзя недооценить значения передачи тепла в дистилляционную реторту теплопроводностью и лучеиспусканием нижних горячих слоев. При дальнейшем развитии генераторов двойного газа было установлено, что во избежание образования неактивного ядра необходимо обеспечить равномерное проникание газов по всему сечению шахты газификации. Производственный опыт все больше и больше приводил к заключению, что тепло водяного газа, которое может быть использовано в дистилляционной шахте, недостаточно для обогрева внутренней части слоя угля, если для обогрева применяется только перенос тепла газами и не используется излучение и конвекция в самом слое топлива. Передача тепла от газов к углю, находящемуся в стадии дистилляции, значительно хуже, чем к коксу; на это обстоятельство до сих пор обращалось мало внимания. Во время дистилляции каждый кусок окружен оболочкой из газов и паров, препятствующей непосредственному соприкосновению горячих газов с поверхностью куска. Выделяющиеся газы и пары уносятся обогревающим газом раньше, чем они примут температуру последнего, а их место занимают новые

¹ Германский патент 480189.

продукты дистилляции, так же имеющие более низкую температуру, чем обогревающий газ. Из этого следует, что при внутреннем обогреве так же, как и в обогреваемых снаружи ретортах для получения светильного газа, прогревание слоя до середины может быть достигнуто только тогда, когда во внутренние части шахты передается излучением и теплопроводностью тепло от прококсованных уже наружных слоев топлива. Запаздывания дистилляции угля во внутренних слоях следует поэтому особенно опасаться при дистилляционных ретортах большого диаметра.

Это соображение должно было бы привести к применению генераторов двойного газа небольшого диаметра, работа на которых, как уже было упомянуто выше, представляет меньше затруднений. Но при таких установках как капитальные затраты и эксплуатационные расходы, так и потери тепла излучением при одинаковой производительности выше, чем для генераторов большого диаметра. В виду этого теперь пытаются улучшить конструкции генераторов больших размеров путем разделения дистилляционной реторты на отдельные части. Для этой цели или устраивают в ретортах поперечные стенки, или же над шахтой газификации помещают две или несколько дистилляционных реторт. Таким путем улучшаются условия излучения тепла от крайних слоев внутрь шахты.

Разделение дистилляционной шахты облегчает, кроме того, шуровку внутренних слоев топлива, которая в большинстве случаев в производстве двойного водяного газа признается целесообразной. При большом диаметре шахты шуровка вручную едва ли осуществима, так как даже и при маленьких шахтах, если работа ведется с обычным, сравнительно высоким слоем топлива в дистилляционной реторте, она, как показала практика, требует большого расхода физической силы. Один конструктор подобных установок уверял автора, что только после значительного снижения слоя топлива в дистилляционной реторте, по сравнению с применявшимся ранее, уменьшился до терпимых размеров расход работы на шуровку, благодаря чему ускорилась и дистилляция угля во внутренних частях загруженного слоя.

За последние двадцать лет генераторы, в особенности в Америке, все больше и больше снабжаются приспособлениями для механической шуровки, загрузки и удаления золы. Преимущества механизации особенно значительны при дорогой рабочей силе, с чем в Америке начали считаться уже давно, а теперь этот вопрос стоит остро и в Германии. На угольной конференции в Питтсбурге¹ в 1926 г. был сделан обстоятельный доклад о таком механизированном газогенераторе водяного газа, который оправдал себя не только при работе на коксе, но и при газификации битуминозного угля. Одним из основных преимуществ этого генератора является его необыкновенно высокая производительность, которая объясняется очень равномерным состоянием слоя, что зависит от непрерывной

¹ Proceedings of Intern. Conf. on Bit Coal (K 26), стр. 535 и 561.

загрузки, шуровки и золоудаления. Докладчик отметил, что, благодаря непрерывной шуровке, при газификации угля не наблюдалось образования мертвого ядра в слое топлива, и устройство внутренней излучающей колонны было излишним (ср. стр. 23). механическая шуровка и загрузка генераторов двойного водяного газа неоднократно предлагалась, и в отдельных случаях уже испробована на

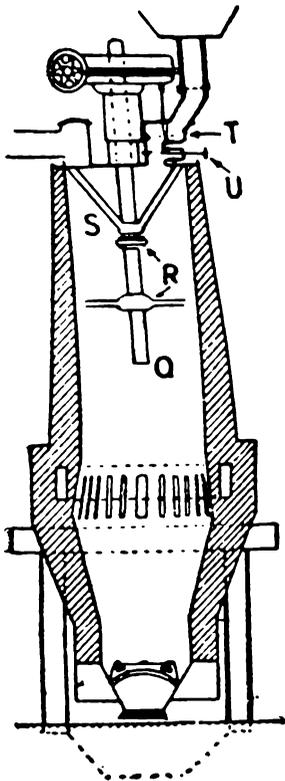


Рис. 18. Механическая шуровка на генераторе двойного газа в Preston.

практике. Однако осуществление этой мысли для генераторов с большим диаметром шахты представляет значительные трудности. При большой высоте шахты выполнение подвижных частей, расположенных в глубоких слоях угля, затруднительно и железные части очень быстро изнашиваются в огневой зоне.

Только недавно были опубликованы подробные результаты испытания шуровочного приспособления в швельшахте английского генератора двойного газа системы Travers и Clark, который подробнее будет описан в главе III. Эти наблюдения очень важны, так как делают сомнительной пригодность шуровочных приспособлений для многих случаев. На газовом заводе Preston было решено применить механическую шуровку после того, как не удалось добиться своевременного окончания дистилляции угля с большим содержанием мелочи и пыли. Первоначально дистилляционная шахта сильно расширилась книзу и имела внизу диаметр 1,8 м в свету (см. рис. 29)

Как показано на рис. 18, шуровочное приспособление состоит из опущенного в дистилляционную шахту пустотелого вала *Q*, проходящего через подшипник *S*. На вале сидят две шуровочные лопасти *R*. Такое устройство потребовало замены прежней загрузочной воронки (см. рис. 29) новым боковым загрузочным приспособлением; кроме того, обмуровка шахты была заменена по всей высоте на цилиндрическую. Шуровочное приспособление изготовлено из жароупорной стали и охлаждается водой; для его привода служит электромотор в 3 HP; для передачи движения валу имеются цепь и червяк. Мотор приводит в действие также и дозирующий барабан загрузочного приспособления. Лопасти находятся на глубине 0,9 и 1,8 м ниже крышки. Сперва слой топлива держался на 65 см ниже крышки генератора, так что лопасти работали в слое топлива на глубине 0,25 и 1,15 м. Через 12 час. после установления режима при горячем дутье было обнаружено, что сопротивление слоя возросло и период дутья должен быть удлинен. Спустя некоторое время, слой вообще перестал пропускать воздух и по открывании шлаковой

дверки было установлено, что генератор заполнен мелкозернистым раскаленным коксом, который достиг такой степени измельчения, что вытекал через дверку, как жидкость. Не было никаких сомнений, что кокс был измельчен движением, хотя и сравнительно медленным (один оборот в 10 мин.) шуровочных лопастей. Поэтому было решено снизить слой топлива в шахте настолько, чтобы уровень его был на 1,5 м ниже крышки. При этом должна была работать только одна лопасть на глубине 0,30 м. Однако указанный недостаток этим мероприятием устранен не был. Из этого вывели заключение, что нижняя лопасть вращается теперь не в слое кокса, а в слое угля, находящегося в пластическом состоянии, что подтверждалось и температурой уходящего газа, равной 400°. Затем пытались работать при температуре выходящего газа в 300—350°; однако и это не дало удовлетворительных результатов, так как продолжительность дистилляции увеличилась и возрос объем зоны пластического состояния, что было заметно по повышению сопротивления. Дальнейшее понижение слоя, после которого лопасть лежала уже на глубине 15 см, также не улучшило положения. При этих условиях топливо опускалось приблизительно на 20 см в час. Оно нагревалось до температуры газов приблизительно в течение $\frac{3}{4}$ часа, и из этого было сделано заключение, что шуровочная лопасть вращается в слое непрококсированного даже частично угля. После снижения слоя настолько, что лопасть только касалась поверхности загруженного угля и только разравнивала ее, измельчение кокса было устранено. Вследствие расширения дистилляционной шахты и понижения слоя топлива полезный объем реторты уменьшился приблизительно на 10%; соответственно сократилась и продолжительность пребывания топлива в шахте дистилляции.

Установки с карбюрированием двойного газа смолой

Выше мы видели, что при газификации топлива в генераторах двойного газа каменные угли дают газ с теплотворной способностью 3200 — 3250 кал., а буроугольный брикет и лигниты — 3000 — 3050 кал./м³. Одновременно с этим получают значительные количества жидких углеводородов алифатического характера, выделяющихся в виде смолы. Выше было уже отмечено, что после дистилляции получению смолы не стали придавать большого значения. В то время пришли к заключению, что выгоднее по возможности разлагать смолу и таким путем использовать ее для повышения теплотворной способности газа.

Карбюрирование смолой, называемое самокарбюрированием, может быть осуществлено двумя различными путями. По первому способу смола сперва выделяется из сырого газа в газоочистительной установке, а затем в среде водяного газа испаряется и превращается в газ на нагретых поверхностях перегревателя. По второму способу пары смолы подвергаются крекингу непосредственно в среде сырого газа.

В обоих случаях крекирование может производиться в горячих слоях топлива в генераторе или же, как в производстве масляного водяного газа, в специальной камере с насадкой, которая нагревается газом горячего дутья. Карбюрирование в слое топлива имеет то преимущество, что не требует усложнения установки и занимает меньше места, так как в этом случае нет надобности в особых карбюраторах. С другой стороны, при применении карбюраторов легче вести процесс при температурах, наиболее подходящих для крекинга жидких углеводородов. Это контролируется теперь на американских установках масляного водяного газа прометрами, установленными в камеры карбюратора и перегревателя.

Подобные же измерения внутри генератора очень затруднительны, а кроме того далеко не просто вести процесс так, чтобы при вдувании смолы в слой топлива иметь в месте впуска ее всегда необходимую температуру.

Опытом было установлено, что наиболее подходящая температура для крекинга, при карбюрировании водяного газа маслом или смолой, лежит между 700 и 800°. Она, конечно, зависит в значительной мере от свойств масла или смолы. Как показывают наблюдения американцев, при этих температурах продолжительность воздействия раскаленных поверхностей не оказывает большого влияния на степень разложения продуктов. Газовая же среда, в которой протекает разложение, играет важную роль. При крекировании масла в отсутствие газов и паров воды из 1 кг масла в масляный газ переходит тепла меньше, чем в присутствии их¹.

По данным различных фирм повышение теплотворной способности двойного газа при самокарбюрировании достигает для каменного угля приблизительно 300—400 кал./м³. Имеющиеся анализы полученного таким путем газа показывают повышение содержания метана на 3—4% и содержания высших углеводородов на 1—1,5%.

Карбюрирование смолы в камере перегревателя

Установка двойного газа системы Kreisa A.-G. Как пример установки двойного газа с самокарбюрированием в специальном перегревателе будет сперва описана установка системы Kreisa A.-G. в Вене (рис. 19). На рисунке изображена установка, поставленная в Nanterre во Франции, о которой J. Freyss сделал сообщение на совещании французских специалистов газового дела в 1926 г. Ниже помещаются приведенные им данные.

¹ Haslam and Russel, Fuel and their Combustion (Нью-Йорк, 1926), стр. 626. Директор газового завода Müller считает на основании опытов, поставленных по крекингу различных масел в маленькой опытной печи на газовом заводе Aussig, что принятая обычно температура крекера в 700—900° слишком высока. Он указывает, что при температурах от 700 до 510° получается масляный газ с наибольшей теплотворной способностью. Это разглашение с установленными на практике данными может быть объяснено тем, что крекинг масла в опытной печи в Aussig протекал в отсутствие разбавляющей газовой среды ср. Gas- und Wasserfach, 1927, стр. 761).

Установка в Nanterre рассчитана на часовую производительность 1000 м³ газа со средней теплотворной способностью в 3600 кал. м³ (сухой газ, 0° и 760 мм). Генератор двойного газа состоит из шахты газификации с надстроенной высокой швельшахтой. С генератором соединены два перегревателя, обогреваемые газами горячего дутья. Первая камера служит фиксатором для сырого двойного газа, вторая же камера в верхней части является испарителем, а в нижней—пароперегревателем. Камеры перегревателей заполнены насадкой из огнеупорного материала, а испаритель — насадкой из углового железа. Газы горячего дутья, сгорающие при прибавке воздуха,

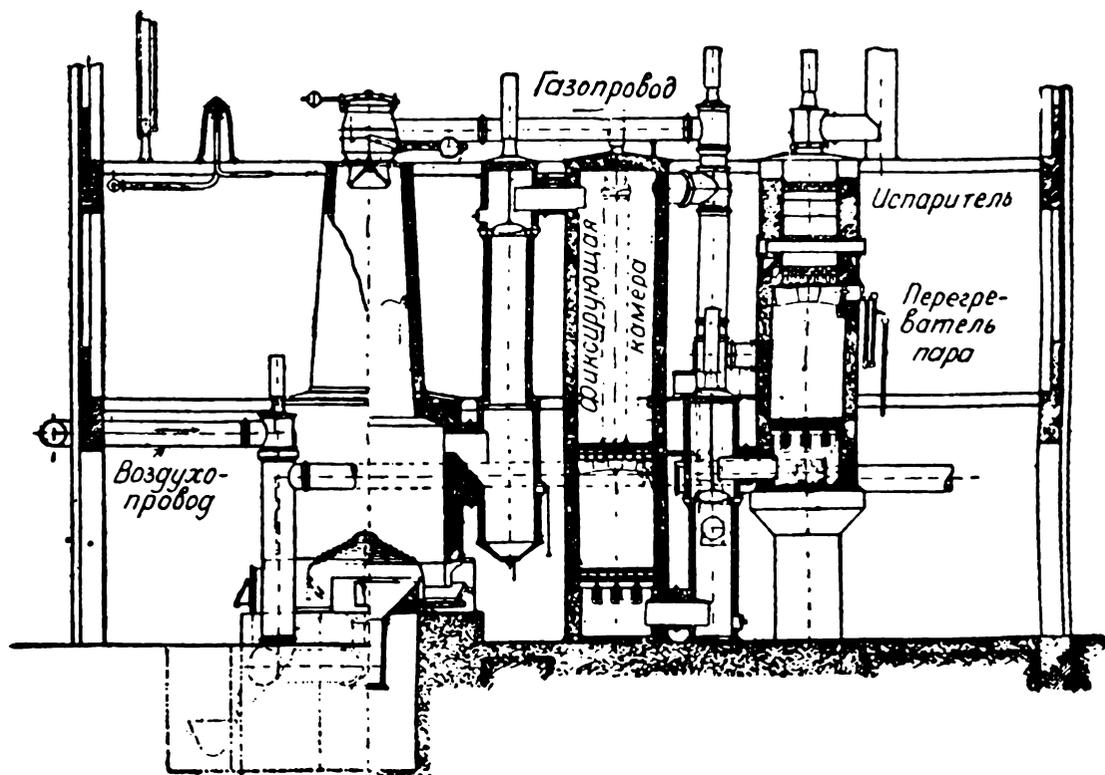


Рис. 19. Установка системы Kreisa в Nanterre.

проходят последовательно через камеры. Во время газования в испаритель вбрызгивается вода; образующийся на железном наполнении пар проходит через пароперегреватель и подается под решетку генератора. При таком способе парообразования не требуется никакого дополнительного пара; кроме того, он является средством для наблюдения за ходом работы генератора. Если к концу периода газования температура в испарителе снизилась до известного предела, то часть вбрызнутой воды не испаряется и собирается в маленькой камере; при этом особый поплавок дает звуковой сигнал, что сужит указанием конца газования. Испаритель и перегреватель в этой установке соответствуют, в основном, тем же элементам у тановки двойного газа системы Strache, описанной выше (ср. рис. 11). Воздух вдувается под решетку под давлением 900 мм водяного столба, часть

его ответвляется в перегреватель. В камере фиксирования температура поднимается приблизительно до 750° , тогда как газы горячего дутья покидают камеру перегревателя при средней температуре 350° . Содержание CO_2 в газе при входе в фиксатор равно 12% , а при выходе из испарителя — 18% , а содержание CO соответственно равно 15% и 5% . Пар перегревается в среднем до 400° . Водяной газ, образующийся в зоне газификации, поднимается в швельшахту, смешивается здесь с продуктами дистилляции угля и из верхней части шахты поступает по трубопроводу в нижнюю часть фиксатора. Газовая смесь имеет в этом месте теплотворную способность около $3100-3200$ кал./м³ и содержит значительное количество смолы в виде тумана. При прохождении через насадку камеры перегревателя смола превращается в постоянные газы, главным образом, в метан. Выходящие из верхней части фиксатора газы проходят через гидравлический затвор в коллектор, по которому подаются в газоочистительную установку, а оттуда поступают в маленький газгольдер емкостью 250 м³. После этого они смешиваются с газами, идущими из дистилляционных реторт. Продукты дистилляции, образующиеся во время горячего дутья, отводятся по особому трубопроводу к вспомогательному приемнику, где из них выделяется смола.

В другом случае (газовый завод Stuttgart) более целесообразным оказался измененный способ обогрева нагревательных камер. Обе камеры обогревались параллельным током газов горячего дутья. При прежнем способе отопления, при котором последовательно в каждой камере перегревателя к отходящим газам прибавлялся воздух, наблюдалось выделение загрязнявшего насадку углерода, что объяснялось недостаточным количеством воздуха, подаваемого в перегреватель. Обогрев параллельным током позволял подводить в камеры достаточное для полного горения количество воздуха. Продукты горения из обеих камер отводились вместе в паровой котел, в котором получался пар для газования. Второй перегреватель здесь уже не являлся испарителем, а служил только для перегрева пара. Благодаря такому устройству, больше тепла может быть возвращено в генератор с паром. Кроме того, при таком способе работы отпадает насадка испарителя, которая отличается, по наблюдениям, сделанным в другом месте, малой долговечностью.

На установке в Nanterre все вентили управляются гидравлически из одного пункта. Вентили, подверженные действию высокой температуры, снабжены водяным охлаждением. Среднее содержание горючего в золе (на вращающейся решетке системы Kerpely) достигает $12-15\%$.

На установке были проведены два испытания.

В обоих случаях газифицировался саарский уголь; состав его был следующий (в процентах):

	Опыт I	Опыт II
Влажность	1,50	2,30
Летучие	34,11	34,08
Выход кокса	56,47	56,35
Зола	7,89	7,27
Высшая теплотворная способность кал. кг . .	7141	7220

Элементарный состав угля при опыте II

	Сырой уголь	Уголь, высушен- ный при 100°	Органиче- ская масса угля
Углерод	74,94	76,70	82,90
Водород	4,98	5,10	5,50
Кислород	8,18	8,37	9,03
Азот	1,37	1,41	1,51
Сера	0,96	0,98	1,06
Влага	2,30	—	—

Данные испытания

	Опыт I	Опыт II
Продолжительность опыта час.	72	51 ¹ / ₂
Чистое время работы час.	66 ⁵ / ₆	49 ⁵ / ₆
Израсходовано угля кг	52800	47100
Количество золы кг	3910	3400
Возвращено кокса в проц. от веса угля . . .	1,77	2,82
Получено газа (сырой, 15°, 760 мм) м ³ . . .	69605	62260
Получено газа (сухой, 0°, 760 мм) м ³ . . .	65068	58090
Выход газа из 1 т угля (при 15°) м ³ . . .	1322	1317
Выход газа из 1 т угля (при 0°) м ³ . . .	1232	1229
Теплотворная способность газа при 0° и 760 мм		
Число определений	251	128
Средняя теплотворная способность	3622	3650
Средний удельный вес газа	0,594	0,58
Бензола г/м ³ газа	—	7,375

Средний состав газа

	%
CO ₂	5,5
CO	29,8
C _n H _m	1,9
O ₂	—
H ₂	41,1
CH ₄	11,0
N ₂	7,8

Теплотворная способность газа во время испытания была довольно равномерна. Минимальное значение ее 3400 кал. наблюдалось довольно редко, максимальное значение достигало 3750 кал.

Во время второго испытания определялись выходы побочных продуктов. Из 1 т угля получается 40 кг смолы, не считая легких масел, уносимых газом из смолоотделителя. Средняя проба смолы имела уд. вес 1,121 (при 15°) и теплотворную способность 8980 кал. кг. Содержание угольной пыли в смоле было равно 4,43%.

Разгонка ее дала следующее:

	%
Воды	20,0
До 170°	1,24
170—230°	7,10
230—270°	8,43
270—340°	29,08
	47,85
Пека (по весу)	49,4

Масла состояли из углеводородов жирного ряда, главным образом, этиленов, которые быстро окислялись. Ароматические углеводороды совершенно отсутствовали, зато имелось значительное количество фенолов. Смола, следовательно, имела характер первичной смолы.

Содержание аммиака в газе, выходящем из перегревателя, было равно 3 кг на 1 т прогазифицированного угля. Аммиак не мог быть использован вследствие сильного разбавления водой в гидравлическом затворе.

По данным Freyss¹ тепловой баланс описанной установки (Kreisa) на 100 кг угля представляется в следующем виде:

<i>Приход тепла</i>		Кал.	%
Теплосодержание угля		400	—
» воды		860	—
» воздуха		1570	—
		<hr/>	
		2830	0,4
Теплотворная способность угля		722 000	99,6
		<hr/>	
		724 830	100,0
<i>Расход тепла</i>			
Теплосодержание сухого газа		30 000	—
» водяного пара в газе		2690	—
» паров смолы		2000	—
» дымовых газов		30 680	—
» золы		290	—
		<hr/>	
		65 660	10,5
Теплотворная способность сухого газа		448 600	61,9
Теплота испарения водяного пара		21 150	2,9
Теплотворная способность смолы		35 920	5,0
Неполнота сгорания дымовых газов		38 650	5,3
Потери горючего в золе		19 110	2,6
Остаток (излучение и проч.)		85 740	11,8
		<hr/>	
Всего		724 830	100,0

Коэффициент полезного действия газификации равен 61,9%, при учете же смолы — 66,9%.

Для правильного течения крекинга смолы в установке Kreisa наиболее благоприятна, как показал опыт, температура 700—800°.

Эффект карбюрации газа смолой был установлен анализом проб газа, отобранных в два момента одного периода газования: перед входом и по выходе из перегревателя (см. табл. 5). Анализы указывают на повышение теплотворной способности газа после карбюрации на 450—500 кал.

Цифры таблицы указывают на повышение содержания тяжелых углеводородов и метана. Однако цифры эти нельзя считать средними.

Freyss считает, что в состав 100 м³ карбюрированного смолой газа, полученного на установке Kreisa, входят: 75,7 м³ (голубого) водяного газа с теплотворной способностью 2550 кал., 20,3 м³ дистилляционного газа по 6140 кал. и 4 м³ газа из смолы по 11500 кал./м³.

¹ Англ. Gas Journal 27/VII 1927, стр. 222 и 3/VIII 1927, стр. 279.

	Проба I		Проба II	
	Вход	Выход	Вход	Выход
Теплотворная способность сухого газа (0° и 760 мм)	3130	3570	3200	3710
CO ₂ + H ₂ S	1,8	6,2	8,2	7,8
Сп Hm	0,5	1,6	0,7	2,2
CO	—	—	29,1	27,6
H ₂	—	—	50,5	47,5
CH ₄	—	—	7,1	10,7
N ₂	—	—	4,4	4,2

В тех случаях, когда требуется карбюрация газа заключающейся в смеси смолы, фирма Julius Pintsch применяет вместо простой камеры

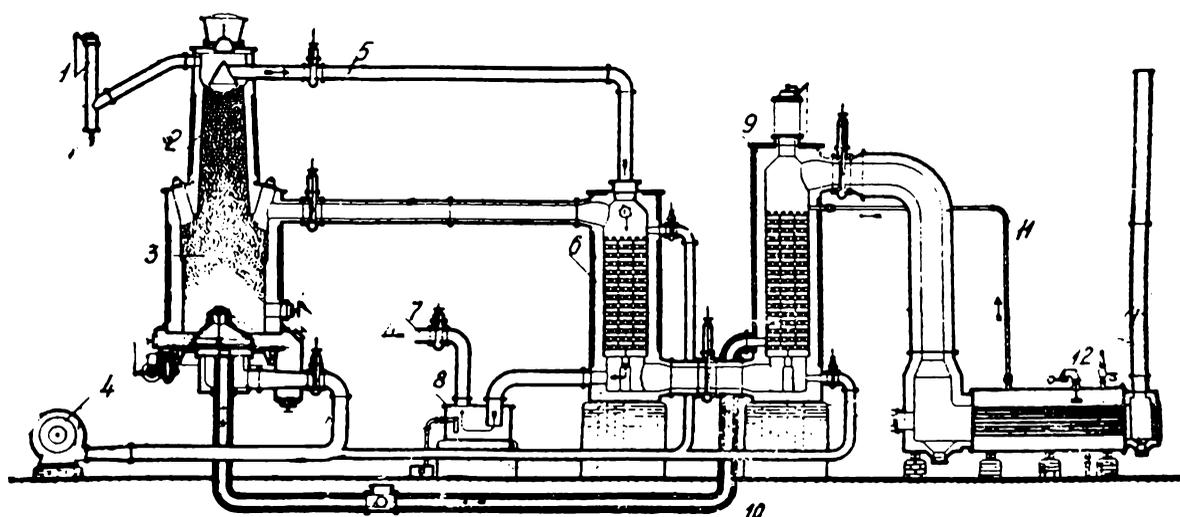


Рис. 20. Новая установка системы Pintsch с камерой.

1—вытяжная, 2—шахта для отгонки, 3—шахта генератора, 4—воздуходувка, 5—отгоночный газ, содержащий смолу, 6—карбюратор, 7—водяной газ из холодильника, 8—запор, 9—перегреватель, 10—перегреватель пара, 11—пар, 12—котел на отходящих газах.

для перегрева, изображенной на рис. 13 а, двойную камеру. Эта камера состоит из карбюратора и перегревателя, через которые последовательно проходят газы горячего дутья, поступающие затем в паровой котел. Карбюратор соединен одним трубопроводом с шахтой газификации, а другим с верхней частью дистилляционной шахты; по этому трубопроводу поступает в камеру двойной водяной газ. Газ проходит карбюратор сверху вниз, а затем перегреватель снизу вверх и отсюда поступает в гидравлический затвор, соединенный, кроме того, трубопроводом непосредственно с верхней частью дистилляционной шахты. На трубопроводе имеется запорный вентиль. На рис. 20 показана последняя схема. Здесь только первая камера

служит для разложения смолы, а вторая только для перегрева пара. На рисунке показано положение вентиля и направление течения газов и паров во время газования. По данным фирмы коэффициент полезного действия газификации на этой установке равен $66-54\%$, а термический коэффициент полезного действия $71,7\%$. Теплотворная способность газа: высшая — $3400-3600$ кал., низшая $3100-3300$ кал./м³ (0° и 760 мм). Выход газа составляет $1,4-1,1$ м³ из 1 кг сырого угля.

Фирма Gesellschaft für restlose Vergasung в последней установке (Weisenau близ Mainz) также применила для карбюрации газа смолой одну камеру. По сообщению Газового института в Karlsruhe. К. Bunte произвел испытание этой установки, которое длилось три дня, при чем по два раза в сутки работа генератора прерывалась. Отчет об этом испытании помещен в журнале Gas- und Wasserfach (18 июня 1927 г., стр. 617). Об установке там сказано следующее.

В верхнюю часть генератора с плоской решеткой опущена реторта для дистилляции, соединенная сверху с трубой, отводящей двойной водяной газ из генератора.

Газы горячего дутья отводятся из генератора на высоте нижнего края реторты и поступают в карбюратор, где частично сгорают после прибавки вторичного воздуха. Отсюда газы поступают в перегреватель и испаритель, где дожигаются с третичным воздухом. Газы покидают перегреватель при температуре $500-600^\circ$. Использование этого тепла отходящих газов в стоящем вблизи котле пока еще не осуществлено из-за малого диаметра дымовой трубы, представляющей слишком большое сопротивление. Из перегревателя газы отводятся наружу.

Водяной газ проходит через шпельшахту и в смеси с дистилляционными газами и смолой поступает в карбюратор, где смола разлагается. На карбюраторе имеется приспособление для вбрызгивания добавочного масла, что может служить для дальнейшего повышения теплотворной способности газа. Из карбюратора газ поступает в котел, в котором подогревается вода, а отсюда в гидравлический затвор.

Водяной пар получается путем вбрызгивания подогретой воды на трубчатую решетку, находящуюся в нижней части перегревателя. Сильно перегретый в перегревателе пар подается снизу в генератор. Парообразование регулируется вручную подачей воды в испаритель.

За трое суток, при двух перерывах в сутки: с 15 ч. до 16 ч. и с 22 ч. до 23 ч., из 47 т угля марки Heinitz Nuss I ($2,4\%$ влаги, $5,7\%$ золы и $33,0\%$ летучих) было получено 5335 м³ (0° и 760 мм) или 5727 м³ (15°) газа с высшей теплотворной способностью, в среднем равной 3410 кал./м³. Выход газа был, следовательно, равен $113,5$ м³ (0°) или 122 м³ (15°) из 100 кг угля. Смола почти полностью разлагалась. Из 1 кг угля в газ переходило 3870 кал. или около $49,4\%$ от теплотворной способности угля. Необычайно низкий для газификации каменного угля коэффициент полезного действия газификации объясняется, главным образом, необыкновенно большими потерями тепла в окружающую среду во время длинных остановок. Это видно из

приведенного ниже теплового баланса, составленного по данным вторых и третьих суток испытания.

Тепловой баланс установки в Weisenau (К. Bunte)

Приход тепла	Кал.	%
Теплотворная способность угля (1858 + 1500) .7845	26 008 000	100,0
<i>Расход тепла</i>		
Теплотворная способность газа	12 271 500	47,2
Тепло в смоле	280 000	1,1
» в шлаках	780 000	3,0
» в уносе	23 300	0,1
» в газах горячего дутья и в паре	4 629 500	17,8
Теплосодержание сырого карбюрированного газа	641 500	2,5
Потери тепла в воде гидравлического затвора	70 000	0,3
Потери в окружающую среду (по разности)	7 299 200	27,9
	26 008 000	100,0

Двойной водяной газ имел в среднем следующий состав: $\text{CO} - 3,1\%$, $\text{C}_m\text{H}_m - 1,5\%$, $\text{O}_2 - 0,4\%$, $\text{CO} - 35,1\%$, $\text{H}_2 - 47,8\%$, $\text{CH}_4 - 7,0\%$ и $\text{N}_2 - 5,1\%$. В отчете для сравнения приведены данные по дистилляции того же угля в реторте и отдельной газификации кокса в генераторе водяного газа. По поводу этого сравнения сказано следующее:

«Из 100 кг угля получается 31,2 м³ газа и 67,5 кг кокса. Для отопления реторты расходуется 17,5 кг кокса и 50 кг остается для газификации. При расходе кокса в 0,65 кг на 1 м³ водяного газа (0°, 760 мм), как это может быть принято для хорошей длительной работы, будет получено 77 м³ водяного газа.

31,2 м ³ дистилляционного газа по 5530 кал.	172 500 кал.
77,0 м ³ водяного газа по 2700 кал.	207 500 кал.
108,2 м ³ смешанного газа по 3510 кал.	380 000 кал.

Коэффициент полезного действия при отдельной дистилляции и газификации при несколько более высокой теплотворной способности равен 48,5% — против полученного в Weisenau (49,4%), но зато, кроме газа, было получено еще 6,6% смолы. Эти опыты доказали, что при безостаточной газификации можно получить только такой же эффект, как и при хорошем ведении отдельного процесса; превосходство же безостаточной газификации доказано не было».

Эти цифры, взятые из нормальной работы реторт и коксовых генераторов водяного газа, нельзя, конечно, сравнивать с работой описанной здесь маленькой установки для получения двойного водяного газа, работающей к тому же с необыкновенно длинными оставками.

Карбюрирование газа путем разложения смолы в слое топлива

В Америке давно уже и неоднократно ставились опыты по разложению карбюрационного масла в раскаленном слое кокса в газогенераторе. Опыты эти не были использованы на практике, по всей вероятности, вследствие малой экономичности процесса. В описанных выше старых английских генераторах двойного газа, типичным

представителем которых является генератор Tully, пары смолы вместе с газами прогоняются через наиболее горячие слои раскаленного кокса. При этом разлагаются не только пары смолы, но и значительная часть газообразных углеводородов, вследствие чего теплотворная способность газа не на много выше, чем теплотворная способность коксового водяного газа. Одной из основных задач генераторов двойного газа является получение газа с возможно более высокой теплотворной способностью, особенно, если этот газ предназначается для снабжения городов или для прибавки вместо водяного газа к ретортному газу. В тех случаях, когда слой топлива намеревались использовать для разложения смолы, то пытались это разложение вести при температуре, наиболее подходящей для этого процесса.

В некоторых случаях предлагали настолько поднимать температуру в слое коксуемого топлива в швельшахте, чтобы пары выделяющейся смолы тут же разлагались. Однако создать такие условия очень трудно, так как часть подлежащей разложению первичной смолы выделяется в верхних, еще сравнительно холодных слоях топлива и сейчас же увлекается током водяного газа в более холодные зоны. Выходящий из генератора сырой двойной водяной газ в большинстве случаев, судя по имеющимся данным, содержит в себе значительные количества смолы алифатического характера. Полной противоположностью этому являются наблюдения, сделанные А. Müller'ом¹ на установке двойного водяного газа в Aussig, где газифицировался бурый уголь в смеси с небольшим количеством каменного угля. На этой установке было обнаружено, что при сухом угле происходит полное обогащение газа уже в дистилляционной шахте. Многочисленные опыты показали, что в карбюраторе не происходит дальнейшего повышения теплотворной способности. При сыром же угле не наблюдается разложения смолы в шахте и после карбюратора теплотворная способность газа возрастает на 200—300 кал. Эта разница объясняется, очевидно, тем, что при сухом угле в дистилляционной шахте царят более высокие температуры. Поэтому следует принять, что при некоторых топливах разложение смолы может идти уже в дистилляционной шахте, если в верхних слоях топлива удастся создавать достаточно высокую температуру, чему должна способствовать умеренная высота зоны дистилляции.

В большинстве случаев, в особенности при газификации каменного угля, подобное разложение смолы может быть достигнуто только тогда, когда сконденсированная смола в виде жидкости вводится в горячие слои кокса. Фирма Gesellschaft für restlose Vergasung разработала способ, по которому смола автоматически повторно подвергается разложению до тех пор, пока она не превратится полностью в газы и асфальтоподобный остаток («процесс Infinitkrack»).

Этот процесс базируется на следующем: при постепенном нагревании первичной смолы сперва отгоняются более легкие масла,

¹ Gas- und Wasserfach, 1927, стр. 761.

после чего остающиеся тяжелые составные части смолы разлагаются с образованием углеводородов, водорода и густого смолистого остатка. Разложение можно вести до тех пор, пока, в конце-концов, в остатке не получится кокс. По способу *Infinikrack* между выходом газов из шахты и гидравлическим затвором помещается особое приспособление (рис. 21), в котором из газа выделяются наиболее легко конденсирующиеся части смолы. Из этого аппарата жидкость стекает по сточной трубе обратно в дистилляционную шахту. Капельки смолы, стекая по

кускам угля и кокса в шахте дистилляции, постепенно нагреваются и разлагаются описанным выше образом. Летучие продукты увлекаются током газов, но частично они опять конденсируются в смолоотделителе и стекают обратно в дистилляционную реторту. Высококипящие составные части смолы, попадая в зоны высокой температуры, разлагаются полностью с выделением

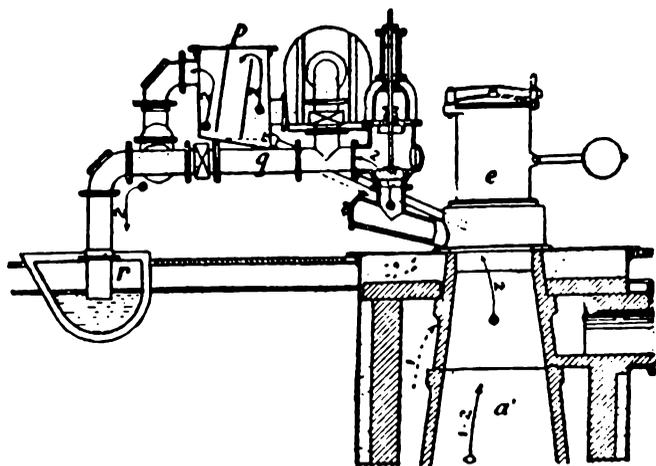


Рис. 21. Приспособление «*Infinikrack*».

кокса. Если для карбюрации желательно применять только высококипящие фракции, то смолоотделитель предохраняют от излишнего охлаждения, более легкие масла остаются при этом в парообразном состоянии и могут быть уловлены в газоочистительной аппаратуре. Во всяком случае, температура в каплеуловителе должна поддерживаться по крайней мере настолько высокой, чтобы конденсировалось возможно меньше водяного пара, так как процесс карбюрации затрудняется стекающей в дистилляционную шахту водой. Для выделения смолы применяется центробежный смолоотделитель, соединенный с небольшим ударным очистителем. При часовой производительности установки в 200 м^3 газа расход энергии на это приспособление составляет около 1 квт. По обводному трубопроводу часть сырого газа может попадать непосредственно в гидравлический затвор *r*. Дальнейшее улучшение установки состоит в том, что загрузка свежего угля в дистилляционную шахту производится шнеком, проходящим через трубу, заполненную стекающей смолой. При таком устройстве уголь хорошо смачивается смолой и смола служит одновременно газонепроницаемым затвором дистилляционной шахты, что упрощает загрузку топлива в генератор¹. По имеющимся сведениям, теплотворная способность двойного газа, равная обычно

¹ Génie Civil, 21/X 1925, стр. 371.

3200—3300 кал. м³, может быть повышена при таком способе работы до 3500—3600 кал. м³.

В генераторе Doberty, который будет описан ниже, применяется подобный же принцип работы. В этой конструкции пары смолы конденсируются в высокой дистилляционной шахте и спускаются в нижние слои загрузки.

Фирма Dellwik-Fleischergesellschaft предполагала в позднее разработанных конструкциях газогенераторов двойного водяного газа вбрызгивать служащую для карбюрации смолу через отверстие в стенке реторты.

Сведений о том, оправдали ли себя эти способы на практике, не имеется. S erhan в своей, упоминавшейся уже статье ¹, говорит о способе Gesellschaft für restlose Vergasung следующее: «Около 15⁰/₀ от полученной в генераторе смолы переводилось, по данным фирмы, в газы. Теперь же в генератор впускается смола и при ее повторной дистилляции достигается значительное повышение теплотворной способности газа. По данным фирмы для карбюрации газа удается использовать 75⁰/₀ полученной смолы». Кроме того, имеется указание, что для получения 1 м³ карбюрированного смолой двойного газа с теплотворной способностью в 3550 кал. требуется около 0,67 кг органической массы угля, дающего 9⁰/₀ первичной смолы, и 0,014 квч. Очевидно, к этому же способу относится и следующее замечание А. Müller'a ²: «Самокарбюрирование повышает теплотворную способность газа приблизительно на 300 кал. В Helsingör, Дания, работает по этому способу установка фирмы Akt.-Ges. für restlose Vergasung, дающая газ с теплотворной способностью около 3650 кал., который используется для бытового потребления».

Выше мы видели, что как в установке системы (Strache в Marburg (стр. 60), так и в недавно построенной установке системы Gesellschaft für restlose Vergasung в Weisenau (стр. 82), смола разлагается в особом перегревателе. Разложение смолы в слое топлива, если и применяется, то только в отдельных случаях.

А. Schäfer ³ недавно сообщил, что этот способ карбюрации применяется и на описанном выше (стр. 65) генераторе System Stassfurt: смола вбрызгивается паровым инжектором в верхнюю часть шахты генератора и, проходя через горячий кокс и уголь, превращается в масляный газ. Теплотворная способность двойного газа, которая нормально равна 3200—3300 кал. м³, повышается благодаря карбюрированию первичной смолой или газовым маслом, в среднем, до 3700 кал.

III. ОБОГРЕВ ШВЕЛЬШАХТЫ ПОТОКОМ ГОРЯЧЕГО ГАЗА

При переработке битуминозных топлив, а также и бурых углей с повышенной влажностью на практике было установлено, что в генераторах двойного газа с опущенной дистилляционной ретортой

¹ Gas- und Wasserfach 1926, стр. 521.

² Gas- und Wasserfach, 1927, стр. 760.

³ А. Schäfer und E. Langthaler, Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes, 1929, стр. 350.

количество тепла, передаваемое топливу снаружи через стенку реторты и водяным газом при прохождении через слой топлива, недостаточно для полной дистилляции угля за время пребывания последнего в швельшахте или же это тепло не успевает своевременно передаться топливу. В виду этого дистилляция угля заканчивается только в шахте газификации. Это влечет за собой не только потери углеводородов во время горячего дутья, но и ухудшает условия образования водяного газа, так как уменьшает высоту коксового слоя. Поэтому всегда стремились использовать тепло горячих газов для дистилляции угля более эффективно, чем при передаче через стенку шахты. В предыдущей главе было показано, что в некоторых конструкциях генераторов двойного газа предусматривается сильный перегрев водяного пара в теплообменниках, чтобы этим путем ввести во время газования в шахту дистилляции большее количество тепла. Описанные далее приспособления для шуровки предназначены для увеличения газопроницаемости слоя, что улучшает условия теплопередачи к шихте.

Приблизительно с 1920 г. стал применяться другой метод для обеспечения своевременной дистилляции. По этому методу перенос тепла из теплообменника в дистилляционную шахту осуществляется при помощи потока горячего газа, который проходит через нее в смеси с сырым водяным газом.

В настоящее время обогревающим газом служит преимущественно ответвленная часть двойного газа, совершающая циркуляцию по теплообменнику, газогенератору и соединительному трубопроводу. Обогреву циркуляционным газом в новейших конструкциях для газификации сырых углей в водяной газ придают большое значение. Здесь сперва будут рассмотрены старые конструкции, основанные на этом принципе.

Уже в конструкции Blass и Europäische Wassergas A.-G., установленной в 80 г. прошлого столетия в Essen'e, во время части периода горячего дутья в нижнюю часть дистилляционной шахты должен был впускаться перегретый в теплообменнике водяной пар¹. Это делалось с целью улучшения дистилляции угля.

Указанная установка изображена на рис. 22. На шахте газификации *D* газогенератора *A* помещается дистилляционная реторта *E*. Последняя несколько уже, чем шахта газификации, благодаря чему на высоте канала *S*, ведущего из теплообменника *B*, образуется кольцеобразное пространство. С теплообменником *B* соединена еще шахта *C*, в которой расположена труба *K* для подвода воздуха. При горячем дутье газовые шиберы *G* и *O* закрыты; воздушный шибер *L*, вентиль *J* и вентиль на трубопроводе вторичного воздуха открыты. Подогретый воздух поступает по трубе *K* в нижнюю часть генератора и образующийся в шахте газификации *D* генераторный газ попадает по каналу *S* в теплообменник *B*, где и сгорает в смеси со вторичным воздухом, поступающим по трубе *M*. Продукты горе-

¹ Германский патент 36431.

ния нагревают насадку теплообменника *B* и поступают в камеру *C*, где отдают еще часть своего тепла проходящему по трубе воздуху. Отсюда продукты горения отводятся в дымовую трубу *N*. После горячего дутья воздушный шибер *L*, вентиль *J* и вентиль на трубопроводе вторичного воздуха *M* запираются и в дистилляционную реторту *E* загружается свежий уголь. После этого открывается газовый шибер *G* и по трубе *H* в нижнюю часть перегревателя *B* пускается пар. Перегретый пар по каналу *S* попадает в верхнюю часть слоя кокса и проходит по нем в нисходящем направлении. Образующийся водяной газ отводится по трубе *P*. Когда топливо охладилось настолько, что процесс образования водяного газа должен быть прекращен, шибер *G* закрывается и открывается шибер *O*.

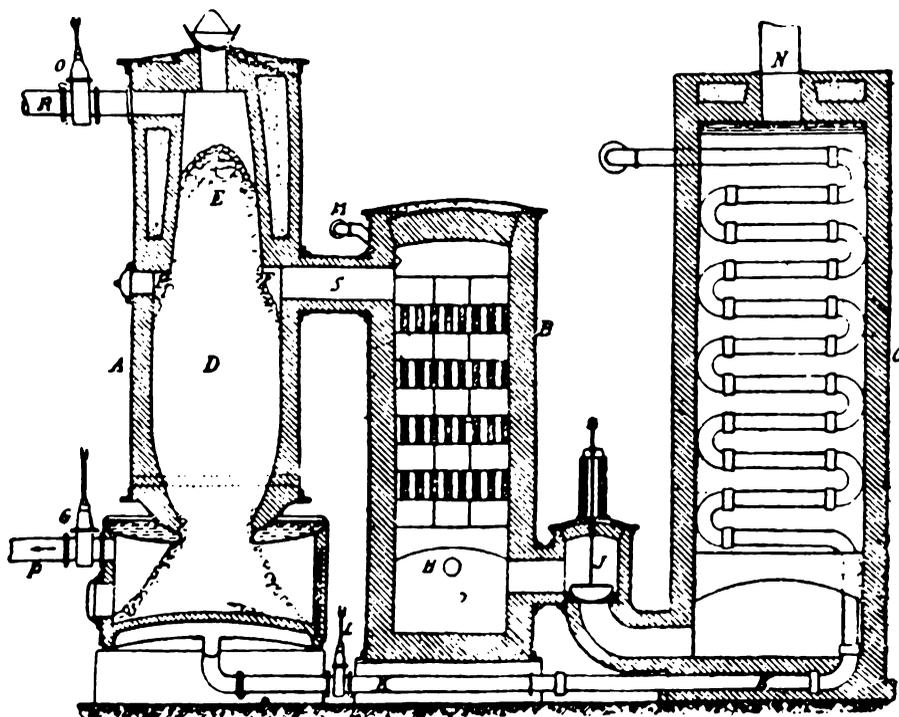


Рис. 22. Генератор водяного газа для газификации углей системы Blass и Europäische Wassergas A.-G.

Теперь пар из кольцевого канала *F* проходит через дистилляционную шахту *E*, увлекая с собой продукты дистилляции. Конденсирующиеся части парогазовой смеси осаждаются в холодильнике, после чего очищенный газ может быть применен в качестве светильного газа. Процесс можно вести и так, что при одновременно открытых шиберах *G* и *O* пар из кольцевого пространства *F* будет частично подниматься вверх и частично опускаться вниз.

Опыты с этим генератором не дали удовлетворительных результатов. По всей вероятности, это объяснялось, главным образом, тем, что при горячем дутье, которое велось с образованием окиси углерода, с газами горячего дутья уходила значительно большая часть тепла топлива, чем при введенном позднее фирмой Dellwik-Fleischer

сильном дутье с образованием больших количеств углекислоты. Кроме того, использование тепла было еще недостаточно. Тепловые потери увеличивались еще тем, что газование велось исключительно сверху вниз и, следовательно, все физическое тепло водяного газа оставалось неиспользованным. Наконец, при длительных периодах горячего дутья нельзя было избежать перехода высококалорийных углеводородов в газы горячего дутья.

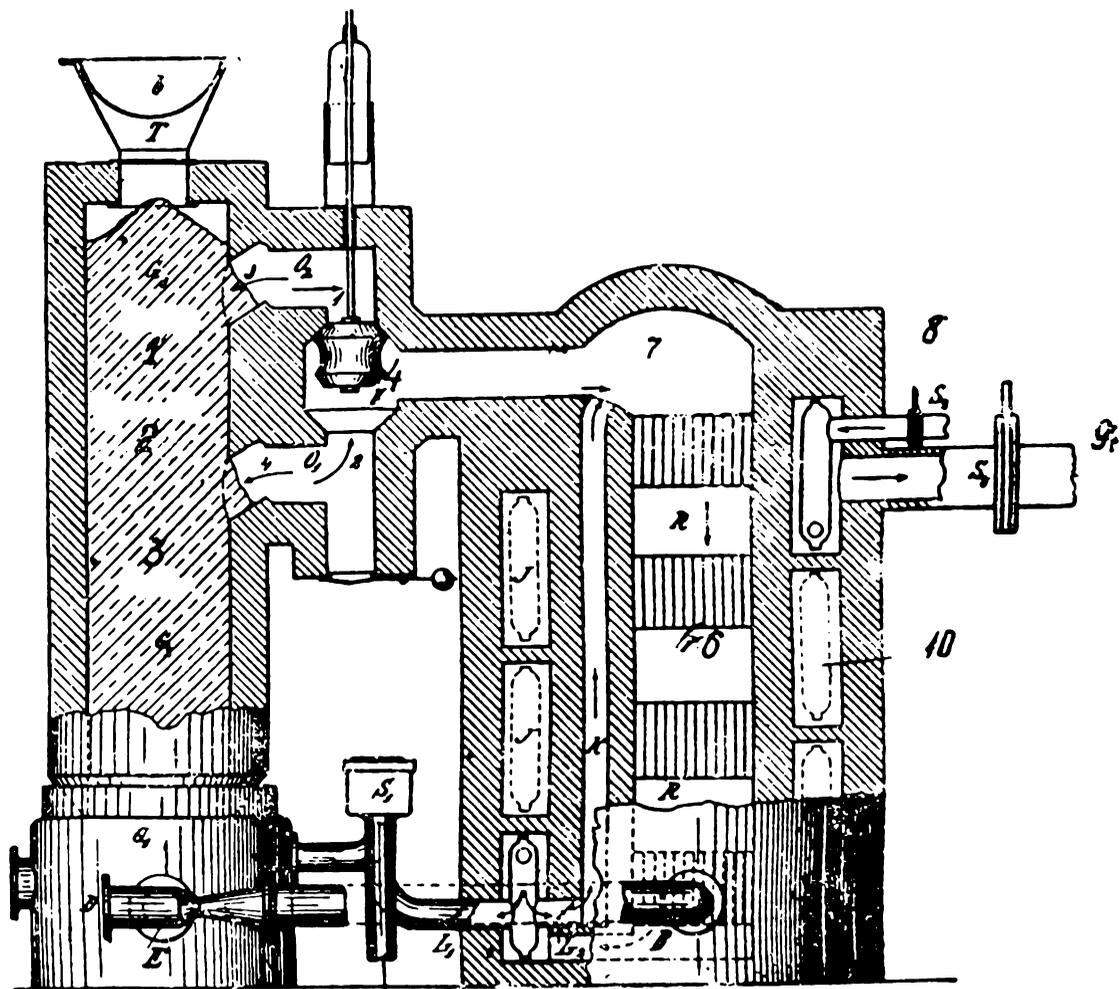


Рис. 23. Генератор водяного газа системы Strache (по патенту 90747).

1—уголь, 2—генератор, 3—кокс, 4—генераторный газ, 5—камера горения, 6—регенератор, 7—выходное отверстие для водяного газа, 8—холодное дутье (воздух), 9—отходные газы, 10—рекуператор.

Разработанный Strache (Вена) на 10 лет позднее и запатентованный в Германии (патент 90747) генератор для получения водяного газа из каменных и бурых углей интересен тем, что подвод тепла из теплообменника осуществляется в нем как паром, так и частью полученного водяного газа. Конструкция, которая изображена на рис. 23, сходна с конструкцией, представленной на рис. 1. Отличием является циркуляция части полученного газа. Для пояснения способа работ будет достаточно сказать следующее. Воздух, подогретый в теплообменнике *L*, поступает снизу в слой кокса и газы горячего дутья сжигаются с поступающим из канала *K* воздухом. Продукты

горения проходят сперва регенератор *R*, а затем через теплообменник *J*. Когда в генераторе и регенераторе достигнута нужная температура, тогда клапан *V* опускается в свое нижнее положение. Газы горячего дутья проходят теперь через слой свежего топлива в верхней части шахты и по верхнему соединительному каналу попадают в регенератор. Свежее топливо подогревается таким образом до тех пор, пока не начнется процесс коксования. После соответствующей перестановки клапанов в инжектор *E* по трубе *D* впускается пар, который отсасывает газы из генератора и в смеси с ними поступает по трубе *B* в регенератор. Сильно нагретая здесь смесь пара и газа по верхнему соединительному каналу попадает в дистилляционную шахту. Таким путем проводится дистилляция топлива. Смесь с продуктами перегонки проходит в нисходящем направлении через слой кокса в нижней шахте, откуда большая часть готового водяного газа по трубе *S*₁ отводится к потребителю. Раньше уже было отмечено, что в этой конструкции *S' gache* стремился к облегчению очистки газа путем разложения углеводородов и аммиака. Поэтому данную конструкцию нельзя считать генератором двойного газа в принятом сейчас смысле.

Из старых предложений достоин упоминания еще способ Reinhard Mannesmann (патент 60551). По этому способу улучшение обогрева дистилляционной шахты во время газования достигается тем, что часть полученного газа отводится и вместе со свежим паром вводится в слой кокса в нижней части генератора. В этом случае газ должен передавать в дистилляционную шахту часть тепла, накопленного в коксе. Для проведения процесса два генератора соединяются таким образом, что во время горячего дутья в одном генераторе, в другом ведется газование. Основным недостатком этого способа является то, что тепло газов горячего дутья не используется для газообразования.

Спустя несколько лет после разработки первого генератора двойного газа, *Strache* предложил другой способ для безостаточной газификации битуминозных топлив, в особенности для каменного и бурого углей. В этой конструкции предусмотрен более хороший обогрев дистилляционной шахты. В генератор во время периода газования, в месте соединения шахт дистилляции и газификации, вдувается водяной пар, перегреваемый в регенераторе. Этот способ является предметом германского патента 348090. В этой конструкции *Strache* отказался от обычного для генераторов двойного газа исключительного газования снизу вверх. Время от времени пар проходит шахту газификации сверху вниз, в то время как пар, поступающий одновременно в шахту дистилляции, течет в обратном направлении. При газовании снизу вверх в нижней части дистилляционной камеры к водяному газу подмешивается свежий пар; смесь поступает в дистилляционную камеру. Конструкция этого генератора показана на рис. 24.

Горячее дутье в шахте газификации ведется через клапан 2. Газы горячего дутья через отверстие 3 попадают в каналы 4, 6 и 7, окружающие реторту 16. Через клапан 5 подводится добавочный воздух. Через шибер 11 газы попадают в перегреватель 8, где окон-

чательно дожигаются в смеси с воздухом, притекающим через вентиль 10. В том случае, когда для получения высоких выходов аммиака температуру в дистилляционной шахте необходимо держать более низкой, через вентиль 5 подводится только часть воздуха, необходимого для горения, остальная же часть подается в перегреватель. При газовании вентили 2, 5 и 10 и клапан для дымовых газов 9 закрыты. Для ввода пара в пароперегреватель открывается вентиль 12.

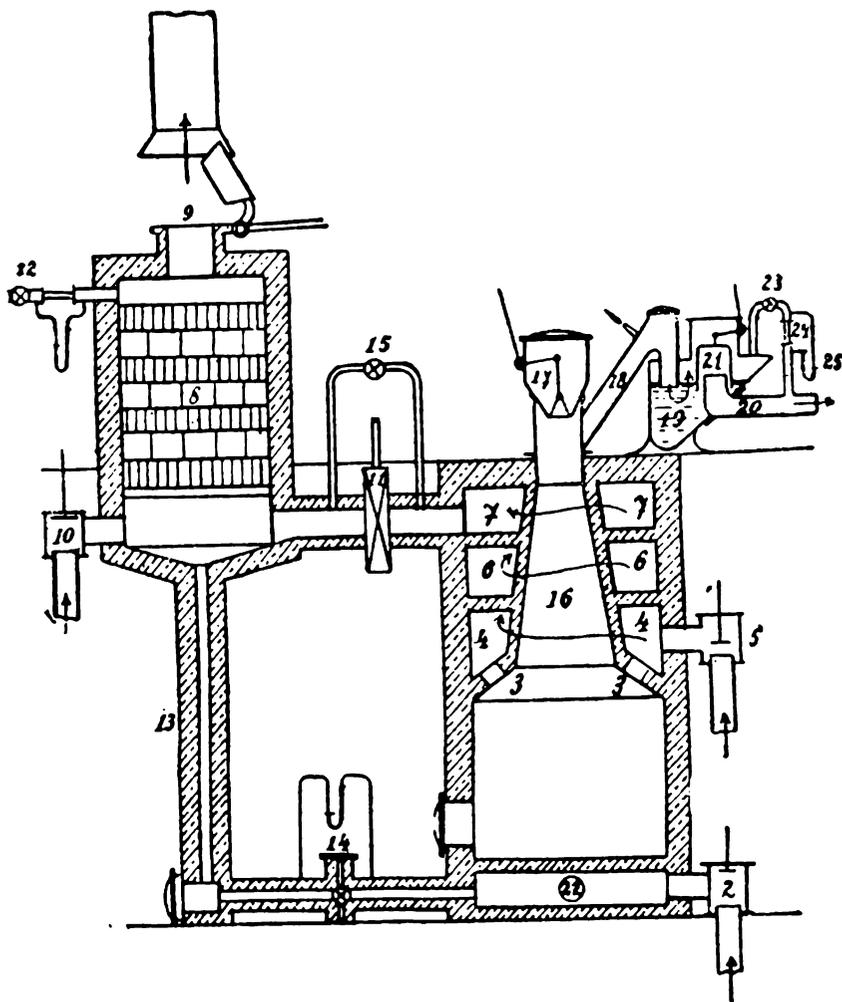


Рис. 24. Генератор двойного газа с обратным газованием системы Strache.

Часть перегретого пара по трубопроводу 13 через дроссельный клапан 14 поступает в нижнюю часть генератора. Другая же часть пара по трубопроводу 15 подается в каналы 7, 6, 4 и через отверстия 3 вводится в дистилляционную шахту, по которой поднимается в смеси с водяным газом. Если газование должно вестись только сверху вниз, то дроссельный клапан 14 остается закрытым и водяной газ отводится по трубе 22 из нижней части генератора.

Для того, чтобы иметь возможность во время горячего дутья непрерывно выводить дистилляционный газ по трубопроводу меньшего

сечения, колокол в гидравлическом затворе 19 закрывается и газ по обводной трубе 23, снабженной задвижкой и манометром, выходит в трубопровод 20.

Вентиль на обводном трубопроводе 23 может быть установлен или так, что будут проходить, главным образом, только дистилляционные газы, или же он может быть открыт настолько, что будет увлекаться и известное количество генераторного газа. Последнее способствует дистилляции угля.

Этот способ Strache едва ли может быть более эффективным, чем описанное в предыдущей главе (стр. 55) применение переноса

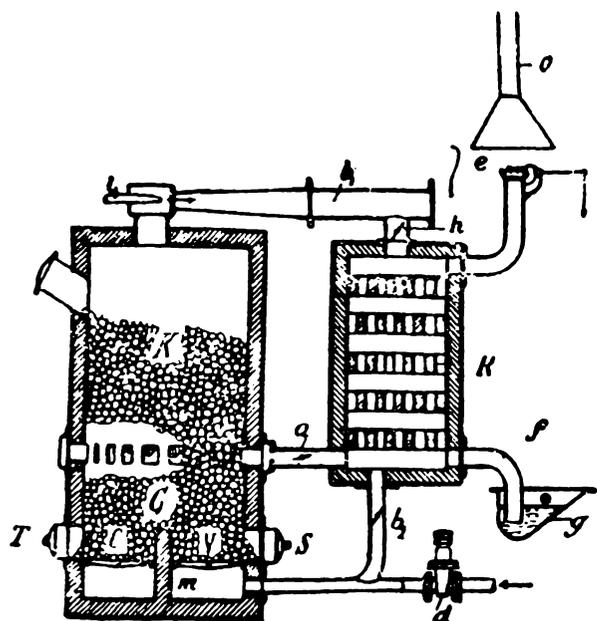


Рис. 25. Генератор с обогревом циркуляционным газом системы Strache (венгерский патент 69617).

тепла избыточного водяного пара, который проходит в дистилляционную реторту через горячие зоны генератора. Кроме того, этот способ будет по всей вероятности значительно сложнее. Тогда как при применении избыточного пара последний проходит по всему сечению шахты по способу Strache, в котором пар вводится через стенку в месте соединения шахт дистилляции и газификации, он по всей вероятности не будет проникать внутрь слоя топлива. Вследствие этого, по закону действия масс, следует ожидать сильного

влияния пара на повышение образования углекислоты по так называемой реакции водяного газа в наружных слоях колонны топлива. Этот способ должен был, однако, оказать известное влияние на дальнейшее развитие конструкций генераторов двойного газа. С одной стороны, он привел к применению описанного уже в главе II возвращения тепла в генератор в виде сильного перегретого водяного пара, а, с другой стороны, он положил начало применению непосредственного подвода тепла при помощи нагретого газа, как об этом можно судить по венгерскому патенту 69617, полученному Strache в 1915 г.

В последнем способе применяется, между прочим, внутренний обогрев дистилляционной шахты при помощи циркуляции части сырого смолистого двойного газа. При этом теплотворная способность газа должна значительно повышаться за счет разложения паров смолы. При нагревании сырого газа до известной температуры, нужно крекировать, по возможности, полностью только смоляные пары, сохраняя газообразные углеводороды. Это должно дости-

гаться при нагревании газа до температур между 700 и 1000°. Это предложение Strache заслуживает особого внимания в связи с появившимися позднее направлениями в развитии газогенераторов двойного газа. Схема установки Strache изображена на рис. 25.

Зона газификации обозначена через G , а зона дистилляции через K . Верхняя часть шахты соединена трубопроводом b с регенератором R . Нижняя часть последнего соединена трубопроводом a с генератором в месте перехода зоны газификации в зону дистилляции. Кроме того, трубопровод b_2 соединяет регенератор с нижней частью генератора. Газы горячего дутья по трубе a попадают в регенератор и через клапан e уходят в дымовую трубу. Во время горячего дутья задвижка h закрыта; воздух через вентиль d , подается как под решетку, так и по трубопроводу b_2 в регенератор. По окончании горячего дутья закрываются клапан e и воздушный вентиль d , открывается клапан h и закрывается или клапан на трубе b_2 , или же клапан на трубе a . Образующиеся в генераторе газы при помощи инжектора i прогоняются в регенератор, откуда часть газа по трубе a возвращается в генератор, другая же часть по трубе f через гидравлический затвор g подается в газоочистительную установку. Если для разложения смолы необходимо более сильное нагревание, то газы из регенератора отводятся по трубопроводу b_2 в нижнюю часть генератора, где они должны пройти через раскаленный слой кокса. Количество подаваемого в генератор водяного пара зависит от того, сколько кокса должно быть превращено в водяной газ. В соответствии с этим из боковых отверстий S и T выгружается большее или меньшее количество кокса. В другой конструкции этого генератора (рис. 26) шахта дистилляции K опущена в генератор и окружена перегревателем R . Циркуляционное движение газа и в этой конструкции осуществляется при помощи засоса инжектором i части дистилляционного газа из реторты. При горячем дутье первичный воздух подается через шибер d , а вторичный через шибер k .

Нижняя часть генератора разделена стенкой m на две части (рис. 25 и 26), так что горение кокса идет не на всей поверхности решетки, а только на одной половине v , тогда как кокс с другой половины решетки S может быть использован для других целей. Следовательно, этот процесс может быть скорее отнесен к получению высококалорийного газа и поэтому речь о нем будет еще ниже.

Подвод тепла в дистилляционную шахту при помощи циркуляционного газа был введен в практику впервые Albert Breisig'ом в Вене. В основном его процесс¹ весьма сходен с процессом Strache, описанным выше (венгерск. и патент 69617). Разница заключается в том, что способ Strache преследует, главным образом, задачу получения высококалорийного дистилляционного газа, а Breisig стремится к получению двойного газа, при чем первоначально он рассчитывал на использование топлив с высокой влажностью, в особенности сырых бурых углей.

¹ Французский патент 551973 (25/V, 1921 г.).

В простейшем изображении установка двойного газа по Breisig'у состоит из генератора с глубоко опущенной в шахту дистилляционной ретортой и регенератора. Обе шахты соединяются трехходовым вентиляем так, что, кроме соединения для прохода газов горячего

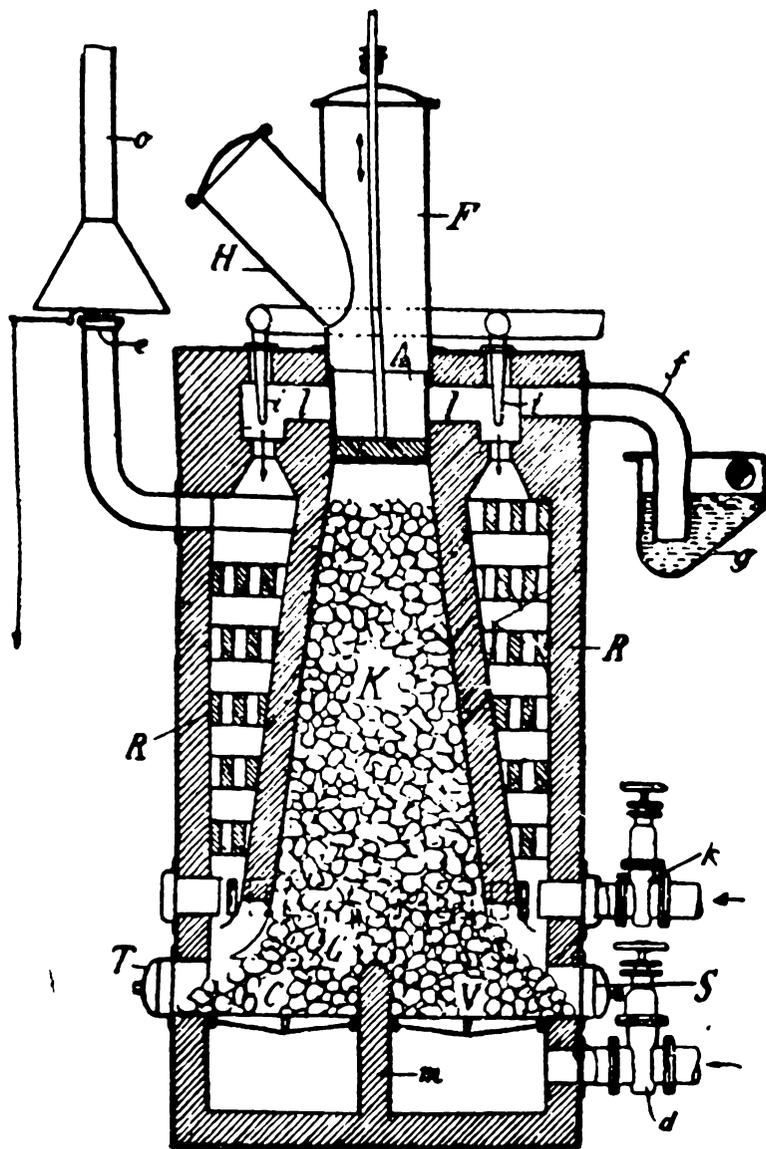


Рис. 26. Генератор системы Strache с обогревом циркуляционным газом (венгерский патент 69617).

дутья, устроен еще двойной путь: для циркуляционного газа в нижнюю часть дистилляционной шахты, с одной стороны, и, с другой стороны, для подвода пара под решетку. На рис. 27 изображена установка с двумя теплообменниками W_1 и W_2 . Регенератор W_1 служит для нагрева циркуляционного газа, а регенератор W_2 для перегрева пара. Регенератор W_2 соединен трубопроводом 15, на котором имеется вентиль 14, с регенератором W_1 и трубопроводом 18 с генератором K . Регенератор W_1 соединен трубопроводом 1 с верхней частью шахты генератора и снизу при помощи обводного трубопровода 10 с верхней частью дистилляционной реторты.

Способ работы следующий. Воздух подается в генератор по трубе 6 с запорным вентилем 7; газы горячего дутья попадают по трубопроводу 1 в первый теплообменник, где к ним подмешивается вторичный воздух, поступающий по трубе 17. Продукты горения по трубе 15 попадают во второй теплообменник, из которого отводятся по трубе 12.

По окончании горячего дутья закрывается вентиль 14 и по трубе 13 во второй теплообменник впускается пар. Перегретый пар по трубопроводу 18 поступает в раскаленный слой кокса в газогенераторе. Одновременно с этим вентилятор *S* засасывает из газопровода

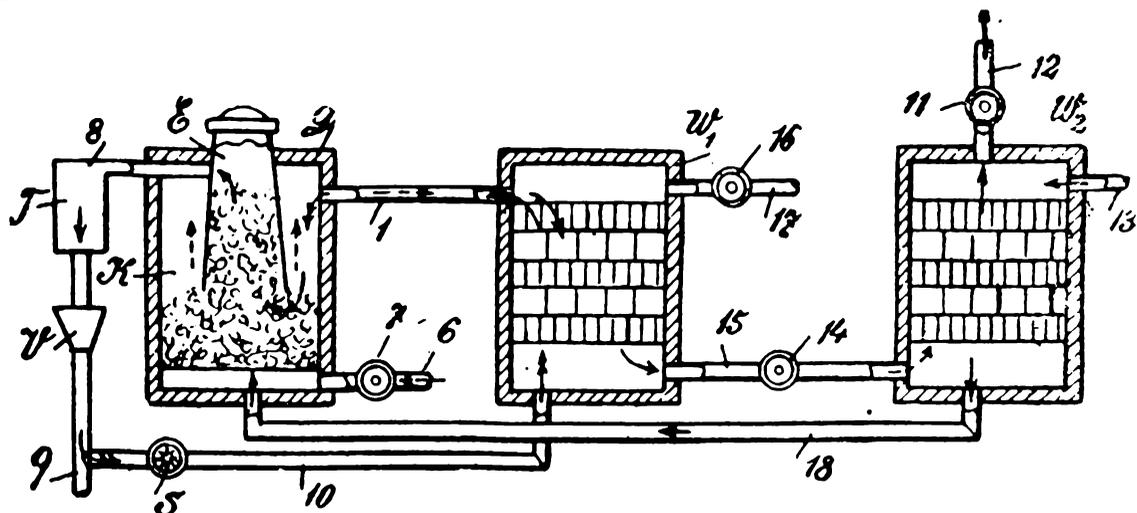


Рис. 27. Схема установки двойного газа с циркуляцией системы Breisig.

9 циркуляционный газ и через теплообменник W_1 и трубопровод 1 прогоняет его в верхнюю часть газогенератора, откуда он в смеси с водяным газом поступает в реторту *E*. Сырые газы по трубопроводу 8 попадают из реторты в смолоотделитель и через сборник *V* в главный газопровод 9. Большая часть газа поступает в газоочистительную установку. Смолоотделитель целесообразно устанавливать так, чтобы его можно было выключать. Это позволяет подводить часть паров смолы вместе с циркуляционным газом в регенератор для превращения их в постоянные газы. В виду того, что дистилляция ведется при низких температурах и при этом выделяется много первичной смолы, обвод сырых газов мимо смолоотделителя позволяет хорошо регулировать количество смолы, потребляемой на карбюрацию. При этом отпадает опасность разложения газообразных углеводородов, наблюдающаяся при самокарбюрировании в случае высокотемпературной дистилляции.

На описанном выше способе Breisig'a основаны первые генераторы двойного водяного газа системы Kreisa-G. m. b. H. (Вена), о которых известно очень немного. По данным американских журналов установки Kreisa поставлялись и в Америку. Схема одной из таких установок приведена в докладе¹ на угольной конференции в Питтсбурге (1926 г.).

¹ Proceedings of Intern. Conf. On bit. Coal, стр. 504.

Вскоре после Breisig'a английские инженеры *M. W. Travers* и *F. W. Clark* запатентовали ¹ способ получения двойного водяного газа с применением циркуляции, основанный на описанном выше принципе. При дальнейшей разработке этого способа они предложили устройство, которое позволяет регулировать использование накопленного тепла для карбюрирования газа ².

Первое сообщение об установке двойного водяного газа системы *Travers* и *Clark* (на газовом заводе *Aylesbury*, Англия) сделал несколько лет тому назад *C. H. S. Turbottle* ³. Способ работы этой установки отличается от описанных выше, главным образом, тем, что после прямого газования с циркулирующей газом включается период обратного газования без циркуляции. Благодаря этому, не только достигается выравнивание температур в шахте газификации, как это вообще наблюдается при включении периода обратного газования, но достигается и более сильное охлаждение регенератора при повышенном подводе тепла из регенератора в генератор. Здесь имеется аналогия с описанным раньше способом газования обратным током, разработанным на американских установках. Остающиеся в регенераторе циркуляционные газы вытесняются во время этого периода газования в генератор и, следовательно, не пропадают при последующем горячем дутье. Установка изображена на рис. 28.

Нижняя часть газогенератора *A* выполняется как обычный газогенератор водяного газа и имеет подводы для воздуха и пара, а также и отвод для газов обратного газования. Все это расположено под колосниками. Верхняя часть шахты, в которой протекает коксование угля, снабжена загрузочной воронкой *N* и верхним отводом для газа. Этот газопровод ведет к гидравлическому затвору *C*, а оттуда к скрубберу *D* и холодильнику *E*. Шахта генератора окружена кольцевым каналом в месте соединения дистилляционной реторты с шахтой газификации. Этот канал соединен с нижней частью регенератора *B*. По кольцевому каналу газы горячего дутья попадают в регенератор, минуя таким образом дистилляционную реторту. Циркуляционные газы движутся в противоположном направлении, т. е. от верхней части регенератора через кольцевой канал в шахту *A*, в которой они смешиваются с водяным газом, поднимающимся из зоны газификации. Затем смесь проходит через дистилляционную шахту. Газ при газовании обратным током засасывается вентилятором *K* из газопровода *L* и через сопло Вентури *V*₁, которое регистрирует количество газа, прогоняется в регенератор *B*. Количество этого газа регулируется вентилем, расположенным перед регенератором.

Способ работы этой установки следующий. При открытом дымовом клапане ведется в течение нескольких минут горячее дутье.

¹ Британский патент 198777, 25/III, 1922 г.

² Британский патент 210256, 29/VI, 1923 г.

³ Английский *Gas Journal*, 3/X 1924; *Chem. and Metallurg. Engineering*, 8/IX 1925, стр. 388.

Затем закрывается дымовой клапан и после остановки вентилятора *И* пускается вентилятор для циркуляционного газа *К*. Во время первой части периода газования пар пускают снизу вверх и только в течение этого времени применяется циркуляция газа описанным выше способом. После прекращения циркуляции газов в верхнюю часть регенератора сперва впускают в течение короткого времени пар, вытесняющий в газогенератор газы, находящиеся в регенераторе. После этого открывают вентиль для обратного газования;

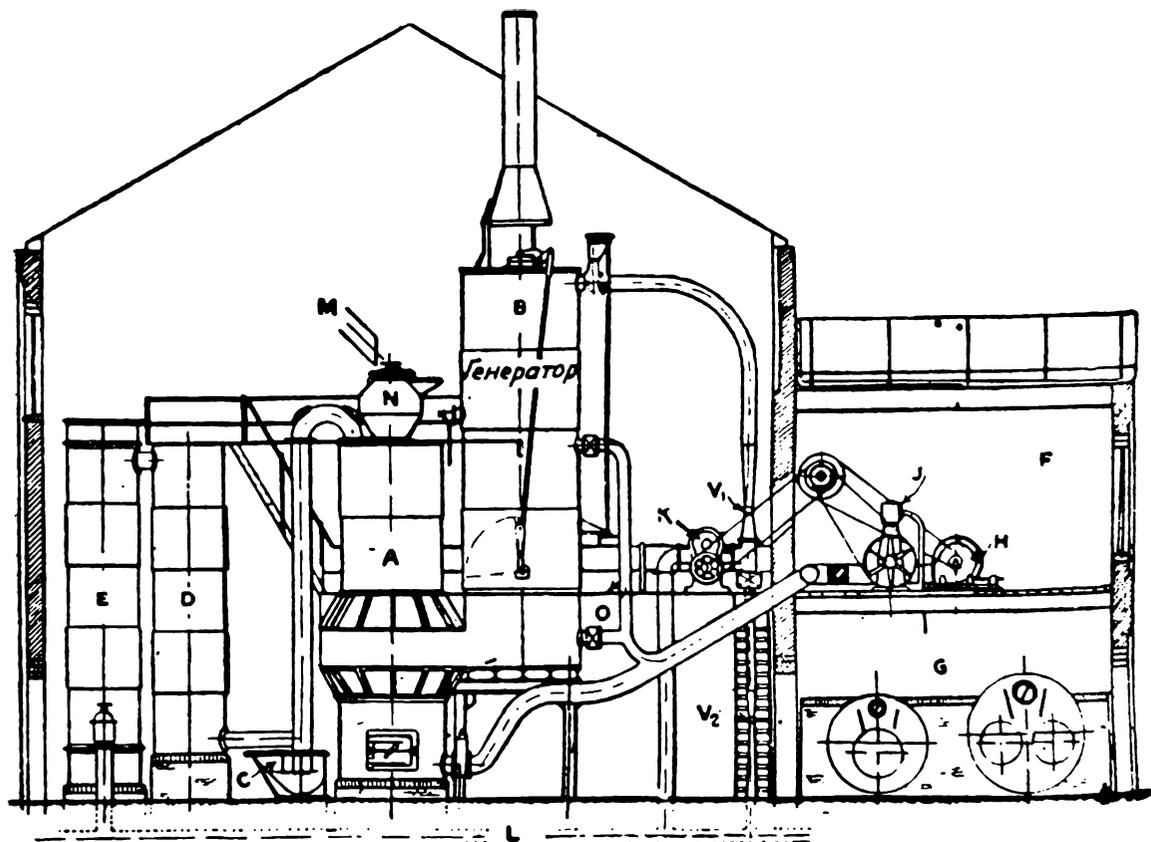


Рис. 28. Установка двойного газа системы Travers и Clark (Aylesbury).

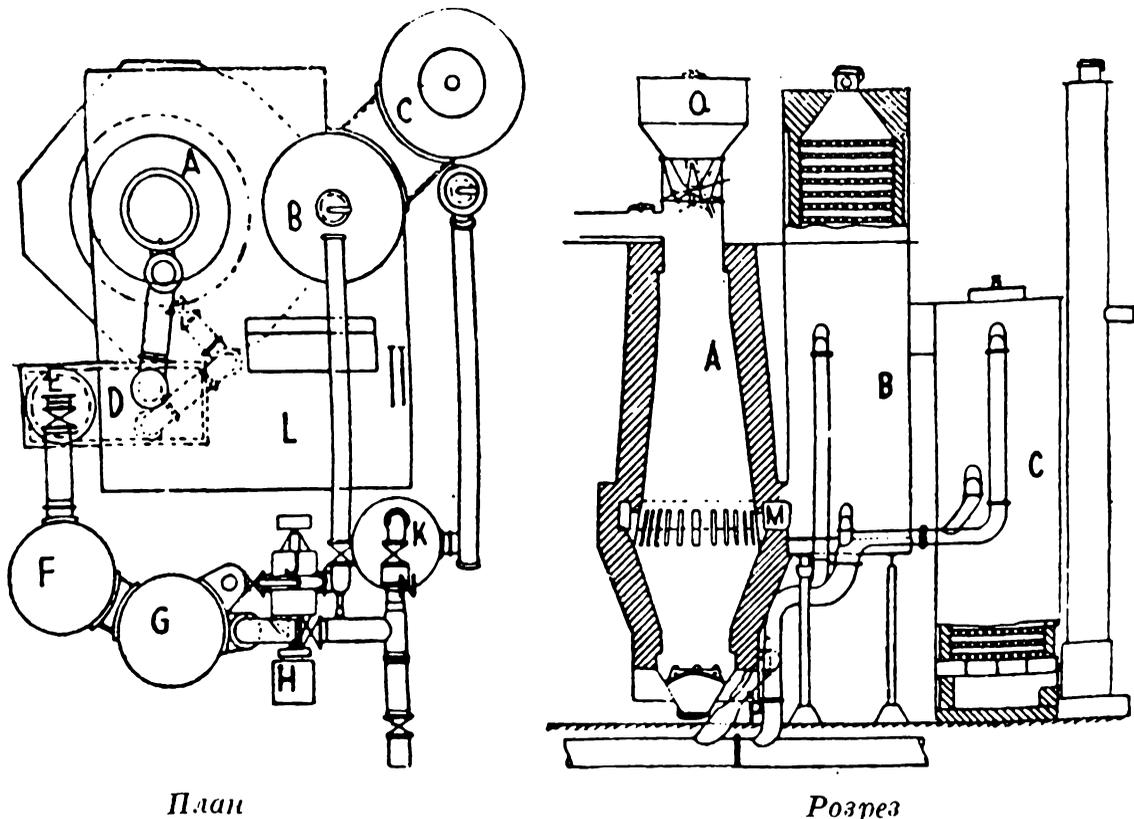
сильно перегретый в регенераторе водяной пар проходит раскаленный слой кокса в нисходящем направлении. Газы и пары, образующиеся во время этого периода в шахте дистилляции, проходят через гидравлический затвор в скруббер, тогда как водяной газ из нижней части генератора засасывается вентилятором и подается в газосборник.

Опыты при правильно выбранных условиях работы показали следующее:

Прогазифицировано угля (влаги 3,5 %, золы 6,5%)	12 290 кг
Получено газа (при нормальных условиях)	16 273 м ³
Выход газа из 1000 кг	1323 м ³
Выход газа из 1000 кг сухого угля	1370 м ³
Выход газа из 1000 кг сухого беззолного угля	1470 м ³

Теплотворная способность газа, полученного при опыте, была в среднем равна 3300 кал. на 1 м³.

После этой первой установки в Aylesbury, рассчитанной на 10000 м³ в сутки, построены еще две установки большей производительности: одна в Preston на 18 000 м³ и другая в Harrow на 36 000 м³ в сутки. Об этих установках, во многих отношениях улучшенных,



План
Разрез
Рис. 29. Установка двойного газа с обогревом циркуляционным газом в Preston (Англия).

имеется сообщение К. Kollinge¹, в котором не только приведены обстоятельные практические данные по циркуляционному процессу, но и освещены процессы, протекающие в генераторе двойного водяного газа, и возникающие в производстве затруднения. Обе последние установки, в противоположность установке в Aylesbury, предназначены для получения карбюрированного маслом двойного газа с теплотворной способностью 4055 кал. м³. Каждая установка состоит из генератора *A* с надстроенной высокой дистилляционной шахтой, теплообменника *B* и карбюратора *C* (ср. рис. 29). Все три шахты окружены стальными кожухами с огнеупорной футеровкой и изоляционной засыпкой.

В нижнюю часть генератора подведены трубопроводы для пара и воздуха и газопровод для отвода водяного газа, образующегося при обратном газовании. Дистилляционная шахта имеет высоту

¹ Английский Gas Journal, 5 XII 1928, стр. 673.

4,3 м и на установке в Preston в первоначальном исполнении имела диаметр сверху 1,07 м и снизу 1,83 м. В стенке шахты в месте соединения дистилляционной реторты и шахты газификации имеется кольцевой канал *M*, сообщающийся с внутренностью генератора щелеобразными отверстиями. С другой стороны, он соединен с нижней частью регенератора *B*. По этому соединительному каналу газы горячего дутья попадают в регенератор *B*, откуда часть их отводится в дымовую трубу, а другая в карбюратор *C*. По карбюратору газы проходят в нисходящем направлении и выходят из него в дымовую трубу. Регулирование количества газа, поступающего в карбюратор, осуществляется при помощи клапанов на отходящих газах. Во время газования циркуляционный газ засасывается из скруббера *G* вентилятором *J* и подается в регенератор *B*, по которому проходит в нисходящем направлении. Из регенератора газ по каналу *M* попадает в генератор и в смеси с водяным газом проходит дистилляционную шахту. Из шахты газ через гидравлический затвор *D* поступает в газоочистительную установку, состоящую из скруббера *E* и трубчатого холодильника *F*. В случае карбюрации часть циркуляционного газа проходит через карбюратор и скруббер *K* для карбюрированного газа. Для циркуляции употребляется только некарбюрированный двойной газ.

Своеобразным является то, что на этой установке через карбюратор проходит не весь газ, а только небольшая часть его. Свежий уголь в точно отмеренных количествах загружается в генератор через каждые три цикла. Как видно из рис. 29, добавочный воздух может подаваться и в регенератор, и в карбюратор. Продолжительность горячего дутья 2 мин. При газовании пар пускается в генератор снизу и одновременно с этим пускается вентилятор для циркуляционного газа. Подача масла в карбюратор регулируется автоматически; количество циркуляционного газа регулируется числом оборотов вентилятора, а количество газа, проходящего через карбюратор — клапаном. Для установки этого клапана служит регулятор *Агса*; опытом, однако, установлено, что тут можно обойтись и ручной регулировкой.

По окончании газования, которое длится 6 мин., в верхнюю часть карбюратора и регенератора в течение нескольких секунд впускается пар, который вытесняет оставшиеся там газы в генератор. После этого открывается ventиль для газов горячего дутья. Каждый третий период газование ведется обратным током, т. е. водяной пар поступает сперва в карбюратор, из него попадает в регенератор, а пройдя последний, поступает по каналу *M* в генератор, по которому проходит в нисходящем направлении. Во время такого периода не имеет места ни циркуляция, ни карбюрация. Образующиеся во время горячего дутья продукты дистилляции отводятся так же, как и в генераторах типа *Strache*, по особому трубопроводу в газоочистительную установку. В зависимости от силы засоса к этим продуктам примешиваются большие или меньшие количества газов горячего дутья (см. табл. 6 стр. 102).

Для получения по возможности хорошего коэффициента полезного действия установки все основные процессы точно контролируются измерительными аппаратами. Особенное внимание уделяется измерению количеств воздуха, пара, циркуляционного газа и «дистилляционного газа» (газа, выделяющегося из реторты при горячем дутье), а также и количества газа, поступающего в карбюратор. Для измерения температуры в наиболее важных местах установки поставлено 5 термоэлектрических пирометров; измеряется также и давление газа в различных местах системы. Управление вентилями устроено так, что неправильная установка их исключается. Имеется также устройство, сигнализирующее неплотность газовых вентилях. Уход за установкой в виду этого очень прост.

Вскоре после пуска установки в Preston было обнаружено, что коксование угля своевременно не заканчивается. Применявшийся уголь Wigan-Arley содержал много мелочи и пыли. Этим объяснялось наблюдавшееся неоднократно зависание топлива в генераторе, что было устранено применением просеивания. Однако и при этом значительные количества пыли уносились газом в гидравлический затвор, вследствие чего была необходима еженедельная чистка затвора, продолжавшаяся около 3 час. Путем уменьшения высоты загрузки в генераторе и устройства ударной пластинки в газоотводе унос был полностью прекращен, после чего затвор приходилось чистить приблизительно раз в три месяца.

Через несколько недель на насадке в верхней части регенератора было обнаружено отложение углерода, который выделяется из смолы, уносимой циркуляционным газом. Циркуляционный газ поступал в регенератор при температуре 60°; для удаления углистых отложений в регенераторе требовалось прожигать его по два раза в день, на что каждый раз тратилось по полчаса. Для сокращения времени прожигания было уменьшено количество циркуляционного газа и усилено охлаждение его. Весьма действительным средством оказалось включение в трубопровод для циркуляционного газа небольшого смолоотделителя. После этих улучшений продолжительность прожигания сократилась до 10 мин. в день. Остановки генератора на загрузку отнимали в сутки около 1—1¼ часа, пока путем изменения загрузочного устройства и этот простой не был полностью устранен.

Ниже приведены средние технические показатели этой установки (средние за март 1926 г.):

Общее число периодов	4282
Среднее число периодов в день	138
Средняя длительность газования в сутки	18 ч. 24 м.
Израсходовано угля	268 т
Расход угля в день	8,95
Получено газа	360 000 м ³
Выход газа на 1 т	1350 м ³
Высшая теплотворная способность	3920 кал.
Тепла в газе, полученном на 1 т	5,28 млн. кал.
Расход масла	55600 л

Расход масла на 1 т угля	192 л
Тепла в масле на 1 т угля (5000 кал. на 1 л)	0,95 млн. кал.
Тепла в двойном газе из 1 т угля	4,33 млн. кал.

Расход масла на 1 м³ составил в этом месяце 0,143 л. Некарбюрированный газ имел среднюю теплотворную способность 3200 кал. м³.

Привденные данные относятся к влажному газу; кокс, выгребаемый со шлаками, не учитывался. Уголь применялся негрохоченый; влажность его была в среднем 2⁰/₀, а зольность от 2 до 16⁰/₀.

Более чем одногодичная работа установки показала, что термический коэффициент полезного действия был достаточно высок, но зато пропускная способность не оправдала ожиданий. Было установлено, что количество циркулирующих газов оказалось больше, чем давал подсчет по соотношениям давлений. Это объяснялось образованием газовых каналов в зоне размягченного угля. После этого пришел к убеждению, что достичь хорошей дистилляции угля со значительным содержанием мелочи в генераторах с большим диаметром шахты нельзя, и поэтому было решено для облегчения равномерной дистилляции устроить шуровочное приспособление. Это приспособление и сделанные при его работе наблюдения описаны уже на стр. 74.

О благоприятном влиянии шуровки и изменения профиля шахты на работу генератора необходимо сказать еще следующее. Объем циркуляционных газов уменьшился приблизительно на $\frac{1}{3}$ (с 77 м³ до 49,5 м³ в минуту). Средняя температура отходящих из генератора газов понизилась с 600 до 400°, поэтому газ можно было лучше очистить и охладить, благодаря чему выделение смолы из циркуляционного газа в регенераторе было совсем устранено. Из сделанных наблюдений можно было заключить, что выравнивание слоя топлива с большим содержанием мелочи и пыли имеет преимущество; при углях же с умеренными размерами кусков и свободных от пыли сомнительно, чтобы полученные удобства оправдали большие капиталовложения и эксплуатационные расходы. Опыт с автоматической загрузкой дал малоудовлетворительные результаты, так как она страдала от закупоривания железными частями и поэтому загрузочное приспособление было через некоторое время опять заменено наклонной трубой с затвором.

-Kollinge отмечает следующие преимущества установок двойного газа по сравнению с ретортными установками, связанными с коксовыми генераторами водяного газа. Капиталовложения составляют приблизительно только $\frac{3}{5}$, обслуживание стоит приблизительно $\frac{1}{3}$ и установка требует очень мало места. Циркуляция газов оказалась экономичной. Было установлено, что одна треть теплотворной способности газов горячего дутья используется в установке, что соответствует 50 кг кокса на тонну прогазифицированного угля. Расход кокса для получения пара, необходимого для циркуляционного устройства, несколько меньше 50 кг. Следовательно, расход кокса на дистилляцию 1 т угля меньше 100 кг, тогда как в вертикальных ретортах он составляет в среднем, 450 кг. При получении мас-

ляного водяного газа газификация угля имеет по сравнению с газификацией кокса то преимущество, что из 1 т угля в газ переходит на 760 000—1 260 000 кал. больше, что сокращает расход карбюраторного масла на 0,08—0,13 л на 1 м³ газа. Преимущество тем больше, чем больше цена на кокс превышает цену на уголь. При постройке новой установки, в которой предусмотрен только один вентиль для отходящих газов, будет также удобно установить котел для использования тепла отходящих газов.

В табл. 6 приведены средние анализы различных газов, получаемых на этой установке, а в табл. 7—топливная слагающая себестоимости газа при получении карбюрированного двойного водяного газа и карбюрированного коксового водяного газа.

Таблица 6

	Дистилляционный газ (во время горячего дутья)	Некарбюрированный двойной газ	Карбюрированный двойной газ
CO ₂	6,4	4,6	3,1
Сл Нт	1,0	0,6	5,1
CO	14,1	32,6	32,1
СН ₄	18,0	7,9	14,4
H ₂	39,1	47,8	39,7
N ₂	20,9	6,5	5,6
Теплотворная способность	3400	3270	4850

Таблица 7

Топливая слагающая себестоимости газа с теплотворной способностью 4055 кал. на 1 м³:

- а) карбюрированного коксового водяного газа
- б) карбюрированного двойного водяного газа

Примечание:

1 т кокса дает 1430 м³ газа по 2550 кал. = 3,66 млн. кал.

1 т угля дает 1350 м³ газа по 3200 кал. = 4,33 млн. кал.

Стоимость угля 25 шилл. за 1 т

Стоимость кокса 25 шилл. за 1 т

Стоимость масла 1,1 пенса за литр (даст 5000 кал.)

Стоимость Стоимость 1 млн. кал.

а) Кокс 1430 × 2550 = 3,66 млн. кал. 25 шилл. 0 пенс. 6 шилл. 10 пенс.

Масло 412 л = 2,96 млн. кал. 37 шилл. 11 пенс. 18 шилл. 4 пенс.

5,72 млн. кал. 62 шилл. 11 пенс. 10 шилл. 11 пенс.

б) Уголь 1350 × 3200 = 4,33 млн. кал. 5 шилл. 0 пенс. 5 шилл. 10 пенс.

Масло 215 л = 1,08 млн. кал. 19 шилл. 9 пенс. 18 шилл. 4 пенс.

5,41 млн. кал. 44 шилл. 9 пенс. 8 шилл. 8 пенс.

Стоимость кокса, идущего на получение пара, потребляемого на циркуляцию, составляет 3,6 пенса на 1 млн. кал., следовательно, топливная слагающая себестоимости 1 млн. кал. будет равна:

а) 10 шилл. 11 пенс.

б) 8 шилл. 11,6 пенс.

Экономия на топливе при получении двойного водяного газа составляет, следовательно, 0,128 пенс. на 1 м³ газа.

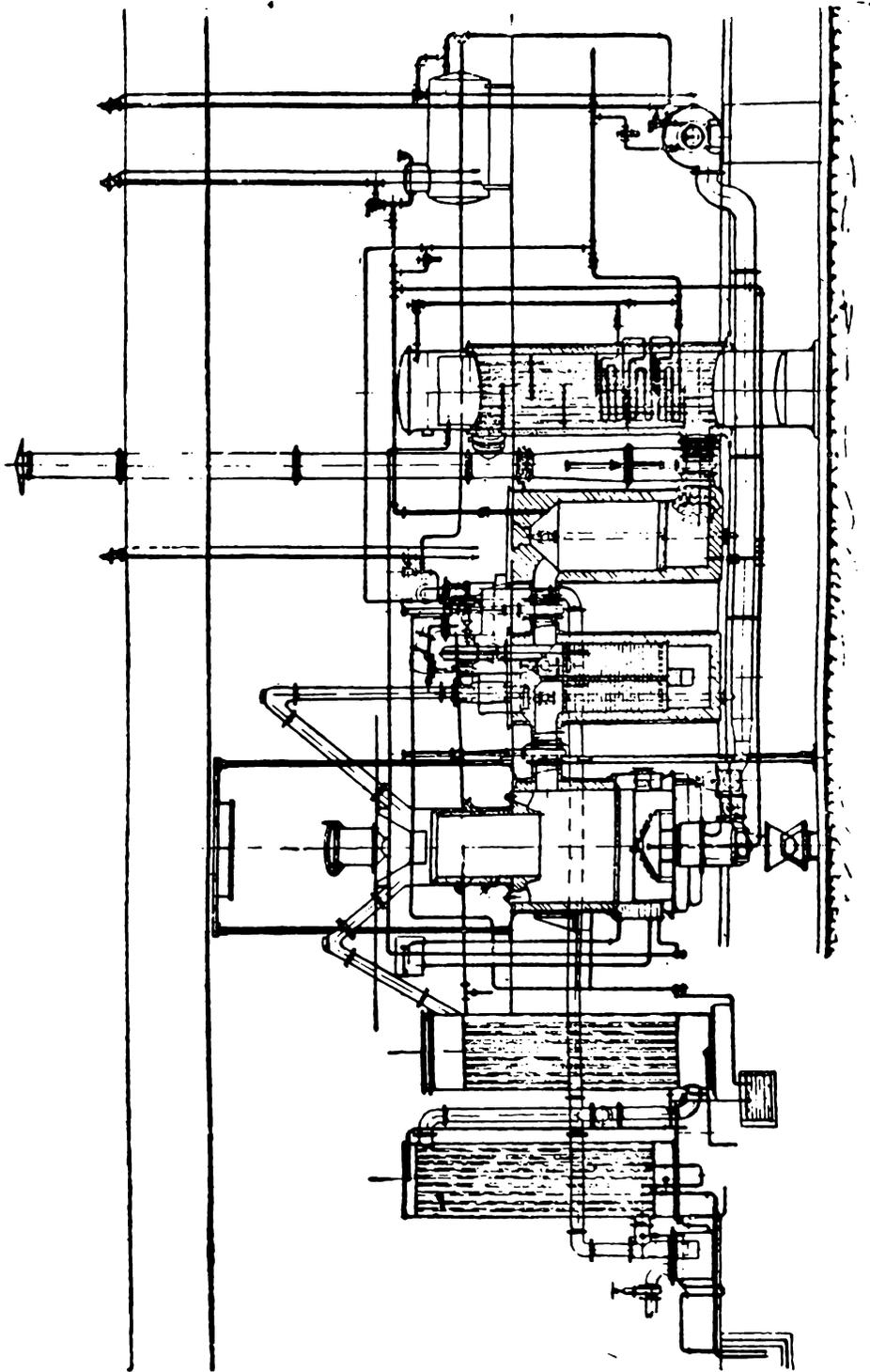


Рис. 30. Установка двойного газа с обогревом циркуляционным газом системы. Berlin-Anhaltische Maschinenfabrik A.-G.

В Германии циркуляционное отопление шахты также применяется на нескольких установках. На рис. 30 показана установка генератора и вспомогательной аппаратуры, поставленная фирмой *Vatag.-Méguin A.-G.* на газовом заводе *Posen*. Способ работы этой

установки отличается от описанной выше английской, главным образом, тем, что газование ведется только снизу вверх. Кроме того, имеются два теплообменника, из которых один служит для нагревания циркуляционного газа, а также и разложения масла, а другой — для перегрева пара. Тепло отходящих из теплообменников газов используется для получения пара.

Генератор снабжен вращающейся решеткой с сумм удалением золы. Во избежание образования шлака на стенках нижняя часть шахты снабжена водяной рубашкой. Над зоной газификации расположена дистилляционная шахта, в которую производится загрузка свежего топлива через загрузочную воронку с двойным затвором. Газы горячего дутья, выходящие из генератора, проходят через оба теплообменника и через паровой котел, после чего отводятся в дымовую трубу. По выходе из генератора они содержат около 10% CO. Для дожигания к ним прибавляется в теплообменнике добавочный воздух. Насадка в камерах нагревается приблизительно до 800°; газы выходят из котла при 250°. Полученный в котле пар сперва поступает в турбовентиляторы, а мятый пар из турбин, имеющий еще давление около 1 избыточной атмосферы, поступает в генератор. Способ работы установки следующий.

Воздух подается в генератор при помощи воздушного вентилятора (справа на рис. 30); по окончании горячего дутья перекрываются вентили между генератором, теплообменниками и котлом и водяной пар из парового аккумулятора, изображенного на рис. 30 над воздушным вентилятором, впускается во второй теплообменник, откуда в перегретом состоянии попадает в генератор. Водяной газ проходит слой свежего угля в дистилляционной шахте; при этом уголь только частично выделяет летучие, так как количество физического тепла, вносимое водяным газом в дистилляционную шахту, недостаточно для полного коксования. Часть образовавшегося смешанного газа отсасывается из верхней части шахты (справа) при помощи эксгаустера и прогоняется через первый теплообменник. Газ нагревается при этом приблизительно до 700° и по соединительному штуцеру попадает обратно в дистилляционную шахту. Таким путем часть полученного смешанного газа циркулирует между дистилляционной шахтой и теплообменником и переносит тепло из теплообменника в шахту. Нециркулирующая часть газа отводится из шахты с противоположной стороны и поступает в газоочистительную установку, которая состоит из двух холодильников. В первом холодильнике отделяются высококипящие составные части смолы, а во втором конденсируются масла и водяной пар. Масла легко отделяются от воды, в виду разницы в удельных весах. Масло обычно используется для карбюрирования газа. Для этой цели оно во время циркуляции газа впрыскивается в теплообменник, где испаряется и превращается в постоянные газы.

Акционерное общество Julius Pintsch в Берлине запатентовало генератор водяного газа (германский патент 442259) с отдельным обогревом сушильной и дистилляционной шахт. В этой конструкции

особое внимание обращено на хорошую регулировку обогрева этих шахт. В патентном описании конструкции отмечено, что в некоторых случаях выгодно дистилляцию и подсушку сделать независимыми друг от друга и от подвода горячего водяного газа. Иногда лучшие результаты получаются в том случае, когда нагретый газ служит только для подсушки или одна часть его для подсушки, а другая для дистилляции, а горячий водяной газ одновременно ли с этим, позднее или раньше пропускается через дистилляционную шахту. Конструкция, предложенная для этой цели, изображена на рис. 31.

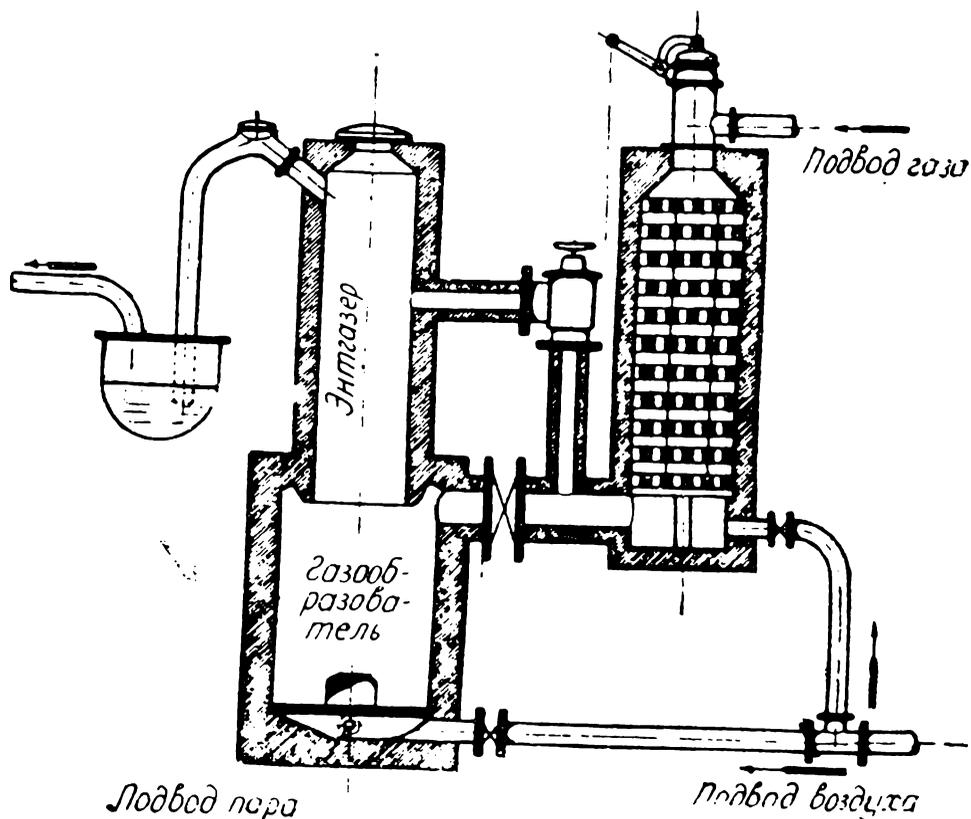


Рис. 31. Генератор двойного газа с разветвленным циркуляционным потоком системы Pintsch.

Генератор соединен с теплообменником двумя трубопроводами; по одному трубопроводу газ подается под дистилляционную шахту, а по другому — выше, в том месте, где еще не происходит дистилляция топлива. Количество газа, подводимое по этим трубопроводам, регулируется вентилями. Способ этот пока еще не осуществлен.

Карбюрирование двойного газа с применением циркуляции

Из предыдущего описания установок двойного газа, работающих с циркуляцией, мы видели, что и в этом случае применяется карбюрирование смолой. Карбюрирование протекает или в регенераторе, служащем для нагревания циркуляционного газа, при чем оно за-

вершается в горячих слоях кокса в газогенераторе, или же может проводиться в специальном карбюраторе.

В первом случае служащие для карбюрации углеводороды или непосредственно уносятся сырым газом в перегреватель, или же вбрызгиваются в него в виде смолы и масел.

Уже Strache намечал два пути для сырого газа (венгерский патент 69617). В первом случае (рис. 25) весь сырой двойной водяной газ должен проходить через перегреватель сверху вниз. По выходе из перегревателя газ разделяется на две части; одна часть служит для циркуляции, а другая отводится через гидравлический затвор в газоочистительную установку. В другом случае (рис. 26) через перегреватель прогоняется только ответвленная часть сырого газа.

В случае прохождения всего газа через перегреватель, газ, выходящий из дистилляционной шахты с температурой около 300° или ниже, должен при прохождении через перегреватель вновь нагреваться и по крайней мере до 700° , а так как в большинстве случаев он при этой же температуре поступает в газоочистительную установку, то он уносит с собой значительное количество тепла, которое или совсем не используется для газообразования, или может быть использовано в очень незначительной степени.

Дальнейшее следствие заключается в том что при одинаковом нагреве перегревателя остается меньше тепла, предназначенного для возвращения в генератор циркулирующими газами, и эффект действия последних становится ниже.

При описании установок двойного газа с циркуляцией системы Breisig (стр. 94) было сказано, что в них предусмотрена возможность выключения смолоотделителя, так что сырой газ с парами смолы может быть взят для циркуляции. Там было, следовательно, предусмотрено пропускание через перегреватель только циркуляционного газа. По имеющимся сведениям, фирма Kreisa, работающая вместе с Breisig'ом, предусматривает и пропускание всего сырого газа через перегреватель. Об этом способе в статье Stephan'a¹ сказано следующее: «фирма Kreisa применяет для карбюрации газа перегрев полученной смолы и, кроме того, часть карбюрированного смолой газа при помощи особых побудителей отводит во время газования обратно в дистилляционную шахту; при этом температура перегрева смолы и место ввода газа в шахту выбраны с таким расчетом, чтобы разложения смолы (очевидно, следует понимать: «газообразных углеводородов») не наступало».

Stephan указывает, что расход угля на 1 м^3 в 3624 кал. карбюрированного смолой двойного газа составляет $0,67$ кг органической массы с теплотворной способностью не менее 7500 кал., при условии, что выход первичной смолы равен $11,7\%$; при этом получается еще около 5% высокотемпературной смолы. Дальнейшие указания о выходах в генераторах Kreisa были приведены W. H. Fulweiler'ом в до-

¹ Gas- und Wasserfach, 1926, стр. 526.

кладе на мировой угольной конференции в Питтсбурге¹ (ноябрь 1926 г.)

Ответвление для циркуляции части карбюрированного газа по выходе из перегревателя себя не оправдало. Об этом можно заключить по сообщению Freyss (стр. 76) об одной установке во Франции и из того обстоятельства, что на одной немецкой установке, поставленной фирмой Kreisa, от обогрева циркуляционным газом также отказались. В обоих случаях один из теплообменников используется теперь только как фиксатор для всего сырого газа.

Второй намеченный Strache путь, а именно, отвод только части сырого газа через регенератор и возвращение его обратно в генератор, испытывался неоднократно, но также везде был оставлен. Так, изображенная на рис. 30 установка Vomag в Posen не оправдала возлагавшихся на нее надежд; об этом можно судить хотя бы потому, что в новой конструкции фирмы предусматривается пропускание всего газа через регенератор, при чем в качестве циркуляционного газа служит очищенный уже газ (ср. стр. 111).

Применение неочищенного двойного водяного газа для циркуляции, как видно, себя не оправдало. Причины этого заключаются в следующем.

Прежде всего эксгаустеры для циркуляционного газа при работе на горячем смолистом газе очень быстро изнашиваются. Применение же вместо них инжекторов, без сомнения, сильно усложнило бы установку. Кроме того, верхняя наиболее горячая часть насадки регенератора сильно загрязняется и разрушается, что влечет за собой частые остановки. Это заметно даже и при небольшом содержании смолы в газе, как мы видели на примере установки в Preston (стр. 100), а при большом содержании смолы в сыром газе это должно сказаться еще сильнее. Кроме того, проведение в одной камере двух процессов, а именно нагрева циркуляционного газа и крекинга углеводородов, представляет большие трудности в смысле выдерживания наиболее благоприятных условий для обоих процессов. На это еще раньше обратили внимание в Англии при опытах по повышению теплотворной способности двойного газа до 4500 кал. путем карбюрирования маслом, при чем, следовательно, крекинг масла имел еще большее значение, чем при карбюрировании собственной смолой. Об этом можно заключить по сообщению M. W. Travers² об упоминавшейся выше установке в Aylesbury (стр. 96). В этой установке масло вбрызгивали в перегреватель в поток циркуляционного газа. Travers считает этот способ неподходящим для сильного повышения теплотворной способности газа и приводит по этому поводу следующие соображения:

«Работе крекера в установке для получения карбюрированного двойного водяного газа следует уделять больше внимания, чем

¹ Proceedings of the International Conference on Bituminous Coal (Pittsburgh), 1926, стр. 506.

² Английский Gas Journal, 2/VII 1924, стр. 154.

эффективности дистилляции угля циркуляционным газом. В установке Aylesbury карбюраторное масло впрыскивается в теплообменник, служащий для нагревания циркуляционного газа. Распыленное масло смешивается с циркуляционным газом, проходит с ним через перегреватель и, превратившись в газ, поступает в газогенератор, где смешивается с водяным газом, выходящим из зоны газификации. При этих условиях нельзя ни регулировать количество газа, проходящего через перегреватель, ни контролировать соотношение

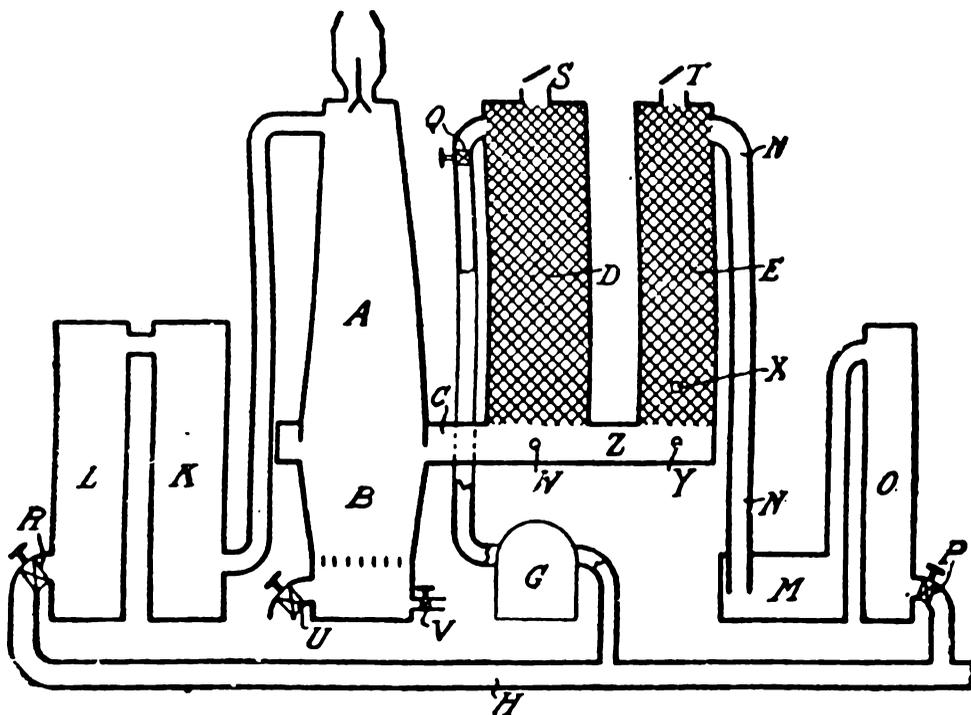


Рис. 32. Установка для получения карбюрированного маслом двойного газа системы Travers и Clark.

количеств масла и циркуляционного газа, а также и температуры в наиболее горячих местах цикла, которые поддерживаются сообразно с требованиями дистилляции угля и являются слишком высокими для крекинга масла. Разложение олефинов выше 800° протекает очень быстро; доля разложившихся веществ возрастает с увеличением имеющегося в наличии количества углеводородов, подлежащих разложению. В виду этого процесс карбюрирования будет тем менее выгоден, чем большее количество масла для этого применяется. При крекинге в токе циркуляционного газа теплотворная способность газа может быть еще довольно легко повышена до 4055 кал. на 1 м^3 . В том случае, когда должна быть получена более высокая теплотворная способность, необходимо применять, на ряду с камерой для подогрева циркуляционного газа, специальную камеру для карбюрирования, как это предусмотрено в патенте Travers'a и Clark'a (британский патент 210356)».

Схема такой установки изображена на рис. 32. В месте соединения шахты дистилляции A и шахты газификации B расположен

канал *C*, который соединен с двумя параллельно включенными регенераторами *D* и *E*. Первый служит для обогрева циркуляционного газа, а второй является карбюраторной камерой. При горячем дутье воздух по трубе *U* подается под решетку; газы горячего дутья смешиваются в канале *C* со вторичным воздухом, поступающим по трубам *W* и *Y*. При газовании пар впускается по трубе *V* и в шахте газификации *B* превращается в водяной газ. Выходящие из генератора *A* газы попадают в скруббер *K* и затем в холодильник *L*, откуда выходят в главный газопровод *H*. Из этого газопровода часть газа засасывается вентилятором *G* для циркуляции и через открытый ventиль *Q* прогоняется в регенератор *D*, где сильно перегревается.

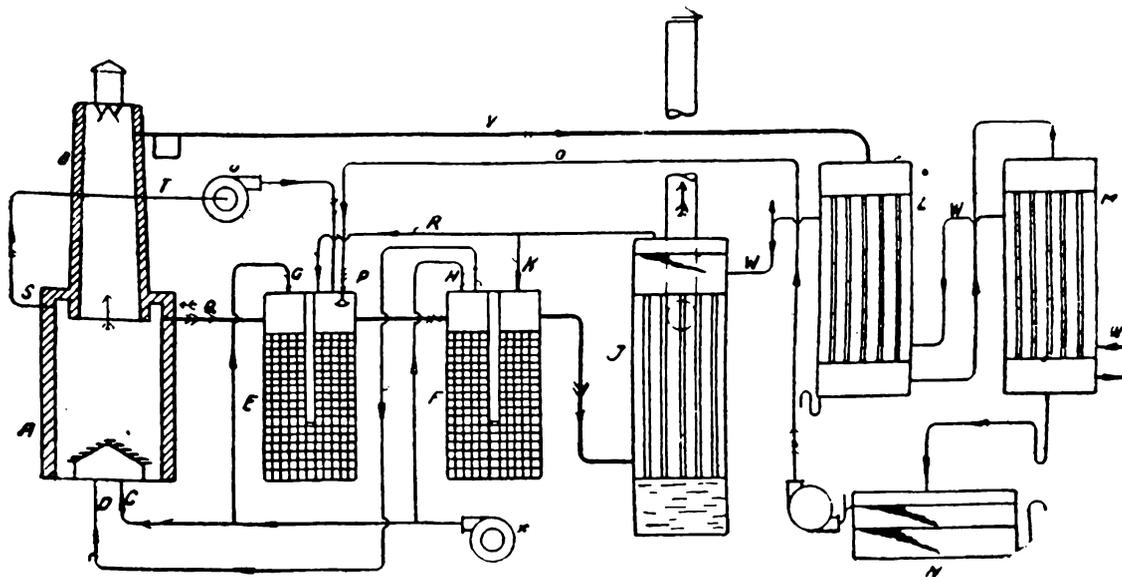


Рис. 33. Установка для получения карбюрированного смолой двойного газа системы Mezger-Nübling.

В канале *C* ток газа разделяется: часть поступает в дистилляционную шахту *A*, а другая часть по соединительному каналу *Z* в карбюратор. В карбюратор по трубе *X* вбрызгивается масло, которое разлагается на раскаленной насадке. Карбюрированный газ по трубопроводу *N* поступает через гидравлический затвор *M* и холодильник *O* в главный газопровод. Количество газа, поступающего в карбюратор, регулируется ventилем *P*. Описанное здесь предложение было позднее осуществлено на установках в Preston и Herrow.

Недавно Nübling и Robert Mezger (Stuttgart) запатентовали способ карбюрирования двойного водяного газа смолой (германский патент 45 608). Этот способ является дальнейшей разработкой метода карбюрирования газа смолой при обогреве шахты циркуляционным газом, но, так как практического осуществления он еще не получил, мы будем базироваться на описании, приведенном в патенте. Старые способы, в которых сырой газ, выходящий из дистилляционной шахты подводится в перегреватель, связаны с большими потерями тепла, вызываемыми, как уже было указано, повторным нагрева-

нием всего газа приблизительно с 200 до 700°. Это тепло газов не используется. Другим, также упоминавшимся недостатком способа является то, что в перегревателе не только фиксируются пары смолы, но и разлагаются высококалорийные газы низкотемпературной дистилляции. По способу Nüling и Mezger часть газа, выходящего из шахты сухой перегонки *B* (рис. 33), поступает в два последовательно соединенных холодильника *L* и *M*. В первом холодильнике *L* выделяются только тяжелые составные части смолы, а во втором холодильнике *M* масла и вода. Охлаждающая вода *W* проходит последовательно через оба холодильника противотоком. Отделяющиеся от воды масла из сборника *N* подаются в перегреватель *E* и превращаются в нем в высокотемпературную смолу и высококалорийный газ. Одновременно с маслами в карбюратор поступает и остаток газов, выходящих из дистилляционной шахты. Газ нагнетается в карбюратор вентилятором; выходящий из карбюратора газ со смоляным туманом поступает непосредственно под дистилляционную реторту *B* генератора. Таким путем удастся не только фиксировать смоляной туман, но и использовать для дистилляции и сушки тепло, накопленное в насадке перегревателя *E*. Дальнейшее развитие этого способа базируется на следующих соображениях: наиболее высокую теплотворную способность смеси газов можно получить только в том случае, если, с одной стороны, высококалорийный водяной газ получать лишь с очень небольшим количеством инертных газов и, с другой стороны, вести процесс так, чтобы в реторте *B* вырабатывались только швельгаз и низкотемпературная смола. Теплотворная способность швельгаза, которая при каменном угле может достигать 8000 кал. и даже больше, должна быть сохранена. Поэтому нецелесообразно снова нагревать и разрушать его полностью или частично. Весь газ должен поступать в холодильники *L* и *M* для дробного охлаждения. Для карбюрации употребляются только легкие масла, которые по трубе *O* через сопло *P* вводятся в карбюратор *E*. Масляный газ по трубе *Q* подводится в генератор, где смешивается с проходящим там газом. Это может быть осуществлено:

1. Без дополнительных переносчиков тепла.
2. При подводе пара из котла по трубе *R*.
3. При отборе части водяного газа сверху шахты газификации по трубе *T* при помощи вентилятора *U* и возвращении его в генератор через карбюратор и трубу *Q*.

При работе по первому способу часть образующейся при карбюрации высокотемпературной смолы остается в карбюраторе и сжигается при следующем периоде горячего дутья. Тепло ее используется в конечном итоге в паровом котле *J*.

При втором способе работы из первичной смолы получают высококалорийный газ и высокотемпературная смола, которая в виде тумана уносится паром, поступающим по трубе *R*. При этом пар перегревается приблизительно до 700° и, вследствие высокой теплоемкости, переносит в дистилляционную шахту по трубе *Q* значительное количество тепла, чем облегчает дистилляцию угля в шахте *B*.

Этот водяной пар при прохождении холодильников *L* и *M* опять отделяется от газа. Таким образом устраняется разбавление газа малокалорийными газами. При применении более длинных периодов горячего дутья в шахте *A* может быть сожжено больше кокса и, следовательно, использовано больше тепла в котле *J*. Таким путем можно получить газ с высокой теплотворной способностью, так как при этом количество высококалорийного дистилляционного газа повышается по сравнению с количеством более бедного водяного газа. По третьему способу достигается экономия пара, удаление же тумана из перегревателя имеет место так же, как и в предыдущем случае.

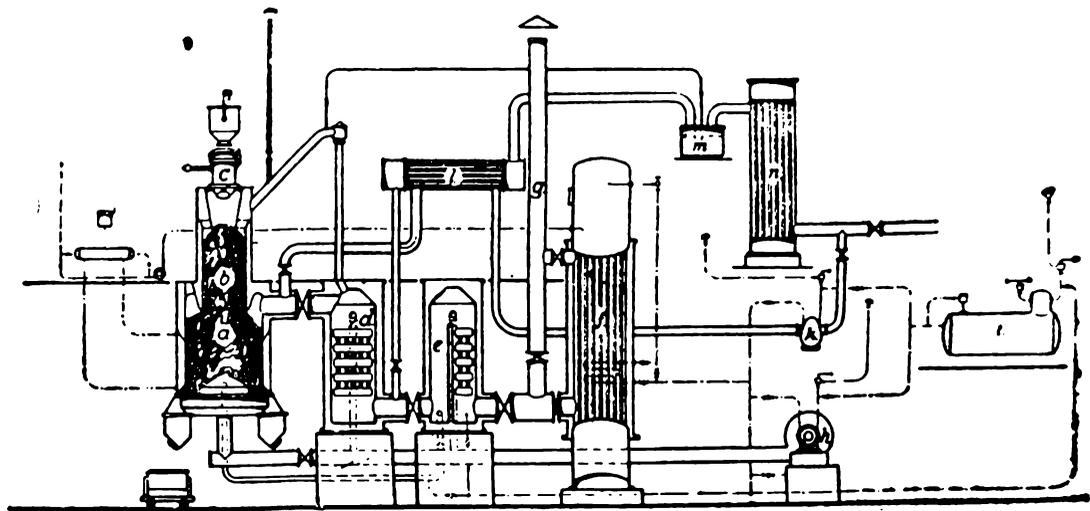


Рис. 34. Установка для получения двойного газа с карбурованием собственной смолой системы *Bomag*.

Выше отмечалось, что фирма *Bomag* в позднейших конструкциях генераторов двойного газа отказалась от циркуляции сырого газа. Она также, очевидно, поняла, что при карбуровании двойного газа собственной смолой крекинг имеет большее значение, чем обогрев шахты циркуляционным газом.

В новой конструкции *Bomag*, изображенной на рис. 34, газы горячего дутья выходят так же, как и в прежних конструкциях из нижней части *a* генератора и проходят через два теплообменника *d* и *c*, откуда поступают в котел *f*, соединенный с водяной рубашкой генератора. Пар и здесь служит для питания турбо-вентилятора *h*, откуда мятый пар поступает в аккумулятор пара *i*. При газовании пар из аккумулятора поступает во второй теплообменник *e*, откуда в перегретом состоянии подается под решетку генератора. Весь газ, выходящий из дистилляционной шахты *b* подается в камеру перегревателя *d*, где протекает крекинг смоляных паров. Отсюда через теплообменник *l*, гидравлический затвор *m* и холодильник *n* газ попадает в главный газопровод. Из этого газопровода часть газа засасывается вентилятором *k* и через теплообменник *l* прогоняется в кольцевое пространство между шахтами дистилляции и газификации.

Циркулирующий газ здесь служит в первую очередь для того, чтобы отнять при посредстве теплообменника l возможно большее количество тепла от газа, выходящего при довольно высокой температуре из камеры фиксации d . Одновременно с этим достигается и улучшение условий крекинга. При длительном прямом горячем дутье горячая зона перемещается по направлению кверху. Вследствие этого, насадка камеры фиксации d сильно перегревается, что влечет за собой далеко идущее расщепление углеводородов во время фиксации. Вступающий в верхнюю часть шахты газификации циркуляционный газ имеет значительно более низкую температуру, чем ранее при нагревании его в первом теплообменнике. Благодаря этому, он несколько понижает температуру в средних слоях генератора, вследствие чего при дутье температура не поднимается здесь слишком высоко и камера фиксации не перегревается чрезмерно.

В конце этого отдела следует еще упомянуть о *недавно сконструированном в Англии генераторе двойного водяного газа*, в котором часть готового газа служит для циркуляции. В противоположность большинству описанных выше конструкций, ввод циркуляционного газа устроен здесь не в середине шахты, а в нижней части шахты газификации, куда газ подается в смеси с водяным паром.

Поставленная фирмой *Hull, Preys and Glasgow* на газовом заводе *North Middlesex Gas Company* в *Mill Hill* установка двойного водяного газа зарекомендовала себя, как указано в *Gas Journal* (Лондон), при многолетней работе с лучшей стороны. На ней перерабатывались различные сорта каменного угля и кокс, а также и смесь обоих этих топлив, при чем получали как некарбюрированный, так и карбюрированный маслом газ.

Установка, изображенная на рис. 35, работает с применением предложенного *Whitwell* газования обратным током (стр. 27). Способ работы ее следующий. Шахта газификации соединена в верхней и нижней части с камерой первого перегревателя. Горячее дутье ведется снизу и газы горячего дутья проходят по средней соединительной трубе последовательно через первый и второй теплообменники, в которых дожигаются обычным способом; продукты горения отводятся в дымовую трубу. Тепло, накопленное в камерах перегревателей, возвращается во время газования обратным током в генератор, кроме того, частично используется для карбюрации. Образующиеся во время горячего дутья продукты дистилляции отводятся по особому трубопроводу в газоочистительную установку.

Во время части периода газования уголь в дистилляционной шахте обогревается водяным газом, поднимающимся из зоны газификации. В это время газование ведется способом, обычным для газования обратным током: водяной пар вступает сверху во второй теплообменник, при чем к нему предварительно примешивается сырой двойной газ из трубопровода, ведущего к гидравлическому затвору. Смесь газа и пара проходит затем через первый теплообменник и подводится снизу в генератор.

Во время другой части периода газования водяной пар, минуя перегреватели, подается также снизу в генератор. Водяной газ проходит через дистилляционную шахту, откуда газовая смесь в том случае, если она должна карбюрироваться, подается в карбюратор и перегреватель, в противном же случае непосредственно в газоочистительную установку. В зависимости от условий работы и свойств

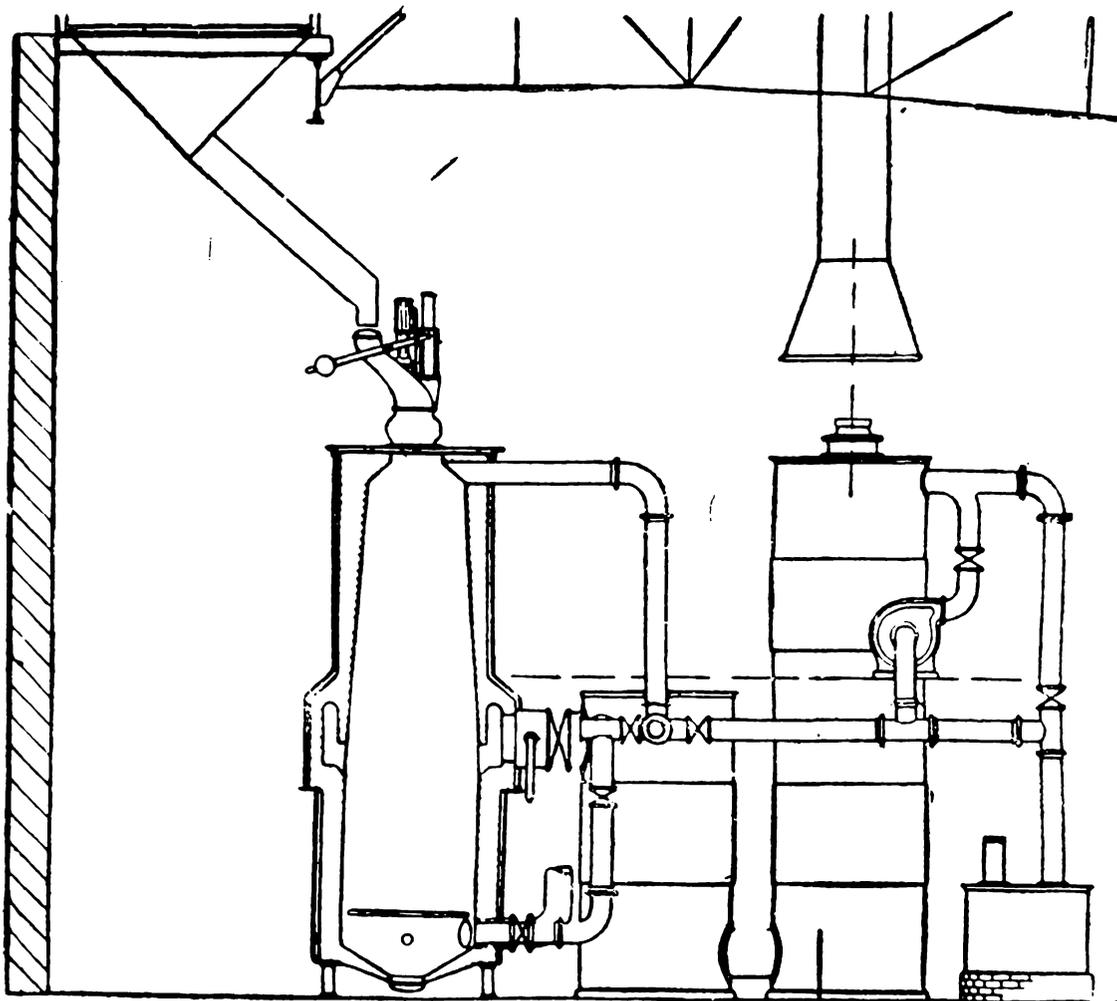


Рис. 35 Установка для получения двойного газа с обогревом циркуляционным газом и газованием обратным током см. темы Humphreys and Glasgow.

угля включаются периоды обратного газования, при котором пар подается по среднему трубопроводу. При желании полученный таким путем водяной газ может быть также подвергнут карбюрированию.

При 72-часовом опыте Н. G. Colman получил при производстве лекарбюрированного двойного газа следующие результаты:

Прогазифицировано угля	39,6 т
Получено газа	57500 м ³
Выход газа из тонны угля	1450 м ³
Средняя теплотворная способность газа	3010 кал./м ³
Из тонны угля получено в газе	4,35 млн. кал.
Кэфф. полезного действия газификации	54,5%

Средний состав газа

	%
CO ₂	5,2
O ₂	0,3
C _n H _m	0,5
CO	31,8
H ₂	49,2
CH ₄	5,0
N ₂	8,0

Влажность угля была равна 1,7⁰/₀, содержание золы 4,5⁰/₀ и летучих 33,3⁰/₀, выход кокса 60,5⁰/₀.

В статье¹ приведены данные суточных опытов, проведенных фирмой Humphreys and Glasgow с различными английскими каменными углями; результаты, в общем, совпадают с приведенными выше. Газовый завод установкой доволен и намеревается поставить вторую такую же.

При сравнении теплотворной способности и выхода газа (4,35 млн. кал. из 1 т), полученных на этой установке с цифрами, характеризующими работу установки в Preston (стр. 102), обнаруживается большое сходство результатов, несмотря на различные методы работы. Статья, касающаяся описанной выше установки системы Humphreys and Glasgow, во многих отношениях дополнена F. J. Peare² в докладе, прочитанном перед английскими специалистами газового дела. После преодоления некоторых трудностей удалось добиться безупречной работы установки. Из произведенных изменений следует отметить постановку второго промывателя («Backun-Wascher»), работающего по принципу гидравлического затвора. Через этот промыватель проходил двойной водяной газ во время газования обратным током. Кроме того, во время удаления шлаков дистилляционные газы засасывались паровым инжектором в гидравлической затвор, находящийся перед главным газопроводом³. До этого они или попадали неиспользованными в дымовую трубу, или выходили через шлаковые дверцы. Работа вентилятора для циркуляционного газа, которая сперва относилась к одной из слабых сторон установки, была значительно улучшена. На новой установке решено поставить вспомогательный вентилятор. Работа на угле дает, приблизительно, на 25⁰/₀ меньшую производительность, чем работа на коксе. Производственники видят особое преимущество этой установки в том, что, благодаря ей, их не связывает положение на коксовом рынке; многолетний опыт показал, что установка легко может переходить с газификации каменного угля на газификацию кокса. Нет сомнения, как отмечено в докладе, что при производстве городского газа на упомянутом газовом заводе путем безостаточной газификации в генераторах двойного водяного газа, получают значительные экономи-

¹ Gas Journal (Лондон), 13/III 1929, стр. 727.

² Gas Journal (Лондон), 25/XI 1929, стр. 580—87.

³ О подобном приспособлении на газовом заводе Dresden-Reick позднее сообщил W. Schroth, Gas- und Wasserfach, Sonderheft, 24, V 1930, стр. 24.

ческие преимущества, по сравнению с ретортным производством газа, комбинированным с получением коксового водяного газа; однако эти преимущества в цифрах еще не выявлены.

IV. ОСОБЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА В УСТАНОВКАХ ДВОЙНОГО ГАЗА

А. Генераторы двойного газа с нагревом шахты газификации поперечным потоком

Из немногих разработанных в Америке конструкций генераторов двойного газа одна значительно отличается от описанных выше и заслуживает более подробного рассмотрения. Главнейшей особенностью ее является нагрев шахты газификации в основном, поперечным движению топлива потоком и накопление тепла и нагрев водяного пара в двух системах теплообменников, расположенных с противоположных сторон генератора.

Горячее дутье поперек генератора применялось в некоторых конструкциях генераторов водяного газа (например, Reitmaier'a) и раньше. Воздух должен был проходить ровным потоком через слой топлива большой высоты; благодаря этому и при коротком дутье в шахте должен получаться высокий раскаленный слой кокса, что должно благоприятно отражаться на образовании водяного газа. Для получения водяного газа из непрококсованных топлив и раньше предлагались генераторы с двойными теплообменниками.

В одной из конструкций, запатентованных в Англии в 1921 г. (патент 179643), двойной регенератор поставлен, по всей вероятности, для того, чтобы иметь возможность вести горячее дутье попеременно снизу вверх и сверху вниз. Дистилляционная шахта сделана настолько высокой, что смоляные пары конденсируются в верхних слоях топлива. Смола стекает вниз, где разлагается и карбюрирует таким образом газ.

Прототипом этих генераторов двойного газа с двойными теплообменниками можно считать запатентованную Friedrich'ом Siemens (Берлин) конструкцию (патент 303062), хотя она предусматривала, главным образом, дистилляцию с внутренним обогревом, и получение водяного газа являлось в ней побочным производством (ср. главу V).

В последующих установках этого рода, которые только в отдельных случаях осуществлялись на практике, поперечный разогрев применялся, главным образом, для того, чтобы получать высокую зону газификации. При этом в обогащенных уже золой нижних слоях кокса температура не должна повышаться слишком высоко. Накопление во время горячего дутья больших количеств тепла в регенераторах и возврат его в виде перегретого пара в генератор должны увеличивать подвод тепла в дистилляционную реторту. При таком ведении процесса нельзя избежать, однако, плохого выгорания горячего в золе.

На этом принципе основан, изображенный на рис. 36, генератор двойного газа, который американские авторы¹ называют *системой Doherty*. Над генератором помещена высокая дистилляционная шахта, в которой происходит постепенное нагревание топлива и медленное выделение первичной смолы. Верхняя часть

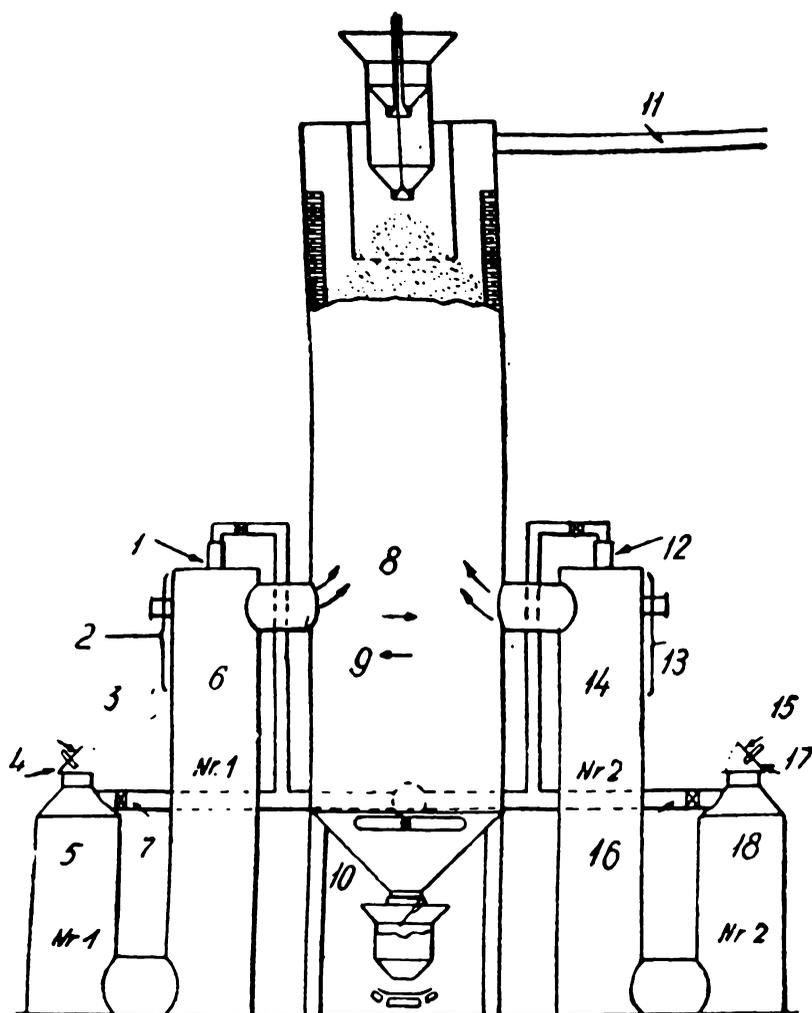


Рис. 36. Генератор двойного газа системы Doherty.

1—вторичный воздух, 2—камера горения, 3—впускное отверстие для пара или воды, 4—клапан для отходящих газов, 5—вспомогательный регенератор № 1, 6—главный регенератор № 1, 7—первичный воздух, 8—водяной газ, 9—горячие газы, 10—впускное отверстие для холодного пара, 11—газопровод, 12—вторичный воздух, 13—камера горения, 14—главный регенератор № 2, 15—паро- или водопровод, 16—первичный воздух, 17—клапан для отходящего газа, 18—вспомогательный регенератор № 2.

шахты газификации соединена с двумя теплообменниками, расположенными по бокам генератора. Каждый регенератор состоит из главной камеры и более низкой вспомогательной. При горячем дутье воздух вступает сверху в первую вспомогательную камеру и из нее переходит в главную камеру; при этом клапан для отвода дымовых газов из регенератора закрыт. Из регенератора воздух попадает

¹ Haslam and Russel, Fuels and their Combustion (1926), S. 702, u. R. G. Porter, Proc. Am. Gas. Assoc., Techn. Session, 4, 374 (1922).

в шахту генератора и образовавшиеся газы горячего дутья проходят в противоположном направлении второй регенератор, где сгорают в смеси со вторичным воздухом. Продукты горения отводятся через клапан в дымовую трубу. Во время дутья через дистилляционную шахту нет никакого тока газов. При последующем газовании пар пропускается через разогретый регенератор, при чем вспомогательная ка-

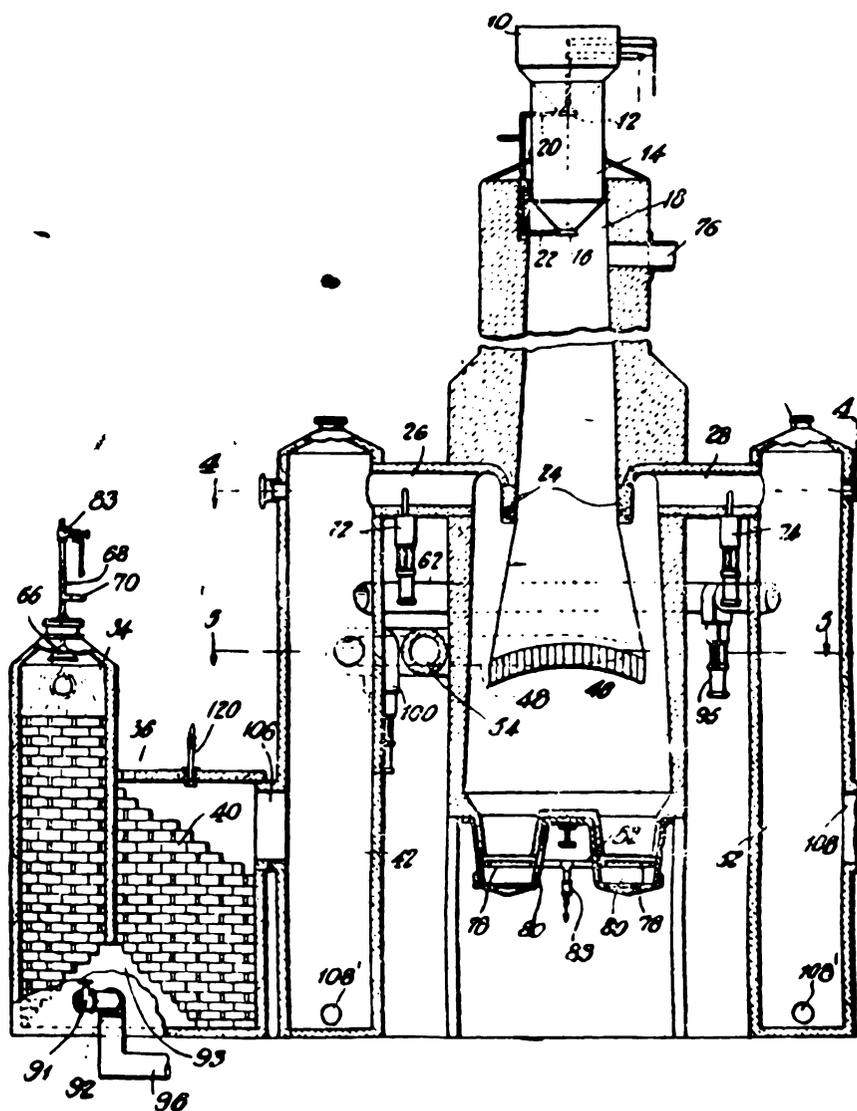


Рис. 37. Генератор двойного газа системы Loebell.

мера может служить испарителем. В следующем затем цикле дутья и газования газы движутся по регенераторам в обратном направлении. Невыгоревший кокс охлаждается в нижней части шахты и после выгрузки из генератора освобождается механически от большей части золы. Затем в смеси со свежим топливом он снова загружается в дистилляционную шахту.

Данные о работе этого генератора, как-будто, еще не опубликованы.

Н. О. Loebell (New York) недавно разработал конструкцию, весьма сходную с описанной выше. Схема ее изображена на рис. 37.

Устройство этого генератора и способ работы на нем, после описания генератора Doherty, не нуждаются в особом пояснении. С правой стороны генератора стоит еще вспомогательный рекуператор, опущенный на рисунке. Этот рекуператор, как и изображенный на рисунке слева, состоит из двух камер. При конструировании генератора особое внимание было уделено образованию высокой и горячей зоны газификации в средней части шахты. Для этой цели воздух

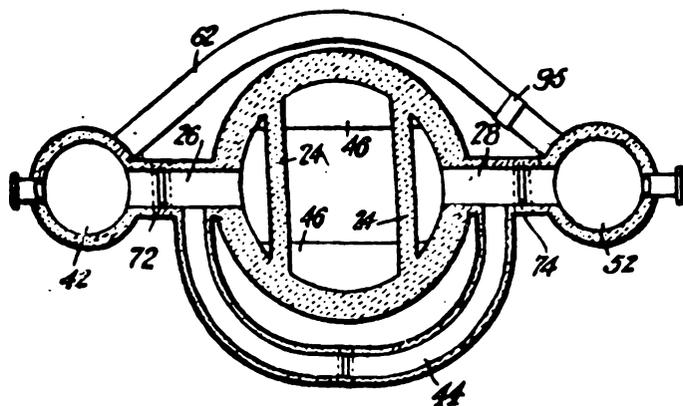


Рис. 37а Генератор двойного газа системы Loebell (разрез).

прогоняется по длинному пути в нисходящем направлении через слой кокса; газы горячего дутья из нижней части зоны газификации отводятся в теплообменник. Высокие шахты регенераторов 42 и 52 соединены штуцерами 26 и 28 с открытыми снизу каналами в стенке шахты генератора. Эти каналы образуются, с

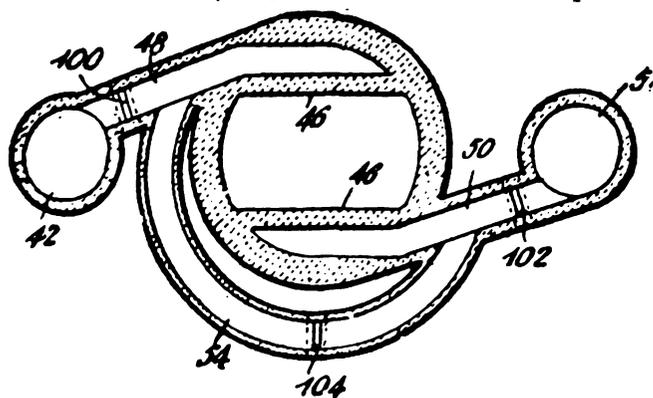


Рис. 37b. Генератор двойного газа системы Loebell (разрез).

одной стороны, стенками шахты, а с другой — сводчатыми удлинениями нижней части шахты дистилляции. Штуцеры 26 и 28 соединены, кроме того, друг с другом обводным каналом 44 (рис. 37а). На некотором расстоянии ниже сводов 24 устроены своды 46. Они образуют в стенке шахты сборные камеры для газа, которые соединены штуцерами 48 и 50 с камерами регенераторов 42 и 52 (рис. 37b). На соединяющих трубах находятся запорные клапаны. Штуцеры 48 и 52 соединены трубой 54, на которой помещается вентиль 104.

При горячем дутье воздух вступает сверху в наружную камеру 34 регенератора, которая во время предыдущего газования служила испарителем. Отсюда воздух поступает в камеру перегрева 40,

проходит по высокой камере 42 и через штуцер 26, канал 44 и штуцер 28 попадает под своды 24; затем он опускается вниз по слою топлива. Образующийся при этом генераторный газ собирается под сводом 46 и попадает, частью непосредственно, частью через канал 48 (отъединенный теперь вентилями 100 от регенератора 42) и обвод 54 в штуцер 50 и камеру 52, где он сгорает в смеси с добавочным воздухом. Добавочный воздух подводится из камеры 42 по трубе 62. Продукты горения проходят в регенератор, откуда выходят через дымовой клапан. При газовании в крайние камеры обоих регенераторов выбрызгивается вода; образующийся водяной пар перегревается в соседних камерах и через вентилями 100 и 102 и штуцеры 48 и 50 попадает под своды 46. Отсюда он поднимается по слою раскаленного кокса.

Вследствие большой длины пути, который проходят газы горячего дутья в слое топлива, содержание СО в них велико и поэтому в теплообменниках накапливается большое количество тепла. Значительная часть этого тепла возвращается в зону газификации и используется для газообразования. Тепло, остающееся еще в регенераторах, после периода газования воспринимается в известной степени холодным воздухом. Благодаря образованию большого количества окиси углерода в газах горячего дутья температура в слое кокса не поднимается слишком высоко, что предохраняет от образования шлаков. Опасность шлакования устраняется еще и тем, что из нижней части генератора, как и в конструкции Doberly, выгружается кокс, который снова загружается в генератор в смеси со свежим углем.

Недавно и в Германии было построено несколько генераторов двойного газа с подобной системой использования тепла и разогретом шахты поперечным потоком. Газы горячего дутья проходили наискось к каналу, расположенному у основания генератора, откуда попадали в противоположный регенератор. Такое проведение горячего дутья имело целью создать наиболее горячую зону, как и в тригазгенераторах (стр. 68), в непосредственной близости от дистилляционной шахты. Был ли этот способ работы сохранен в дальнейшем — неизвестно.

В. Генераторы двойного газа с двумя шахтами

Раньше, хотя и довольно редко, но все же строили установки водяного газа, в которых два генератора соединялись для совместной работы. Для производства голубого водяного пара особое распространение из генераторов с двумя шахтами, или так называемых спаренных генераторов, получили генераторы фирмы Humphreys and Glasgow в Англии. Горячее дутье в этих генераторах ведется одновременно, параллельно, через обе шахты снизу вверх; во время газования генераторы соединены последовательно и газ идет по одному генератору снизу вверх, а по другому сверху вниз. Шахты генератора соединены снизу или сверху, или и снизу и сверху каналами, которые могут перекрываться. Разложение пара и образование газа, начавшись в одном генераторе, заканчивается во втором. В виду этого слой топлива может быть значительно ниже, чем в генераторе

с одной шахтой, при чем ухудшения газообразования опасаться не приходится. При горячем дутье в низком слое топлива легче получить высокое содержание углекислоты в газах, благодаря чему достигается более быстрый разогрев слоя топлива. Выработка же водяного газа с 1 м² сечения шахты, конечно, меньше, чем в генераторах с одной шахтой. Позднее конструкция этих генераторов изменялась иногда так, что при большом расходе газа обе шахты могли работать как отдельные генераторы, что исключало необходимость постановки резервных агрегатов.

В конструкции Kramers, выпущенной лет 20 тому назад фирмой Watergas Maatschappij, между шахтами генератора помещены два теплообменника, разогреваемые газами горячего дутья. Во время газования образовавшийся в одной шахте газ вместе с избыточным паром проходит в теплообменник, где пар сильно перегревается. Здесь значительная часть образовавшейся в первой шахте окиси углерода должна, по предположению изобретателя, реагировать по уравнению $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Благодаря этому, образование водяного газа во второй шахте должно облегчаться. Однако мало вероятно, что в теплообменнике, при господствующих там температурах, может происходить значительное изменение состава газа по реакции водяного газа. Влияние, оказываемое теплообменником, должно, в основном, сводиться только к сильному нагреванию смеси, что облегчает образование газа во второй шахте. W. A. Bone установил для одной такой установки в Leeds коэффициент полезного действия в 60,65%, следовательно, он был не выше, чем достигнутый уже ранее у коксовых одношахтных генераторов водяного газа. По германскому патенту 138477 способ Kramers'a и Aarts'a может применяться и для газификации битуминозных углей. Уголь загружается в одну из шахт после горячего дутья, при этом он выделяет летучие, нагреваясь как от соприкосновения с горячим коксом, так и под действием парогазовой смеси, поднимающейся из зоны газификации. Газы и пары из генератора поступают в регенератор, где, наряду с реакцией окиси углерода, как в коксовых генераторах, должно протекать разложение и фиксирование углеводородов. После этого процесс газообразования заканчивается во второй шахте. Газы проходят через вторую шахту в нисходящем направлении. Перед началом следующего периода газования топливо загружается в тот генератор, который был перед этим вторым по пути газов. Уголь даже и при небольших загрузках трудно прококсовать во время одного периода газования. Вследствие этого значительная часть продуктов дистилляции должна уноситься газами горячего дутья.

Сомнительно, чтобы этот метод работы установок Kramers'a и Arts'a, предназначенных для полного разложения продуктов дистилляции, был применен на практике.

На целом ряде маленьких газовых заводов в Англии были поставлены спаренные генераторы Tully¹. Обе шахты генератора *a* и *b*

¹ American Gas Light Journal, 1914. стр. 197.

соединены снизу каналом *l* (рис. 38). Горячее дутье ведется параллельно через оба генератора. Газы горячего дутья сгорают, при прибавке воздуха по трубам *f*, в теплообменниках *c*, окружающих высокие дистилляционные шахты *d*. Продукты горения поступают в трубу *e*. После горячего дутья закрывается один из ветвей *h* на газоотводящем трубопроводе *g*. Затем через штуцер *i* в первый регенератор впускается водяной пар, который через отверстия *k* поступает в слой кокса, находящийся в шахте *a*. Образующийся газ проходит по каналу *l* в слой кокса в шахте *b* и отсюда в дистилляционную шахту *d*. Сырой газ, смешанный с продуктами сухой перегонки, проходит по трубопроводу *g* в газоочистительную установку. После соответствующего охлаждения генераторов газование прекращается и повторяется горячее дутье. При следующем газовании путь пара начинается с второго регенератора и т. д. Загрузка свежего топлива в этой конструкции не связана с отдельными периодами газования, так как в высокой шахте дистилляция угля протекает постепенно; при этом нельзя избежать того, чтобы углеводороды, образующиеся в той шахте, через которую не идет в данный момент пар, не попадали в горячие слои кокса и не разлагались.

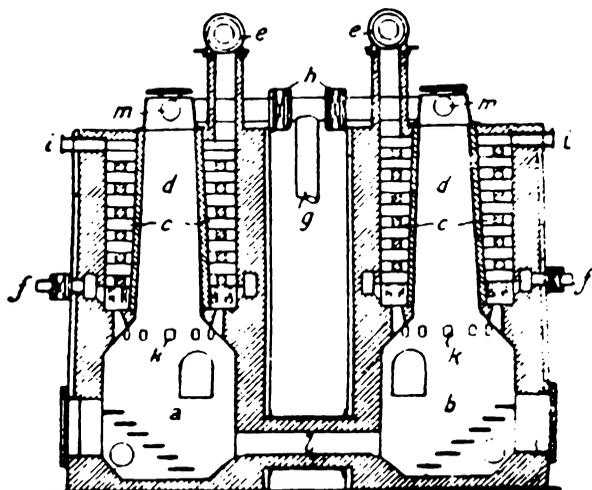


Рис. 38. Спаренный генератор водяного газа из каменного угля системы Tully.

Генератор водяного газа системы Rincker. К испытанным на практике генераторам с двумя шахтами относится установка, разработанная несколько лет тому назад Rincker'ом. Она предназначена для газификации каменных углей, но пригодна также для газификации кокса и получения карбюрированного водяного газа. Схема установки показана на рис. 39, изображающем генератор с часовой производительностью в 500 м^3 . Шахты генераторов имеют диаметр в 2,3 м и высоту в 3,2 м. Стенки шахт выложены огнеупорным материалом; верхняя и нижняя части шахты имеют коническую форму. Реагирующие газы подводятся под круглую решетку, диаметр которой равен 1 м. Решетка состоит из прямоугольных колосников, сечением $90 \times 40 \text{ мм}$; расстояние между колосниками равно 40 мм. Для подачи воздуха служит вентилятор с производительностью $1,65 \text{ м}^3/\text{сек.}$ при давлении 600 мм. По особому трубопроводу воздух может подаваться и в верхнюю часть шахт газификации. Газы горячего дутья отводятся непосредственно в дымовую трубу или же прогоняются сперва через паровой котел. Верхние части шахт соединены друг с другом трубопроводом с огнеупорной футеровкой. Нижняя часть каждой шахты под решеткой соединена с гид-

равли еским затвором, к которому присоединен главный газопровод.

При получении двойного водяного газа водяной пар впускается попеременно, то в одну, то в другую шахту и проходит по первой шахте сверху вниз, а по второй, содержащей свежезагруженный уголь, снизу вверх. При этом дистилляция угля протекает при сравнительно низкой температуре. Когда температура в первой шахте достаточно снизилась, газование прекращают и ведут через нее горячее дутье. После этого процесс повторяют до тех пор, пока дистилляция в другой шахте практически не закончится. Только тогда роли шахт меняются. В первую шахту, в которой значительная часть

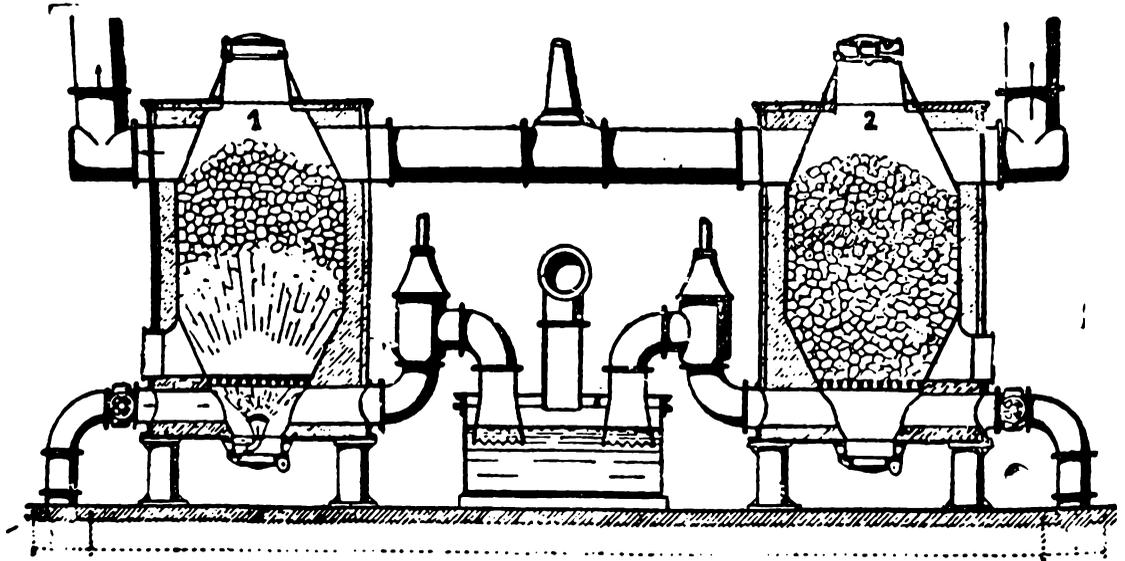


Рис. 39. Генератор двойного газа системы Rinsker.

топлива уже прореагировала, загружается свежий уголь, после чего ведут горячее дутье через вторую шахту, а образовавшийся в ней при последующем газовании водяной газ пропускают через первую и т. д. При прохождении продуктов дистилляции через раскаленные еще нижние слои топлива смола разлагается на постоянные газы. Горячее дутье продолжается около 2 мин., а газование от 5 до 6 мин.

При получении голубого водяного газа работа протекает так же, только горячее дутье ведется параллельно через оба генератора. Преимущество этой установки по сравнению с коксовыми одношахтными генераторами водяного газа усматривается в том, что газы горячего дутья содержат много CO_2 , а водяной газ - много CO и мало неразложенного пара.

В случае получения карбюрированного водяного газа газы горячего дутья из первого генератора проходят через второй. Это делается в целях накопления тепла, необходимого для разложения масла. В это время в трубопровод, соединяющий оба генератора, вводится вторичный воздух, который служит для дожигания окиси углерода. После этого в первой шахте получают водяной газ и пропускают его во вторую шахту, в которую одновременно вбрызгивается через рас-

пыливающие сопла карбюрационное масло. Имеются указания, что карбюрация требует известного внимания, так как температура должна держаться около 1000° . При более низкой температуре газификация масла протекает не полностью, а при более высокой — разложение заходит слишком далеко и ведет к выделению углерода.

Генератор Rincker'a, установленный на газовом заводе в Utrecht, при работе на грохоченом угле приблизительно с 8° золы и 35° летучих давал на 1 т угля 1500 м^3 двойного газа с теплотворной способностью 3100 кал./м^3 . Другая установка, построенная в Швейцарии, при работе на каменном угле не дает, по имеющимся сведениям, удовлетворительных результатов. Выход газа на этой установке около 1200 м^3 на 1 т. В виду высокого содержания летучих в угле, кокса, остающегося в шахте, не хватает для проведения полной дистилляции угля во второй шахте и поэтому при переходе второй шахты на горячее дутье в отходящих в трубу газах появляется дым. Образование его объясняется остатками летучих в топливе. Для устранения этого недостатка в первую шахту приходится добавлять столько кокса, сколько необходимо, чтобы довести до конца дистилляцию угля во второй шахте¹.

Недостатком способа Rincker'a является то, что тепло отходящих газов горячего дутья не используется для дистилляции угля. Даже в том случае, если оно и будет использоваться для получения пара, оно все-таки будет в этой форме мало содействовать дистилляции. В позднейших конструкциях спаренных газогенераторов этот недостаток устранен.

Система Berg'a. При безостаточной газификации углей в спаренных генераторах еще раньше предлагали полученный в одной шахте водяной газ перегреть в теплообменнике и после этого пропускать через вторую шахту, загруженную свежим углем. Для того, чтобы избежать разложения углеводородов и наряду с высококалорийным газом получать и первичную смолу W. A. P. Berg предлагает² нагретый в теплообменнике водяной газ пропускать снизу вверх через шахту, служащую для дистилляции. Для проведения этого процесса им предложена установка, изображенная на рис. 40.

Сперва ведется горячее дутье через слой кокса в генераторе *a*. Выходящие сверху газы горячего дутья поступают в нижнюю часть регенератора *b* и, пройдя вверх, покидают его через клапан *q*. В это время на слой кокса во втором генераторе *a*₁ загружается свежий уголь. При последующем газовании пар впускается в первый генератор. Полученный водяной газ вступает сверху в регенератор и проходит его сверху вниз. Из регенератора газ попадает снизу во второй генератор *a*₁.

В нижних горячих слоях кокса идет дальнейшее разложение пара, находящегося еще в водяном газе. Горячие газы поднимаются в верх-

¹ Bull. der Schweiz. Ver. v. Gas- und Wasserf. 6 (1926), № 11, стр. 333; angl. Gas Journal, 16/III 1927 и амер. Gas Journal, 16/I 1927, стр. 52. — Способ Rincker'a запатентован в Германии (патент 393800).

² Германский патент 391936.

ную часть шахты, где они производят дистилляцию угля. Регенератор, нагретый горячими газами до высокой температуры, отдает большую часть тепла водяному газу, который переносит значительное количество тепла во вторую шахту. Весьма сомнительно, что при небольших загрузках свежего угля можно избежать сильного расложения углеводородов. При работе же в этой конструкции с более высоким слоем коксуемого угля, по всей вероятности, имеющееся в распоряжении время будет, кроме того, недостаточно для полной дистилляции. Поэтому едва ли указанные генераторы будут пригодны для газификации с получением первичной смолы, как это предполагал конструктор.

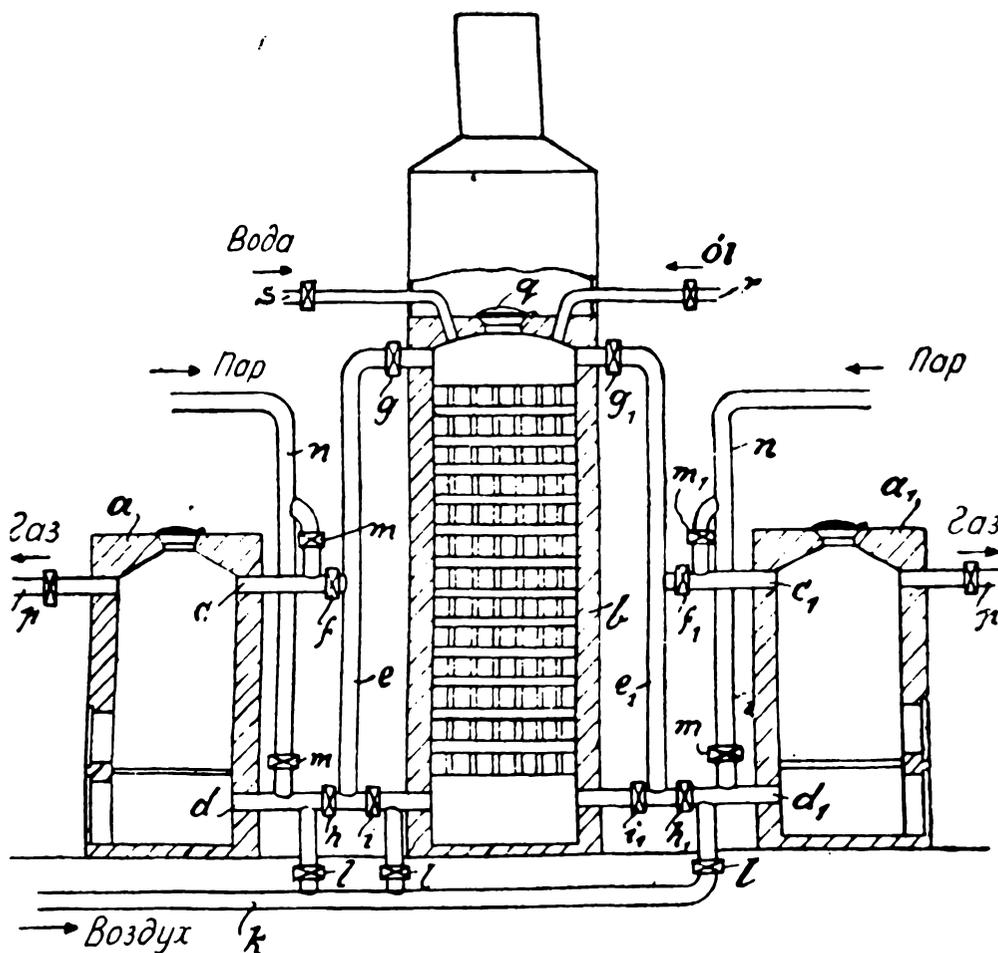


Рис. 40. Спаренный генератор системы Berg.

На принципе дистилляции топлива при помощи перегретого пара основан и генератор двойного водяного газа, предложенный W. D. Wilcox¹. Оригинальным в этой системе является соединение в один блок двух спаренных генераторов с находящимися между ними двумя теплообменниками. Две шахты, назовем их C и D, лежащие с одной стороны от обоих теплообменников, работают как дистилляционные шахты, в то время как две другие шахты (A и B) работают как генераторы водяного газа, при чем в них попеременно

¹ Американский патент 1332369.

ведется горячее и холодное дутье. Процесс ведется так до тех пор, пока уголь в дистилляционных шахтах полностью не прококсуется, после чего роли шахт меняются. *A* и *B* заполняются теперь свежим углем, а *C* и *D* работают как генераторы водяного газа. После периода дутья и газования теплообменники меняются ролями. В то время, как газы горячего дутья проходят через один теплообменник в соединенный с ним перегреватель, водяной газ проходит по второму теплообменнику и через соединительную камеру поступает в дистилляционные шахты. Сырой двойной водяной газ перед очисткой фиксируется в упомянутом выше перегревателе. Установки Wilcox относятся, по имеющимся сведениям, к немногим старым американским конструкциям генераторов двойного водяного газа, оправдавшим себя на практике.

С. Производительность генераторов двойного газа и использование тепла в них

По использованию тепла в генераторах двойного газа опубликован ряд материалов, которые базируются, однако, главным образом, на данных непродолжительных приемных испытаний. Обстоятельные тепловые балансы приводят только Strache (стр. 48) для работы на смеси каменного угля с коксом или бурым углем и R. Miksch для газификации сухого бурого угля. Выше было уже отмечено, что для абрикантов газа имеет значение в первую очередь коэффициент полезного действия газификации, т. е. количество тепла, перешедшее в двойной водяной газ из 100 кг угля.

В большинстве случаев обращают еще внимание на получение газа с возможно более высокой теплотворной способностью. При применении такого газа в смеси с дистилляционным газом, последний может прибавляться в меньших количествах; в том же случае, когда сам двойной газ употребляется в качестве городского газа, расходы на повышение его теплотворной способности до нормальной (4200 кал.) неестественно сокращаются. Термический коэффициент полезного действия установки, т. е. общее количество использованного тепла топлива, представляет интерес только потому, что побочные продукты (особенно первичная смола и избыточный пар) могут оказать благоприятное влияние на экономичность установки.

Приведившиеся прежде данные о выходе газа и коэффициенты полезного действия генераторов двойного газа, как было установлено дальнейшими опытами, были преувеличены. Приведенный Strache в «Leitfaden der Technologie der Brennstoffe» (1927) коэффициент полезного действия газификации (66%) не может считаться средней величиной для случая газификации каменного угля без примесей. Теперь на основании более достоверных данных, полученных на различных установках при непрерывной работе¹, установлено,

¹ Маленькие газогенераторы двойного водяного газа, в противоположность большим, находятся под дутьем и во время остановок, достигающих нескольких часов в день, что влечет за собой соответствующие тепловые потери лучеиспусканием и с отходящими газами.

что может быть достигнут коэффициент полезного действия газификации, равный приблизительно 60%, а при карбюрации смолой — около 66%. Диаграммы тепловых потоков для обоих случаев изображены (по данным фирм) на рис. 42 и 43. Для сравнения на рис. 41 приведена диаграмма теплового потока генератора водяного газа, работающего на коксе. Эта диаграмма построена на основании данных работы хороших современных установок.

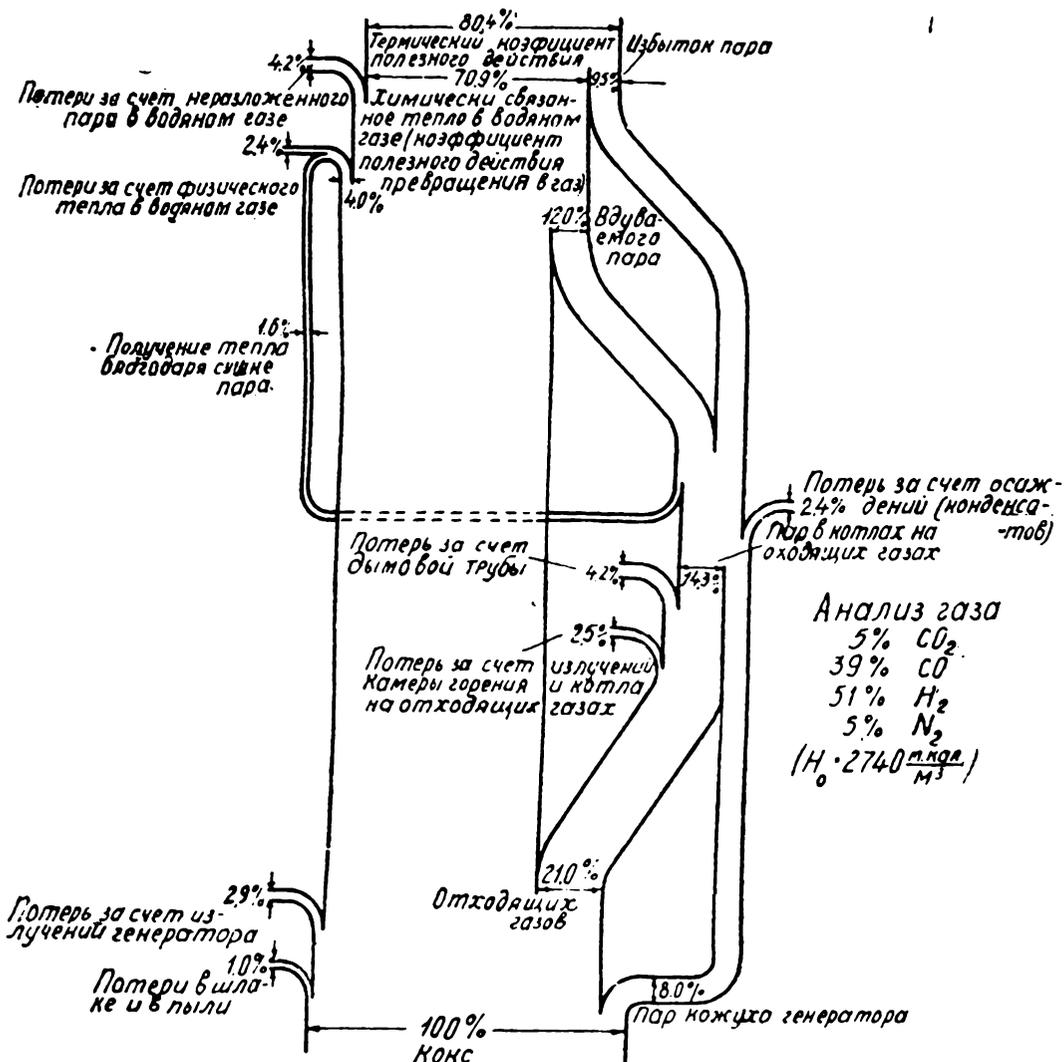


Рис. 41. Диаграмма теплового потока генератора коксового водяного газа с водяной рубашкой.

Из диаграмм видно, что количество избыточного водяного пара в указанных трех случаях находится в отношении 3 : 2 : 1, тогда как потребность в паре на газификацию кокса почти в два раза больше, чем на газификацию каменного угля. Небольшое количество пара, получаемого за счет использования отходящего тепла, объясняется большими потерями во внешнюю среду как генераторов (на генераторах двойного водяного газа не делают охлаждающих рубашек — паробразователей), так и теплообменников. К этому прибавляется еще расход тепла в карбюраторах и на сильный перегрев

пара в теплообменниках. Коэффициент полезного действия газификации при крекинге смолы больше, но зато выход последней меньше, чем на генераторах, работающих с получением первичной смолы.

Потери физического тепла с отходящим двойным газом в генераторах с крекингом смолы довольно значительны (5,6%). Это объясняется тем, что газ выходит из карбюратора при температуре около

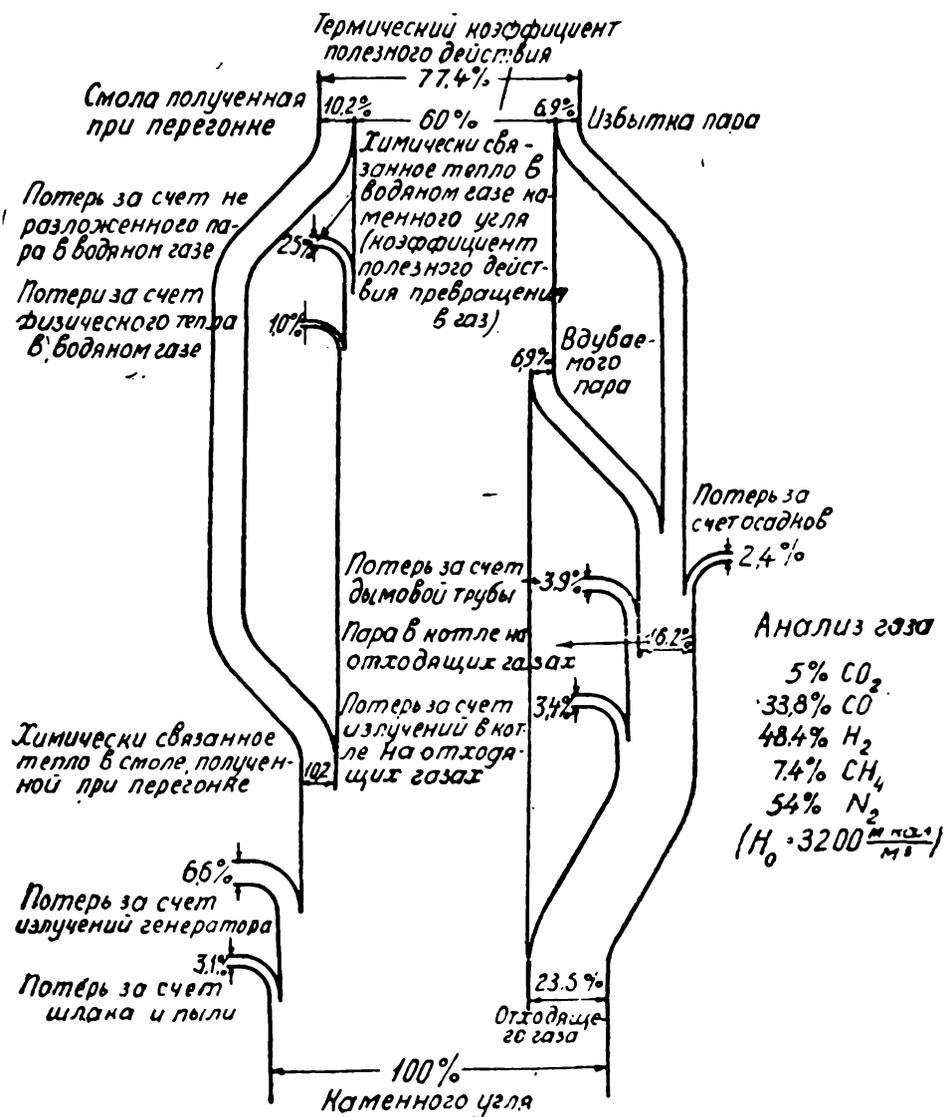


Рис. 42. Диаграмма теплового потока генератора двойного газа без крекинга смолы.

700° и физическое тепло его теряется в холодильнике. В генераторах, работающих без разложения смолы, потери тепла с двойным газом невелики, так как газ отводится из верхней части дистилляционной шахты, где он отдает углю большую часть своего тепла. В коксовых генераторах водяного газа и газ горячего дутья, и водяной газ отводятся в одном месте, обычно сверху над слоем кокса. Верхние слои кокса всегда имеют более высокую температуру, чем

верхний слой угля в дистилляционной шахте. В виду этого потери физического тепла с водяным газом значительно больше, чем в предыдущем случае, однако это тепло может быть использовано.

Потери с неразложившимся паром, как видно из диаграмм, при газификации кокса больше, чем при газификации каменного угля. Это объясняется, вероятно, тем, что в первом случае через генератор проходят большие количества пара, считая на 1 кг топлива, и, следовательно, при равных пропускных способностях на коксе

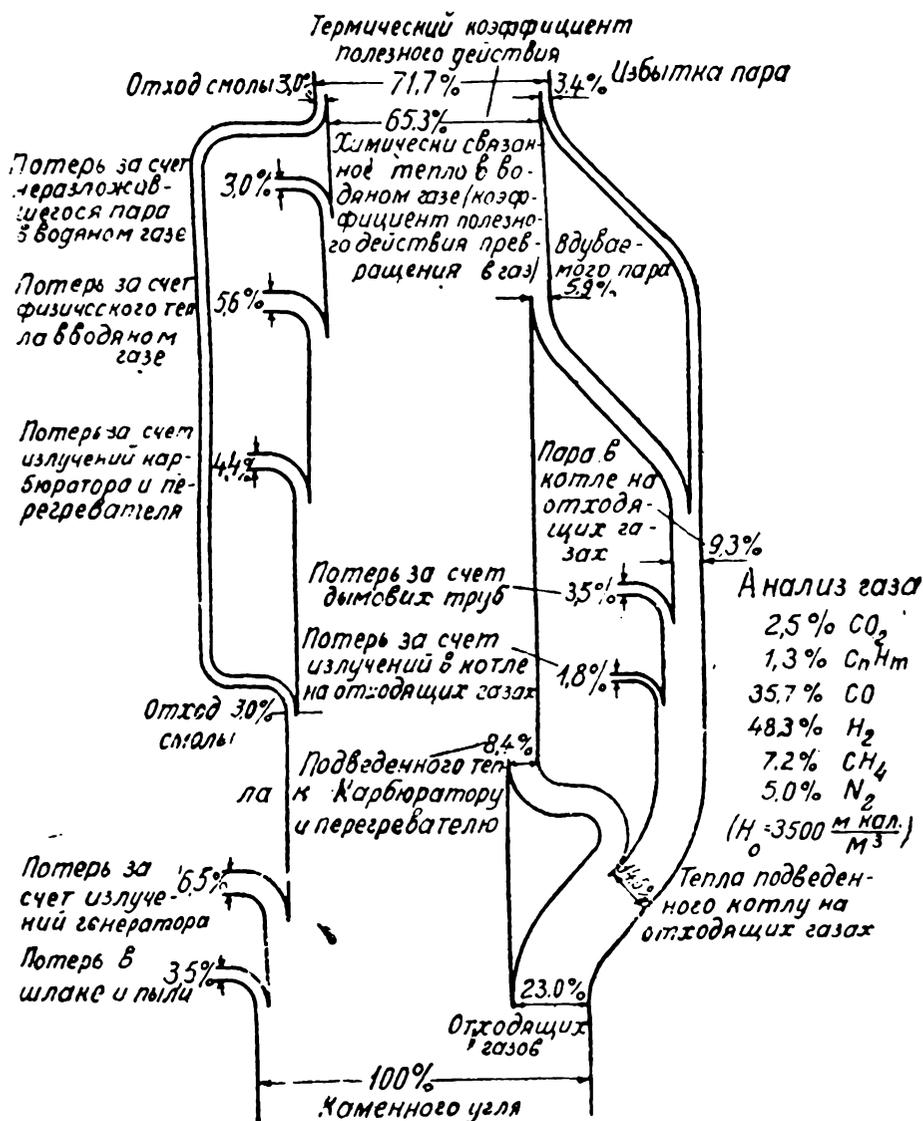


Рис. 43. Диаграмма теплового потока генератора двойного газа с крекингом собственной смолы.

приходится работать с более высокими скоростями пара. Вероятно, здесь имеет значение и более высокая, по сравнению с ретортным коксом, реакционная способность кокса, полученного в генераторе при сравнительно низких температурах. Следует иметь в виду, что хорошее разложение пара не является обязательным для хорошего, с тепловой точки зрения, режима. По данным Vater'a на установке

в Chemnitz, работающей с неплохим коэффициентом полезного действия, хорошая пропускная способность могла быть получена только при довольно значительном избытке пара (стр. 60).

Из статей теплового баланса генераторов двойного водяного газа наиболее точными являются количества тепла в газе и смоле, так как их легче всего измерить, чего нельзя сказать о других статьях баланса. Хотя для оценки экономичности установки последние имеют и меньшее значение, чем газ и смола, но все-таки они дают производственному известным руководящие указания для ведения процесса. В виду этого при определении указанных величин следует стремиться подойти возможно ближе к их истинным значениям. Наиболее ненадежными являются величины, характеризующие потери в окружающую среду, которые определяются по разности.

Вследствие этого оценка потерь в окружающую среду весьма различна не только у разных исследователей, но и у одного и того же автора. Так, например, Strache в тепловом балансе генератора двойного газа в Graz (*Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, 1920, стр. 399) принимает эти потери равными $10,5^{\circ}_0$, а в своей, упоминавшейся выше, книге (стр. 297) дает только $4,5^{\circ}_0$. При этом речь идет не только об одной и той же установке, но, по всей вероятности, и об одной и той же серии опытов, как это можно заключить по почти полностью совпадающим данным. Можно думать, что Strache считал приведенную сперва величину слишком высокой и путем уточнения остальных статей баланса пришел к более низкой цифре. Но эта позднейшая величина, по сравнению с другими данными, в том числе и цифрами, приведенными в диаграммах на рис. 42 и 43, несколько низка. На диаграммах потери генератора в окружающую среду даются равными $5,5$ и $5,6^{\circ}_0$. К этой величине должны быть прибавлены: для диаграммы рис. 42 потери котла — $3,4^{\circ}_0$ (считая, вероятно, и камеру горения), а для диаграммы рис. 43 потери карбюратора и перегревателя — $4,4^{\circ}_0$. Следовательно, в обоих случаях потери в окружающую среду, как и в первоначальном балансе Strache, составляют не менее 10°_0 . В тепловом балансе генератора двойного газа в Dresden-Reick, опубликованном недавно Schroth'ом, эти потери достигают даже $17,5^{\circ}_0$ от количества тепла, внесенного в генератор углем и паром.

В тепловом балансе генератора в Marburg, данном Miksch'ем, потери в окружающую среду равны $5,6^{\circ}_0$. Но необходимо отметить, что здесь впервые введена статья «тепло дистилляции», составляющая $6,5^{\circ}_0$. Под этим термином Strache¹ подразумевает расход тепла на дистилляцию угля. По его определениям это тепло, которое может быть как положительным, так и отрицательным, сравнительно мало и, вероятно, на этом основании он не вводит его в свой тепловой баланс генератора двойного газа. Поэтому в подсчетах Miksch'a речь не может идти о тепле дистилляции² в указанном

¹ Leitfaden der Technologie der Brennstoffe, стр. 174.

² О теплоте дистилляции и коксовании угля и методе ее определения по *Terres ep. Gas- und Wasserfach*, 1929, стр. 361.

выше смысле. В будущем этому фактору придется уделить больше внимания.

Данных о пропускной способности генераторов двойного водяного газа в литературе почти не имеется. Напряжение сечения генератора, по имеющимся данным, может быть принято равным 120—160 кг на 1 м² в час. Только недавно Schroth¹ опубликовал данные о пропускной способности генераторов двойного газа диаметром 3 м (Dresden-Reick). Пропускная способность генератора при работе на верхнеслезском угле (с копей Hedwigswunsch) была равна 20—34 т в сутки при выходе газа в 30 000—50 000 м³. Это соответствует напряжению сечения 120—200 кг/м² в час. Коэффициент полезного действия газификации был, в среднем, равен 56,5%, при содержании тепла в смоле в 8,6%. На этих генераторах большого диаметра работают также со значительным избытком пара. В остальном можно сослаться на оригинал, в котором освещен ряд вопросов производства двойного водяного газа. Из приведенных там материалов можно заключить, что пропускная способность описываемой установки была значительно повышена путем конструктивных и производственных улучшений.

V. ПРОИЗВОДСТВО ВЫСОКОКАЛОРИЙНЫХ ГАЗОВ В УСТАНОВКАХ ДВОЙНОГО ГАЗА

При безостаточной газификации углей в генераторах водяного газа, даже при полном использовании конденсирующихся продуктов сухой перегонки для обогащения газа путем крекирования смолы можно получить газ с теплотворной способностью только около 3600 кал. Газ с такой и даже несколько более низкой теплотворной способностью, как показал опыт ряда английских городов, очень хорошо может быть использован для бытового потребления. Однако во многих случаях, как например, в большей части Германии, требуется газ с более высокой теплотворной способностью, т. е. от 4000 до 4300 кал., так как он должен потребляться при тех же условиях, что и вырабатываемый в настоящее время смешанный газ, состоящий из ретортного и водяного. Проще всего можно было бы при полной газификации получить газ такой теплотворной способности путем добавочного карбюрирования смолой или каменноугольными маслами. Однако такой способ может быть экономичен только при низких ценах на газовые масла и поэтому для условий, подобных немецким, он мало подходит.

Для получения двойного газа повышенной теплотворной способности без помощи посторонних карбюрирующих средств имеются следующие пути, отчасти уже осуществленные за последние годы на отдельных опытных установках:

¹ Gas- und Wasserfach, Sonderheft, 24/V 1930, стр. 18. Кроме того, необходимо сослаться на доклад Lesch'a о новой установке двойного газа на газовом заводе Wien-Simmering. Этот доклад опубликован в Z. d. Oester. Vereins von Gas- und Wasserfachmännern, 1/IV 1930, стр. 52.

1. Отъем кокса, т. е. удаление части кокса из зоны газификации с целью повышения содержания углеводородов в газовой смеси.
2. Обогащение двойного водяного газа высококалорийными газами (газами высокотемпературного коксования, дистилляции или швелеванпя).
3. Отдельный отвод части водяного и генераторного газов, образующихся при полной газификации.

Отъем кокса

При отъеме кокса, при более усилённом сжигании его во время горячего дутья, а также и при отдельном отборе части водяного газа повышается теплотворная способность двойного водяного газа, но одновременно понижается его количество.

Уже при первом осуществлении процесса двойного газа Stracke имел это в виду. В своем труде *Gasbeleuchtung und Gasindustrie*, вышедшем в 1913 г., он говорит (стр. 925):

«По этому способу сперва получается в дистилляционной реторте из 100 кг угля 30 м³ дистилляционного газа с теплотворной способностью около 5600 кал. и 70 кг кокса. Из последнего получается около 100 м³ водяного газа с высшей теплотворной способностью 2900 кал., так что всего получается 130 м³ смешанного газа с теплотворной способностью 3530 кал. Если теплотворную способность угля, из которого образовался этот газ, принять равной 6500 кал. на 1 кг, то коэффициент полезного действия газификации будет равен 70%, т. е. будет таким же, как и у описанных генераторов водяного газа.

Если этим способом желательно получить газ с еще большей теплотворной способностью, около 4000 кал., то можно удалить часть кокса из генератора. Вследствие этого в водяной газ превращается меньше кокса и при той же часовой производительности генератора достигается большая пропускная способность по углю, следовательно, получается меньше водяного газа и больше дистилляционного; понятно, что благодаря этому теплотворная способность газа соответственно повышается.

Если желательно получить газ с высшей теплотворной способностью 4000 кал., то на каждые 100 кг угля следует удалять 40 кг кокса. Для превращения в водяной газ останется тогда $70 - 40 = 30$ кг кокса. Из них, при принятых условиях, получится 43 м³ водяного газа с теплотворной способностью 2900 кал. Этот газ смешивается с 30 м³ дистилляционного газа с теплотворной способностью 5600 кал. и получится 73 м³ смешанного газа с высшей теплотворной способностью 4000 кал.

Из израсходованного угля в этом случае прогазифицировано $100 - 40 = 60$ кг. Если теплотворную способность прогазифицированной части угля принять также равной 6500 кал. на 1 кг, то прогазифицированная часть угля будет содержать 3900 кал. Газ, полученный из 1 кг прогазифицированного угля, содержит

$4000 \times 0,73 = 2920$ кал. Коэффициент полезного действия будет равен:

$$\frac{2920 \cdot 100}{3900} = 75\%$$

Следовательно, этим путем возможно получение газа с теплотворной способностью 4000 кал., пригодного для применяющихся в настоящее время осветительных и отопительных приборов; при этом выход газа из 100 кг угля равен 73 м^3 и коэффициент полезного действия равен 75%. Кроме того, получается еще 40 кг кокса и соответствующее 100 кг количество смолы и аммиака. Количество образовавшегося аммиака даже больше, чем при обычной дистилляции угля, так как дистилляция протекает при очень низкой температуре и образовавшиеся продукты быстро удаляются».

Против подсчетов Strache можно возразить следующее. При всех способах получения двойного водяного газа, при которых необходимое для дистилляции тепло подводится, главным образом, водяным газом, отъем кокса, а также и отвод части коксового водяного газа, ограничивается необходимостью подвести в дистилляционную реторту достаточное количество тепла. При несоблюдении этого условия возможна неполная дистилляция топлива в верхней части генератора и в зону газификации может попадать не вполне прококсованный уголь.

Кроме того, скорость опускания топлива в газогенераторе, а, следовательно, и продолжительность его пребывания в реторте зависит от схода кокса в шахте газификации. Если последний ускоряется отъемом кокса, то при прочих равных условиях (скорость воздуха и пара) время пребывания угля в дистилляционной реторте сокращается. Следовательно, для того, чтобы получить равную продолжительность пребывания в зоне дистилляции, необходимо в соответствии с отъемом кокса замедлить горение и газификацию остающегося кокса. Большого снижения скорости воздуха вообще допускать нельзя, так как оно повлекло бы за собой увеличение содержания окиси углерода в газах горячего дутья и повысило бы расход кокса на горячее дутье. Замедления схода кокса можно поэтому достигнуть только путем уменьшения скорости пара, т. е. понижения производительности.

Это замедление образования водяного газа при отъеме части кокса необходимо еще и по следующим соображениям. Весьма вероятно, как уж было указано выше (стр. 72), что подвод тепла в зону дистилляции в значительной степени зависит от передачи тепла теплопроводностью и излучением от верхних слоев зоны газификации. Но в виду того, что количество тепла, подведенного этим путем в зону дистилляции, зависит от времени — сокращение периодов дутья и газования еще вреднее скажется на обогреве дистилляционной реторты.

Указанные соотношения слабо учитываются в производстве с промежуточным отъемом кокса, как об этом можно заключить из сопоставлений Stephan, сделанных на основании данных фирмы A.-G.

für restlose Vergasung. В своем докладе¹ он говорит следующее:

«A.-G. für restlose Vergasung дает:

Из 100 кг органической массы кокса, попадающей в генератор, 60 кг газифицируется и 50 кг сжигается.

	Кол.
физическое тепло водяного газа и водяного пара	357 000
потребность тепла на разложение пара, дистилляцию и потери с рых- лящими газами	243 000
Избыток	114 000

Это тепло может еще быть использовано для карбюрации дегтем и для дистилляции угля в случае ведения процесса с отъемом кокса.

Этот избыток, очевидно, становится тем меньше, чем больше за счет отъема кокса уменьшается цифра, стоящая в графе «Располагаемое тепло». Следует еще отметить, что в этом случае тепло, выходящее с горячим коксом, является потерянным для газогенератора.

Нельзя также считать за производственные данные цифры, характеризующие способ Kreisa, которые были приведены W. H. Fulweiler² в докладе на угольной конференции в Питтсбурге (1926 г.). Они приведены в табл. 8, как пример оптимизма, с каким фирмы относились еще недавно к работе генераторов двойного водяного газа с отъемом кокса.

Таблица 8

Теплотворная способность газа, полученная по способу Kreisa с отъемом кокса, по W. H. Fulweiler³

Теплотворная способность в кал./м ³	Загружено угля в кг на 100 м ³	Извлечено кокса в кг	Чистый расход топлива на 100 м ³ газа в кг
5000	175	100	75
3810	71,4	—	71,4
4700	150	57	93
4200	110	25	85
4500	140	60	80

Из приведенных соображений можно сделать заключение, что при отъеме кокса в генераторах двойного водяного газа условия работы будут менее благоприятны, что будет особенно заметно в тех случаях, когда и без того приходится считаться с затруднительностью своевременной дистилляции угля.

Отъем кокса производится в большинстве случаев в верхней зоне камеры газификации, так как в нижней части шахты происходит уже обогащение золой, так что кокс становится малоценным. По данным Stephan'a³ в генераторах Kreisa с производительностью до 500 м³

¹ Gas- und Wasserfach, 1926, стр. 521.

² Proceedings of the International Bituminous Coal Conference. Питтсбург, 1926 (стр. 500).

³ Gas- und Wasserfach, 1926, стр. 521.

в час отъем кокса производится через каждые 2 часа вручную, при генераторах же с вращающейся решеткой механически, из того места шахты, где он не подвергается ни действию кислорода во время дутья, ни пара при газовании, кокс выходит не раскаленный, а темный». В статье не пояснено, каким путем достигается понижение температуры кокса, выходящего из очень горячих слоев топлива. В отдельных случаях, как например, в описанных выше генераторах Moore (рис. 7) и Doherty (рис. 36), для охлаждения выгружаемого кокса в нижнюю часть шахты впускается пар или холодный газ. Таким путем значительная часть тепла кокса отводится обратно в зону газификации. При работе генератора двойного водяного газа системы Loebell (стр. 117) удовлетворяются отъемом сильно обогащенного золой кокса, из которого потом механическим путем удаляют большую часть негорючих веществ. Отъем кокса с золой часто делается не с целью обогащения газа, а к этому приходится прибегать, в особенности в генераторах с поперечным потоком, из соображений производственного характера¹.

О приспособлениях для отъема кокса и о влиянии его на ход работы и экономичность генераторов двойного водяного газа подробных сведений не имеется². За последнее время появились мнения, отрицающие пригодность этого способа. Указывали на то, что кокс, вследствие хрупкости, трудно сбыть. Здесь следует, кстати, отметить, что объем кокса на отдельных установках, работающих на брикете, проводится с успехом. Так, Thau в своем труде *Die Schwelung von Braun- und Steinkohle* дает рисунок (стр. 235) такого генератора с боковым отъемом кокса. Выход кокса («Brikokoks») на этом генераторе достигает 20%. Термические условия для дистилляции в данном случае значительно благоприятнее, чем в генераторах двойного водяного газа, так как здесь все газы проходят через дистилляционную реторту.

В близкой связи с газификацией угля с отъемом кокса находятся стремления к осуществлению ретортной дистилляции углей при посредстве внутреннего обогрева горячими газами, т. е. наподобие так называемого швелования циркуляционным газом.

Циркуляционным газом служит часто нагретый в теплообменнике водяной газ, который образуется при газификации полученного кокса. На этом основан способ, запатентованный фирмой Friedrich Siemens A.-G. (патент 303062). Для проведения этого процесса предложена конструкция, изображенная на рис. 44.

По обеим сторонам высокой шахты газогенератора *a* устроены регенераторы *h* и *e*; отверстия *b* и *c* служат попеременно для впуска горячих реагирующих газов (например, водяного пара) и для выпуска служащей для обогрева регенератора части образующегося

¹ На установках двойного водяного газа, работающих в Германии, как-будто бы также извлекают известное количество кокса из шлага, о чем можно заключить из сообщения Scheurer'a, директора газового завода Landau (*Gas- und Wasserfach*, 1926, стр. 546).

² В американском патенте 1691636 дан рисунок генератора двойного газа с двумя отверстиями для бокового отъема кокса, согласно предложению Breisig'a.

в генераторе газа. Реагирующий газ вступает по направлению, указанному стрелкой, в горячий регенератор *h*, сильно там перегревается и попадает через канал *i* и отверстие *b* в нижнюю часть генератора *a*. Здесь ток газа разделяется. Часть его подымается кверху по шахте *a*, а другая часть через отверстие *c*, канал *d*, регенератор *e* и через перекидной клапан проходит в дымовую трубу. Воздух подогревается в рекуператоре, лежащем между шахтами *d* и *e*. Он вступает в рекуператор по каналу *g* и через *f* попадает в шахту *d*. Стенка *k*, вдающаяся в шахту *a*, предназначена для того, чтобы удлинить путь газа от отверстия *b* к отверстию *c*; таким путем достигается лучшее разложение реагирующего газа. Газ, поднимающийся по шахте *a*, газифицирует и коксует уголь в смеси с летучими продуктами коксования, выходит через выходные отверстия *l*. Остающиеся шлаки и частицы кокса выгружаются через приспособление *m*. После перестановки перекидного клапана и воздушного вентиля процесс идет в обратном направлении, только газовый поток в шахте *a* остается попрежнему восходящим. Реагирующим газом должен служить, главным образом, водяной пар или смесь пара с воздухом.

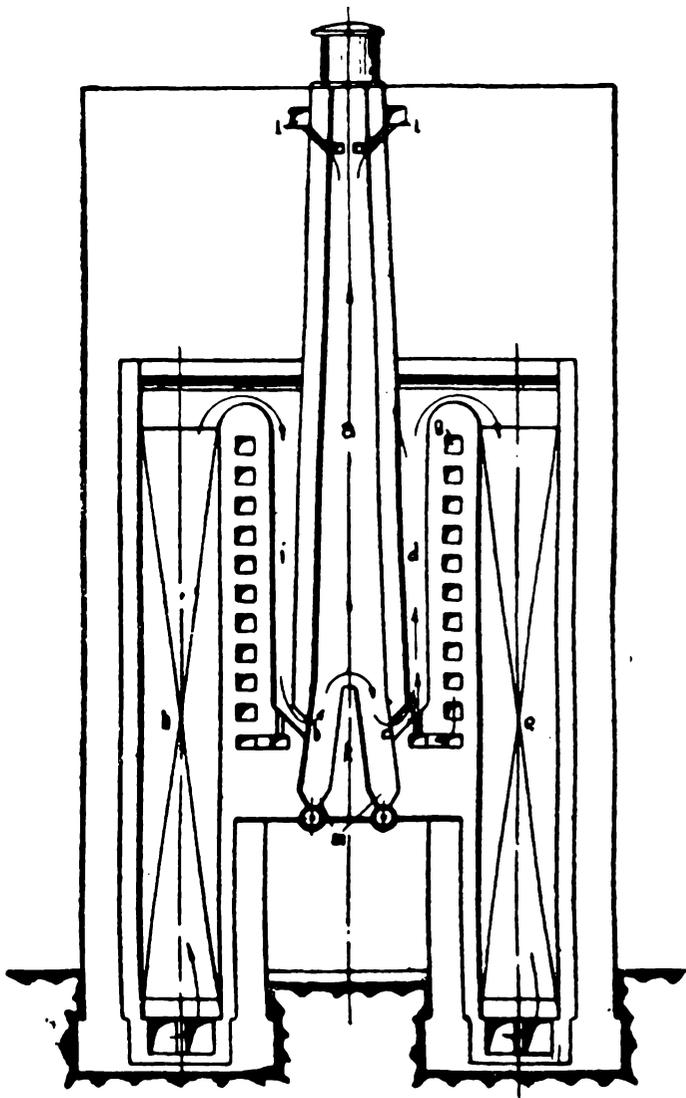


Рис. 44. Дистилляционная реторта с обогревом циркуляционным газом системы Friedrich Siemens A.-G.

Провести процесс одним паром будет нелегко, так как непрерывное образование водяного газа требует довольно высокой температуры в теплообменниках. Как в этой конструкции, так и в других, подобных ей, придается мало значения тому, что сравнительно медленное проведение дистилляции в реторте оказывает влияние на выход газа. В том случае, если смолистые составные части, вы-

деляющиеся при дистилляции, не уносятся быстро посторонними газами, они разлагаются на газообразные углеводороды и водород. Быстрое удаление продуктов дистилляции нагретым током циркуляционного газа предохраняет значительное количество первичной смолы от крекинга, увеличивающего выход газа.

В связи с работой над генератором двойного водяного газа у Strache была мысль использовать в ретортном производстве газа обогрев циркуляционным газом; об этом можно заключить из упомянутого выше (стр. 92) венгерского патента 69617 (ср. также пояснения к рис. 26). Для обогрева Strache хотел использовать дистилляционный газ, подогретый в регенераторе, и он рассчитывал улучшить недостаточное разложение смолы нагреванием до более высокой температуры (приблизительно, до 700—1000°) теплообменника, служащего для перегрева газа, и разложением паров смолы в этом теплообменнике. В упомянутом источнике указано, что лежащая под дистилляционной шахтой коксовая шахта должна быть разделена перегородкой на две части. Горение кокса должно идти только на одной половине решетки, кокс же с другой половины решетки, необогащенный золой, может применяться для других целей. Предложенный Strache способ одновременного разложения смолы и обогрева циркуляционных газов трудно осуществить без чрезмерного разложения углеводородов. В производстве светильного газа, если нет гарантии получения хорошего кокса, рентабельность чисто дистилляционного способа получения газа, т. е. без сколько-нибудь значительного повышения выработки газа путем газификации кокса, мыслима только при особых условиях. На получение же хорошего кокса в этом способе обращается мало внимания.

Обогащение двойного водяного газа светильным и швельгазом

Двойной водяной газ до сих пор еще почти не применяется непосредственно для бытового употребления, а идет в смеси с ретортным газом. Со времени войны в Германии газовыми заводами почти везде в сеть подается не чистый дистилляционный газ, а в смеси с менее калорийными газами. По постановлению Deutsche Verein für das Gas- und Wasserfach нормальный смешанный газ должен обладать теплотворной способностью от 4000 до 4300 кал./м³. Для разбавления ретортного газа служит, главным образом, коксовый водяной газ, а также и двойной водяной газ, в отдельных же случаях генераторный и дымовой газы. Чем выше теплотворная способность добавляемого газа, тем больше может быть его количество в смешанном газе «нормальной» теплотворной способности. Следовательно, для получения определенного количества газа, например 100 м³, при добавочном газе с более высокой теплотворной способностью потребуется меньше ретортного газа и соответственно получится меньше кокса. Разбавление ретортного газа находится поэтому в тесной связи с производством кокса на газовых заводах, и, судя по сообщениям специалистов, играло в последние годы известную роль в вопросе сбыта кокса и дальнего газоснабжения с коксовых заводов.

Скопление больших количеств кокса на многочисленных газовых заводах зимой 1925 г. привело к тому, что фабриканты газа стали считать нежелательным слишком большое повышение расхода газа до тех пор, пока не будет обеспечена возможность соответствующего увеличения сбыта кокса. Сторонники двойного водяного газа указывали на то, что наиболее целесообразным выходом из этого положения является переход к безостаточной газификации. С другой стороны, раздавались мнения, что замена водяного газа, получаемого из ретортного кокса, двойным водяным газом не даст никакого уменьшения добычи кокса. Как будет видно из приведенных ниже соображений, оба мнения были справедливы только до известной степени.

Карбюрированный смолой двойной водяной газ, имеющий теплотворную способность от 3500 до 3600 кал., близко подходит к «нормальному» городскому газу с теплотворной способностью 4200 кал. Повышение теплотворной способности приблизительно на 600 кал. не должно бы представить никаких серьезных затруднений. В действительности же условия таковы, что как-раз это повышение теплотворной способности очень значительно увеличивает себестоимость газа.

Повышение теплотворной способности газа, как может показаться с первого взгляда, легче всего осуществить путем карбюрирования газовым маслом или первичной смолой, не оказывая таким образом никакого влияния на производство кокса. При карбюрировании газовым маслом, судя по опыту установок водяного газа, работающих на коксе, пришлось бы затратить около 100 г масла, что при цене на масло в 15 марок за 100 кг повысило бы стоимость топлива на 1,2—1,8 пфеннига на 1 м³. Если из 1 кг каменного угля можно получить 1,3 м³ карбюрированного смолой двойного водяного газа, то топливная слагающая себестоимости при цене угля 30 марок за тонну будет около 2,3 пф. на 1 м³, а при карбюрировании маслом стоимость масла составит около 2 пф. Из этого видно, что расход на масло почти равен расходу на уголь, хотя масляный газ вносит в смесь примерно только $\frac{1}{6}$ часть тепла. На больших газовых заводах, где на стоимость получения газа (например, сейчас в Берлине около 3,6 пф. на 1 м³) преобладающее влияние оказывает стоимость топлива, повышение последней путем карбюрирования маслом сильно отразилось бы на экономичности производства. В маленьких производствах расходы на карбюрирование маслом или посторонней смолой не играли бы такой решающей роли, но тут возник бы вопрос о создании простой карбюрационной установки, которой до сих пор, как-будто, не имеется.

В немецких условиях для повышения теплотворной способности двойного водяного газа придется вообще базироваться не на карбюрировании посторонними маслами, а применять высококалорийные газы, получающиеся при дистилляции углей. В приведенной ниже табл. 9 показано, какое количество дистилляционного газа с теплотворной способностью 5300 кал. на 1 м³ и сколько разбавляющего

газа (водяного с 2750 кал., двойного водяного с 3300 кал. и карбю-
рированного смолой двойного водяного с 3600 кал. на 1 м³) нужно для
получения смешанного газа с теплотворной способностью 4200 кал.
Далее в таблице указано количество нормального газа, получаю-
щегося из 100 кг угля, а также и расход угля, необходимый для по-
лучения 100 м³ нормального газа. Наконец, там же указано и коли-
чество продажного кокса, приходящееся на 100 м³ городского газа.

Таблица 9

Приняты следующие выходы:

- 1 м³ водяного газа из 0,65 кг кокса
1 м³ двойного водяного газа из 0,77 кг каменного угля
1 м³ двойного водяного газа, карбюрирован-
ного смолой из 0,77 кг каменного угля

100 кг угля дают 28 м³ дистилляционного газа с теплотворной спо-
собностью 5300 кал. и 54 кг кокса с теплотворной способностью 7000 кал. на 1 кг

	Дистилля- ционный газ + дымо- вой газ	Дистилля- ционный газ + водя- ной газ	Дистилля- ционный газ + двой- ной газ	Дистилля- ционный газ + карбю- рированный смолой двойной газ
100 м ³ смешанного газа (4200 кал.) содержат:				
Дистилляцион. газа, полученного из ка- менного угля м ³	79,2	56,9	45,0	35,0
Добавочного газа, полученного из угля (кокса) кг	282	203	160	125
	20,8	43,1	55,0	65,0
	—	28 (кокс)	42	50
На 100 кг угля получается:				
Дистилляцион. газа, полученного из ка- менного угля м ³	28,0	28,0	21,2	20,0
Добавочного газа, полученного из ка- менного угля кг	100	100	75,7	71,4
Выработка кокса м ³	7,4	21,2	27,2	37,1
Расход кокса кг	—	—	24,3	28,6
Остаток кокса кг	54,0	54,0	40,9	38,5
	—	13,8	—	—
	54,0	40,2	40,9	38,5
На 100 м ³ смешанного газа получается:				
Кокса кг	152	81,6	86,4	67,5

Из сопоставления объемного состава газовых смесей видно, что
только при разбавлении двойным карбюрированным смолой газом
количество дистилляционного газа в смеси значительно меньше,
чем разбавляющего газа; поэтому можно было бы рассматривать
получение двойного водяного газа как основу производства, а ре-
тортный газ считать прибавкой. Из таблицы видно, что и при по-
лучении карбюрированного газа должно быть все-таки прококсено

в ретортах почти в $2\frac{1}{2}$ раза больше угля, чем прогазифицировано в двойной газ.

Выход нормального газа из 100 кг угля — наибольший при применении карбюрированного смолой двойного водяного газа, хотя разница по сравнению с другими случаями не очень значительна. Для большей экономичности производства эта разница имеет меньшее значение, чем то, что центр тяжести производства переносится на двойной водяной газ и ретортная установка разгружается. Поэтому здесь уже скажется преимущество безостаточной газификации по сравнению с ретортным производством газа (меньшие капитальные затраты и эксплуатационные расходы, лучшая приспособляемость к переменному расходу газа, меньшая площадь и т. д.). Большая мощность установки двойного водяного газа, по сравнению с установкой коксового водяного газа, и меньший расход карбюрационного газа обуславливают лучшую приспособленность установок двойного газа к моментам повышенного расхода, так как при водяном газе в случае повышения расхода газа потребовалось бы значительно большее форсирование и ретортной установки, в виду того, что объем ретортного газа, входящего в состав смеси почти в два раза больше, чем объем водяного газа.

При прибавке водяного газа, количество кокса, считая на 100 м³ нормального газа, получается значительно больше, чем при прибавке карбюрированного смолой двойного газа. Напротив, при прибавке некарбюрированного двойного газа выход кокса получается даже несколько больше, чем при прибавке коксового водяного газа. Поэтому можно сказать, что переход на производство двойного газа может облегчить тяжелое положение со сбытом газового кокса, в лучшем случае, только весьма незначительно, пока нормальным будет считаться газ с повышенной теплотворной способностью. Это положение значительно улучшится, когда будет возможность давать в качестве городского газа один, без прибавки ретортного, двойной газ, со свойственной ему теплотворной способностью.

А. Schäfer¹ приводит стоимость топлива на 1000 м³ смешанного газа с теплотворной способностью 4200 кал. при различных способах производства, при чем он учитывает также прибавку дымового газа и генераторного газа (с теплотворной способностью 1150 кал.). Цифры Schäfer'a приведены в табл. 10. Из таблицы видно, как падает при выгодных условиях сбыта кокса и приобретения угля стоимость топлива при процессах, дающих больше кокса; так что при этих условиях разбавление генераторным или дымовым газом является наиболее выгодным.

Обогащение двойного газа швельгазом. Газы, получающиеся при швелевании углей, т. е. при дистилляции их в обогреваемых снаружи ретортах при температурах от 500 до 700°, пригодны, вследствие высокой теплотворной способности, для

¹ А. Schäfer, Einrichtung und Betrieb eines Gaswerks, 4 изд., 1929, стр. 354.

повышения теплотворной способности водяного и двойного водяного газов.

Таблица 10¹

Расход угля, выход кокса и стоимость топлива на 1000 м³ нормального газа (смешанный газ с высшей теплотворной способностью 4200 кал./м³)

	80% дистилл. газа и 20% дымового газа	75% дистилл. газа и 25% газеторн. газа	60% дистилл. газа и 40% водяного газа	50% дистилл. газа и 50% двойного газа	33% дистилл. газа и 67% карбюрив. смолтой двойного газа
Расход угля в кг	2820	2620	2030	2030	1830
Выход кокса в кг	1520	1350	690	830	680
С л у ч а й 1					
Расход на уголь по 28 марок за 1 т в марках	78,96	73,36	56,84	56,84	51,24
Доход от кокса по 28 марок за 1 т в марках	57,76	51,30	26,22	31,54	25,84
Стоимость топлива на 1000 м ³ смешанного газа в марках	21,20	22,06	30,62	25,30	25,40
С л у ч а й 2					
Расход на уголь по 25 марок за 1 т в марках	70,50	65,50	50,75	50,75	45,75
Доход от кокса по 39 марок за 1 т в марках	59,28	52,65	26,91	32,37	26,52
Стоимость топлива на 1000 м ³ смешанного газа в марках	11,22	12,85	23,84	18,38	19,23

Для примера приведены два анализа каменноугольного швельгаза, полученного во вращающейся печи фирмы Kohlescheidungs-gesellschaft:

Каменноугольный швельгаз

	I	II
	%	%
CO ₂ + H ₂ S	5,7	6,4
C _n H _m	5,8	5,8
O ₂	1,7	0,4
CO	3,0	4,2
H ₂	16,3	15,6
C ₂ H ₆	7,8	18,0
CH ₄	43,2	27,4
N ₂	16,5	23,9

¹ Обнаруженные в немецком издании арифметические ошибки в этой таблице исправлены при переводе. Прим. ред.

Буроугольный швельгаз

	Сырой газ %	Очищенный газ %
H ₂ S	3,5	—
CO ₂	29,1	10,2
C _n H _m	3,6	3,7
C ₂ H ₄	1,2	1,5
O ₂	1,1	1,5
CO	12,4	16,7
H ₂	16,4	22,2
C ₂ H ₆	4,7	6,2
C ₂ H ₄	21,1	28,4
N ₂	6,9	9,6
Теплотворная способность высшая	5333	5900
» » низшая	4800	5310
Удельный вес	0,94	0,73

Неочищенный буроугольный швельгаз содержит довольно значительное количество углекислоты (до 30%); путем промывания под давлением содержание ее может быть снижено до 10% без значительного удорожания очистки. В приведенной выше таблице дан анализ сырого газа и соответствующего очищенного от сероводорода и части углекислоты.

Каменноугольный швельгаз в смеси с водяным газом из каменного угля применяется на газовом заводе Public Service Electric and Gas Company (New Jersey). Установка построена фирмой International Combustion Engineering Corporation в Нью-Йорке. Полукоксовальная установка выполнена по системе Kohlscheidungs-gesellschaft в Берлине на суточную пропускную способность 640 т и рассчитана на производительность 70 000 — 85 000 м³ швельгаза. С теплотворной способностью 7200 кал./м³. Установка масляного водяного газа состоит из двух больших единиц для получения водяного газа из каменного угля; суточная производительность ее достигает 85 000 м³ газа. При сооружении установки предполагалось установку водяного газа нагружать при нормальных условиях лишь настолько, чтобы получать около 113 000 м³ газа с теплотворной способностью 4750 кал., смешанного из швельгаза и карбюрированного маслом двойного газа. Для масляного водяного газа имеется газгольдер емкостью 14 200 м³. Экономичность этой установки должна была базироваться в значительной мере на доходе от продажи полукоксована, которого по расчетам должно было получаться 450 т (при 73 м³ масел первичной смолы)¹.

Применение буроугольного швельгаза в смеси с двойным газом для бытового потребления также стало привлекать к себе внимание в отдельных случаях. Однако, при этом придется еще разрешить ряд вопросов, так как смесь имеет значительно более высокий удельный вес, чем нормальный городской газ. Пока полукоксование углей ведется в сравнительно небольшом масштабе, обогащение швельгазом двойного водяного газа может иметь только местное значение.

¹ Английский Gas Journal, 10/X 1927, стр. 181.

Здесь следует отметить, что, судя по докладу Szako на последнем заседании специалистов газового дела в Берлине, сейчас появилось стремление крекировать с целью повышения теплотворной способности газа и буроугольную смолу в слое кокса генераторов двойного водяного газа.

Если в будущем при сильно возросшей потребности в газе в основу газового производства придется положить безостаточную газификацию, тогда будет необходимо использовать каждую возможность для повышения теплотворной способности газов безостаточной газификации, ибо, как мы видели раньше, повышение теплотворной способности стоит очень дорого. Такими пригодными для карбюрирования газами являются, например, остаточные газы различных частично разработанных, а частично разрабатываемых производств, как сжигание угля по Bergius'у и Badische Anilin- und Sodafabrik, а также каталитический синтез масел по Franz Fischer'у и Tropsch'у. По предложению Bergius'a установка для гидрирования должна быть скомбинирована с установкой для полукоксования таким образом, чтобы остающийся после гидрирования газ в смеси со швельгазом мог быть использован для бытовых нужд. Полукокс должен газифицироваться в водяной газ, который частично превращается в водород для гидрирования, частично же служит для разбавления высококалорийного газа¹. При синтезе масел по Fischer'у и Tropsch'у, в котором исходными материалами служат окись углерода и водород, после двухкратного пропускания газов над катализатором, выделения образовавшихся жидких углеводородов и вымывания углекислоты, остаются газы, состоящие, главным образом, из метана и имеющие теплотворную способность от 6000 до 7000 кал. и даже выше. В одном месте Franz Fischer² указывает, что процесс легко можно вести так, что будет получаться или больше высококалорийного газа, или же больше масел. Это дает возможность газовым заводам при невыгодных условиях для сбыта кокса превращать его в водяной газ, а из последнего при помощи синтеза получать высококалорийные газы. В будущем, если только синтез масла станет экономичным, полученные высококалорийные газы будут особенно пригодны для повышения теплотворной способности двойного водяного газа. Намеченное здесь комбинирование ретортного производства газа с синтезом масел и получением двойного водяного газа предохранит от опасности перепроизводства кокса при сильном расширении потребления газа. В Америке сейчас также поднят вопрос, не будет ли в будущем экономичнее применять для карбюрирования водяного газа не сравнительно дорогие масла, а синтетические углеводороды. Разработкой этой проблемы занимается сейчас U. S. Bureau of Mines (опытная станция в Питтсбурге)³.

Описанные выше способы обогащения двойного водяного газа пригодны для использования газов с больших заводов по дистилля-

¹ Thau, Die Schwellung der Braun- und Steinkohle, 1927, стр. 709.

² Ges. Abhdl. z. Kenntnis der Kohle, т. 8 стр. 356.

³ Ср. заметку в американском Gas Journal, июнь 1929.

ции и полукоксованию угля. Но так как у маленьких газовых заводов такой возможности обычно не имеется, то приходится думать об установке дополнительных дистилляционных реторт, тесно связанных с установкой для получения двойного водяного газа.

При описании генератора двойного водяного газа системы Caldwell (стр. 43 и рис. 8) было указано на устройство особой шахты, которая должна была служить для дистилляции угля при помощи тепла отходящих из генератора газов. Эта добавочная дистилляционная камера включена параллельно со швельшахтой генератора.

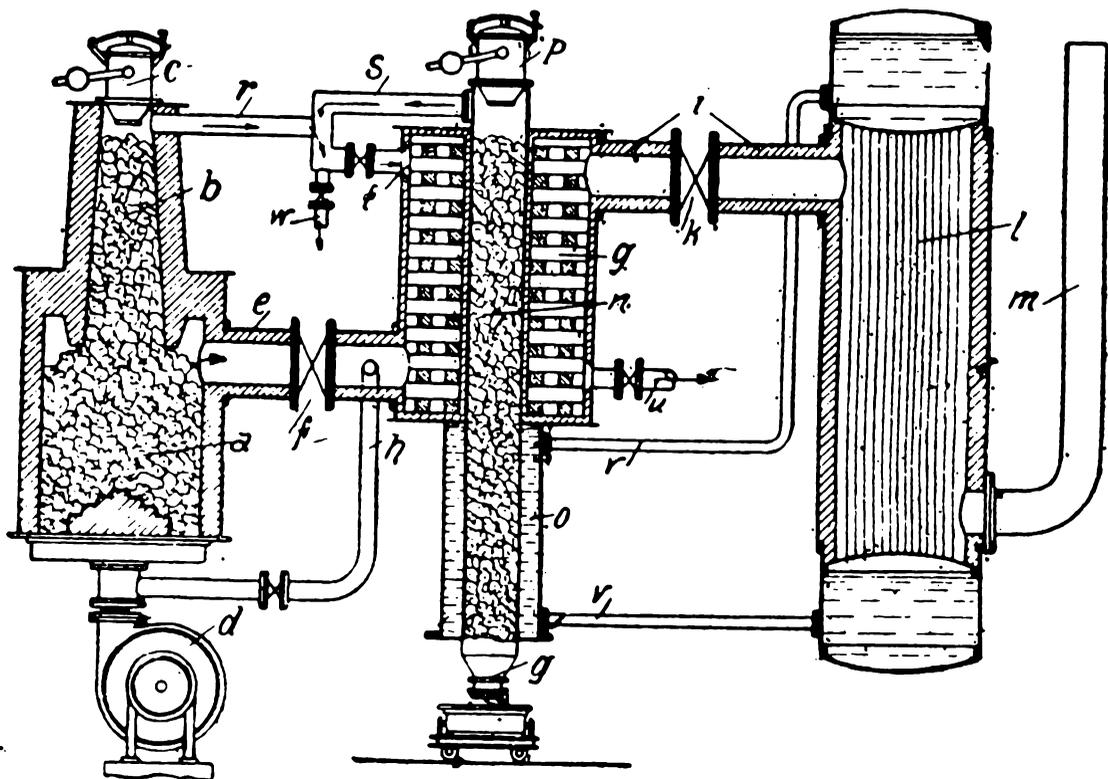


Рис. 45. Установка двойного газа с добавочной ретортой системы Berlin-Anhaltische Maschinenbau Akt.-Ges.

Она обогревается изнутри, как и швельшахта, попеременно частью потока коксового водяного газа и частью пара (при газовой обратном током), выходящего из перегревателя. По патенту при таком приспособлении избегается ухудшение свойств кокса, которое наблюдается при отъеме кокса из газогенератора. Во многих случаях отъем кокса, как было указано, может повлечь к выгрузке недококсованного угля и нарушению равномерности газообразования.

В устройстве Caldwell'a обогревание добавочной реторты было бы еще гораздо труднее, чем в генераторах с отъемом кокса.

Недавно в Германии фирма Vamag-Méguin Akt.-Ges. разработала конструкцию генератора двойного водяного газа, в которой предусмотрено использование тепла отходящих из генератора газов для отопления добавочной реторты. Особенностью этой конструкции является то, что добавочная реторта помещена в теплообменник.

Установка (рис. 45) состоит из генератора двойного водяного газа *a* с надстроенной швельшахтой *b*. К генератору примыкает теплообменник и перегреватель *g*, который окружает швельреторту *n* в верхней и средней ее части; нижняя часть ее, в которой находится уже кокс, окружена водяной охлаждающей рубашкой *o*. Газы горячего дутья попадают по каналу *e* в перегреватель и сгорают, смешиваясь с воздухом, поступающим по трубе *h*. Дымовые газы по трубе *i* попадают в паровой котел *l*, а из него в дымовую трубу *m*. Перегреватель нагревается до 900—1000°. Во время газования смесь водяного газа и продуктов дистилляции выходит из генератора по трубопроводу *r*, в котором смешивается с идущим по трубопроводу *s* из добавочной реторты продуктами дистилляции. Смесь попадает в камеру *g*, в которой происходит фиксация паров смолы. Полученный таким путем газ, сильно обогащенный углеводородами, отводится по трубе *u* в газоочистительную установку. По другому патенту фирмы *Bamag-Méguin* этот газ, имеющий еще высокую температуру, перед поступлением в очистительную установку проходит через часть добавочной реторты, где отдает тепло свежему топливу ¹.

По способу, предложенному *Otto Misch* ², коксовый водяной газ, получающийся в зоне газификации генератора двойного газа, должен разделяться на две части. Одна часть через перегреватель, разогретый газами горячего дутья, поступает в дистилляционную шахту генератора, тогда как другая часть тоже через перегреватель поступает в нижнюю часть добавочной дистилляционной реторты. Оба потока газа, обогащенные продуктами дистилляции, соединяются в верхней части добавочной реторты и поступают в газоочистительную установку. Использование тепла в этом случае менее совершенно, чем в описанном выше способе *Bamag-Méguin A.-G.*

В швейцарском патенте 114656 предложен способ, в котором циркуляционным газом для швельшахты служит водяной газ, полученный из полукокса и перегретый в особых перегревателях с внешним обогревом. Подобен этому и способ *Nilson*, описанный в труде *Thau, Die Schwellung von Braun- und Steinkohle*, стр. 376. Этот способ, вследствие периодичности работы, трудно применить на практике.

Экономичность подобных установок с дополнительными ретортами зависит не только от того, имеется ли подходящая возможность для использования полученного в добавочной реторте полукокса или нет. Как уже было указано, на 100 м³ смешанного газа, состоящего из карбюрированного смолой водяного газа и ретортного газа с теплотворной способностью в 5300 кал., требуется пропустить через ретортную установку около 125 кг каменного угля, а через газогенератор 50 кг. При часовой производительности в 1000 м³ смешанного газа через добавочную реторту пришлось бы пропустить 30 т угля в сутки; такую производительность в одной реторте достичь затруднительно. При коксовании углей при низких температурах,

¹ Германский патент 460759.

² Швейцарский патент 111522.

на котором в данных условиях придется, главным образом, базироваться, соотношения будут еще менее благоприятны. Хотя швельгазы и обладают более высокой теплотворной способностью, чем высокотемпературные дистилляционные газы, но зато выход их из тонны угля значительно меньше. Таким образом, следует признать, что полукоксование такого количества угля, которое необходимо для получения нужных количеств высококалорийного газа, нельзя будет провести за счет одного только отбросного тепла процесса водяного газа. Если, кроме того, нужно будет крекировать пары смолы, выходящие из реторты, в крекере для двойного водяного газа, то представятся и дальнейшие затруднения в получении достаточных количеств тепла и поддержания нужных температур в установке. Из этого следует, что в маленьких установках, в которых прежде всего требуется простота, применение добавочных реторт привело бы к значительным затруднениям. Из изложенного ясно, почему идея применения добавочных реторт при генераторах двойного водяного газа на практике не осуществляется.

Омгазгенератор фирмы Dellwik-Fleischer-Gasgesellschaft

Своеобразным путем пошла фирма Dellwik-Fleischer-Gasgesellschaft при создании новой конструкции генератора для получения высококалорийного газа, подобного светильному и состоящего из смеси дистилляционного и водяного газов. Этот генератор был назван омгазгенератором. Основой этого способа является сильный внешний обогрев дистилляционной реторты, превышающий даже обогрев старых ретортных печей. В противоположность более старым конструкциям генераторов двойного газа с наружным обогревом дистилляционной реторты, в этом случае обогрев ведется не только во время горячего дутья, но и во время газования за счет сжигания части коксового водяного газа. Внутренний обогрев реторты водяным газом играет уже значительно меньшую роль по сравнению с сильным внешним обогревом. В реторте достигаются температуры свыше 800° , а в топочных каналах выше 1200° . Следовательно, тут имеется высокотемпературная дистилляция с интенсивным обогревом, что обеспечивает полное выделение летучих при обычном для работы генераторов коротком времени пребывания угля в ретортах.

На рис. 46 изображен омгазгенератор. Над генератором водяного газа помещены две дистилляционные реторты, которые окружены отопительными каналами. Горячие газы проходят по этим каналам длинный извилистый путь. Газы горячего дутья, а также небольшая часть водяного газа, через пылеотделитель поступают в топочную камеру, соединенную с отопительными каналами. Газы горячего дутья поступают в топку под влиянием давления, а водяной газ засасывается воздушным инжектором. Из отопительных каналов дымовые газы попадают в котел, снабженный пароперегревателем, а оттуда в дымовую трубу. Отверстие для отъема кокса расположено в верхней части шахты газификации. Подвод смолы для карбюрирования расположен несколько выше наиболее горячей зоны реторт.

Образующийся при разложении смолы кокс спускается в шахту газификации и превращается в водяной газ.

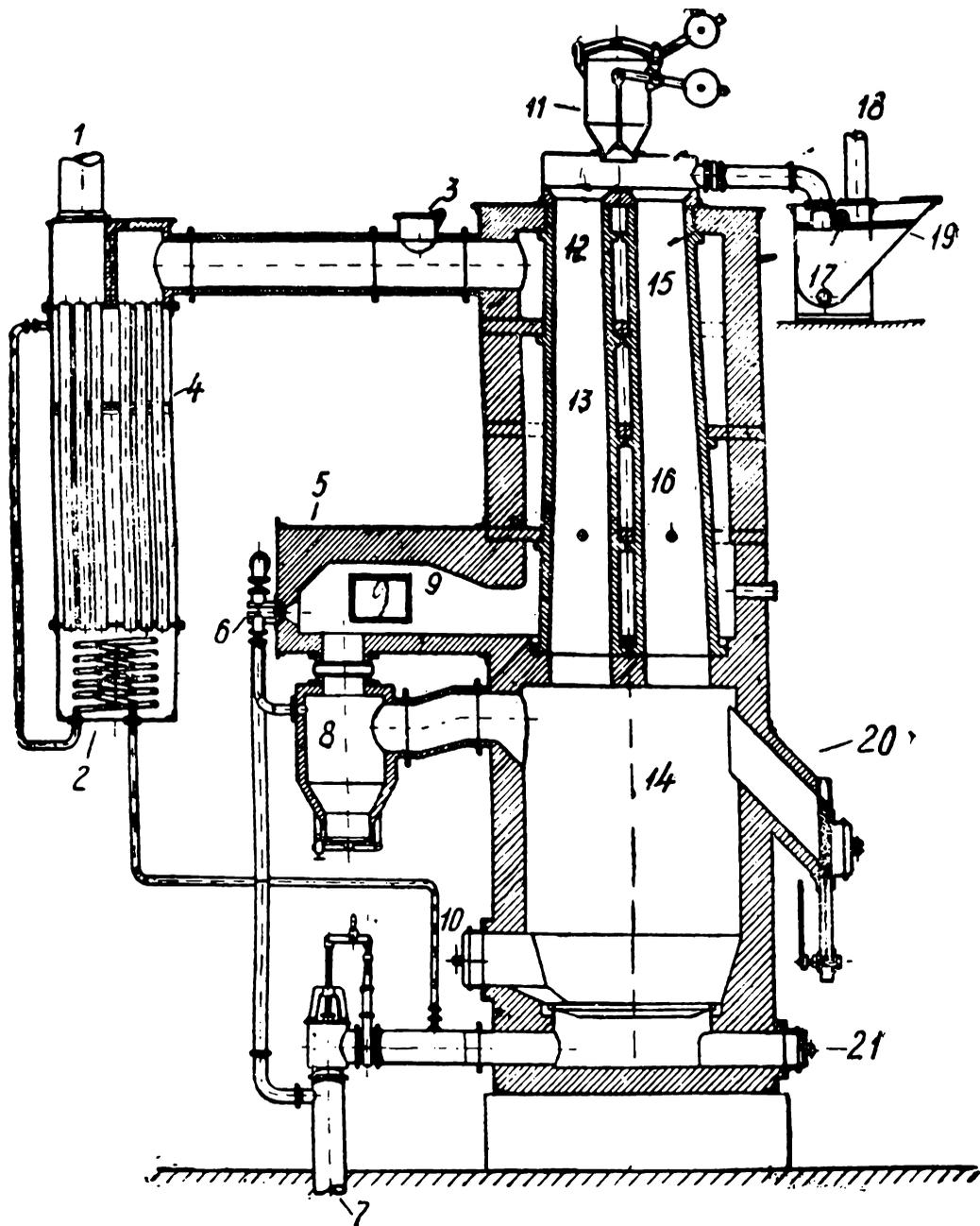


Рис. 46. Омгазгенератор системы Dellwik-Fleischer-Gasgesellschaft.

1—к дымовой трубе, 2—перегреватель пара, 3—предохранительный клапан (на случай взрыва), 4—котел на отходящих газах, 5—камера горения, 6—горелка водяного газа, 7—от вентилятора, 8—мешок для пыли, 9—предохранительный клапан (на случай взрыва) 10—шлаковые дверцы, 11—наполняющая воронка, 12—реторты, 13—высыкивание смолы 14—генератор водяного газа, 15—реторты, 16—высыкивание смолы, 17—жолоб для смолы 18—неочищенный газ, 19—приемник смолы, 20—вытывка кокса, 21—дверцы для золы.

Для того, чтобы быстро получать пар при пуске установки, по пути отходящих газов поставлен подогреватель для воды, работающий как маленький паровой котел, который уже через 10—15 мин. дает пар. Он выключается, как только в основном паровом котле началось парообразование.

По прежним сообщениям фирмы в этом генераторе при газификации каменных углей получается двойной водяной газ с теплотворной способностью около 3800 кал. на 1 м³, при выходе около 95 м³ из 100 кг угля. Получающаяся при этом смола может быть подведена в горячую зону дистилляционной реторты, где она разлагается, благодаря чему теплотворная способность газа повышается приблизительно до 4000 кал. на 1 м³, при выходе 90 м³ газа на 100 кг угля. Дальнейшее повышение теплотворной способности может быть достигнуто путем отъема части кокса.

Оба способа повышения теплотворной способности, примененные фирмой Dellwik-Fleischer-Gesellschaft, в особенности же выпуск собственной смолы в реторту, нигде не практикуется. Осмотренная автором установка на газовом заводе Langensalza работала как без добавочной карбюрации, так и без отъема кокса. Теплотворная способность газа около 4000 кал. может быть получена только при соответствующем уменьшении количества водяного газа, проходящего через реторты. Выход газа при таком способе работы оценивается в 75—80 м³ на 100 кг угля. Опыт показал, что, несмотря на сильный внешний обогрев реторт, часть первичной смолы как при газификации каменного угля, так и при газификации бурого угля не разлагается. В виду этого на проектировавшейся второй установке было решено сделать железный канал, расположенный между ретортами и обогреваемый горячими газами. По этому каналу должны проходить в нисходящем направлении газы, содержащие смолу, которая при этом должна крекироваться. Оправдало ли себя это устройство—автору неизвестно.

К недостаткам этого способа, по сравнению с обычным получением водяного газа и ретортной дистилляцией, следует отнести сгорание части водяного газа для обогрева реторт, что понижает выход газа. Для больших газовых заводов это будет, очевидно, иметь значение, так как здесь, вследствие значительно меньших капитальных затрат и эксплуатационных расходов, отнесенных к 1 м³ газа, экономичность в значительной мере зависит от полного использования тепла топлива. Иначе обстоит дело на маленьких газовых заводах, где капитальные затраты и эксплуатационные расходы, отнесенные к 1 м³ газа, значительно выше, и где, кроме того, сильно сказывается малая рентабельность добычи побочных продуктов. На таких газовых заводах эти расходы могут быть значительно снижены при применении генераторов двойного водяного газа, так что они смогут экономично работать даже и при плохом использовании тепла угля.

Омгазгенераторы, предназначенные для получения городского газа в легко обслуживаемых и быстро пускаемых в ход небольших установках, не усложненных аппаратурой для получения побочных продуктов и полного использования тепла, должны быть особенно пригодны для маленьких газовых заводов, не имеющих возможности пользоваться добавочным высококалорийным газом с больших газовых заводов. Безусловной предпосылкой для этого является такая конструктивная разработка установки, которая удовлетворила бы

требованиям маленьких заводов. Возможно, что омгазгенераторы могут применяться и на больших газовых заводах, а также и для дальнего газоснабжения как вспомогательные установки на случай перерыва в дальнем газоснабжении, так как они дают газ, близкий по теплотворной способности к нормальному городскому газу.

Обогащение двойного газа путем отъема генераторного газа

Для того, чтобы в генераторе двойного водяного газа получать газ менее разбавленный водяным газом, можно последний отводить

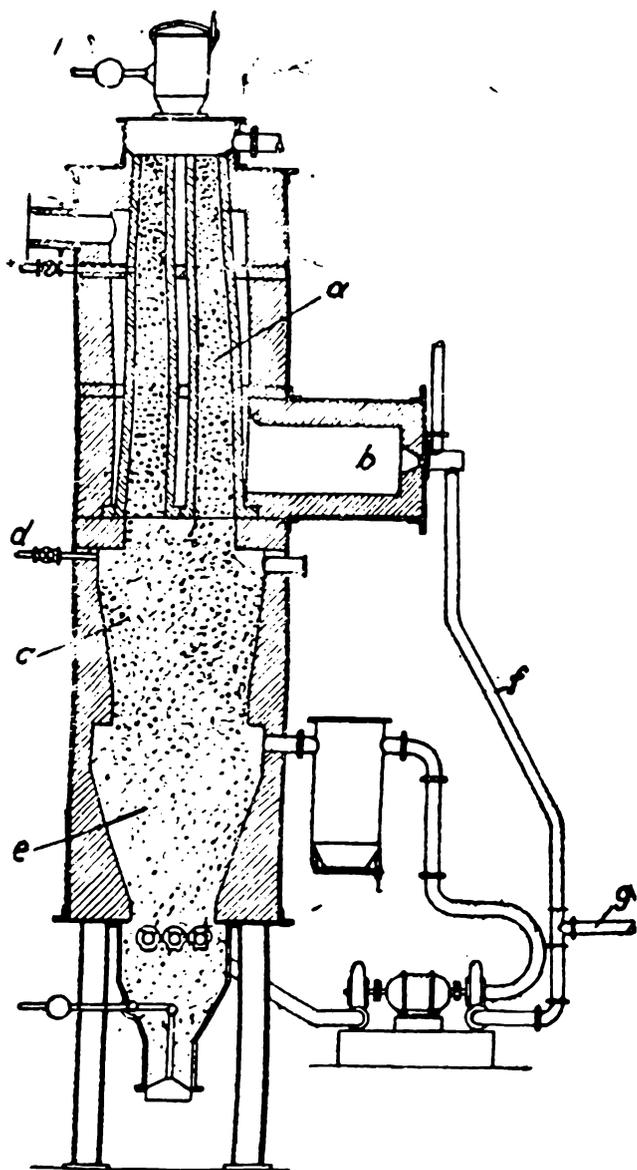


Рис. 47. Омгазгенератор непрерывного действия.

отдельно от двойного газа. С целью избежать затруднения при сбыте кокса, которые ожидаются при дальнейшем увеличении потребления газа для производственных и бытовых нужд, было предложено комбинировать газовые заводы с электрическими станциями. Переход последних на газовые двигатели, питаемые коксовым генераторным газом, обеспечит использование значительных количеств газового кокса. В специальной литературе имеются указания на то, что во Франкфурте-на-Майне фирма Frankfurter Gasgesellschaft приступила уже к осуществлению этой идеи. Для получения электроэнергии там должны служить большие газомоторы вместе с паровыми турбинами, при чем отбросная энергия обоих производств должна полностью использоваться в установке¹. Описанный выше омгазгенератор видоизменен фирмой Dellwik - Fleischer-Wassergasgesellschaft та-

ким образом, что часть кокса, получающегося при добыче высококалорийного газа, превращается в газ, который предназначается

¹ Gas- und Wasserfach, 1926, стр. 443.

для получения электроэнергии. Эта идея, для осуществления которой имеются различные возможности (кокс, получающийся при производстве двойного газа, может, например, также поступать непосредственно в особый генератор) привела к разработке *непрерывно действующего омгазгенератора* (рис. 47).

Реторты *a* так же, как и в омгазгенераторе по рис. 46, окружены спиральными отопительными каналами и сильно нагреваются продуктами горения, поступающими из топки *b*. В верхнюю часть шахты газификации по паропроводу *d* вводится пар, который превращает часть кокса в водяной газ. В нижней части *e* шахты газификации остающийся кокс превращается в генераторный газ при дутье

воздухом или смесью воздуха с паром. Генераторный газ по трубопроводу *f* подается в камеру горения *b*, а по трубопроводу *g* отводится для использования на стороне. Непрерывность производства обуславливается тем, что только небольшая часть кокса превращается в газ, так как расход тепла на реакцию разложения пара покрывается, главным образом, теплом, заключенным в коксе, если не считать, что разложение пара идет также и в нижней части дистилляционных шахт.

В таком случае процесс приближался бы к дистилляции в вертикальных ретортах и едва ли мог бы быть отнесен к газификации в двойной газ.

В разработанной *Tully-Yeo* в Англии конструкции получение высококалорийного газа связано с получением коксового водяного газа. Конструкция изображена на рис. 48. Над шахтой газификации *C* помещена высокая дистилляционная реторта *A*, окруженная тепловым аккумулятором *U*. Топливо (уголь или смесь угля с коксом) загружается через воронку *G*. Слой топлива разогревается при помощи горячего дутья, для чего по трубе *M* под решетку вдувается воздух. Газы горячего дутья через отверстие *K* попадают сперва в аккумулятор *U*. По трубе *D* подается вторичный воздух, в смеси с которым большая часть газов сгорает. Из аккумулятора по каналу *X* газы попадают в теплообменник *B*, который проходит сверху вниз. Внизу к газам подмешивается третичный воздух, поступающий по трубе *S*, и через патрубок *T* смесь попадает в камеру

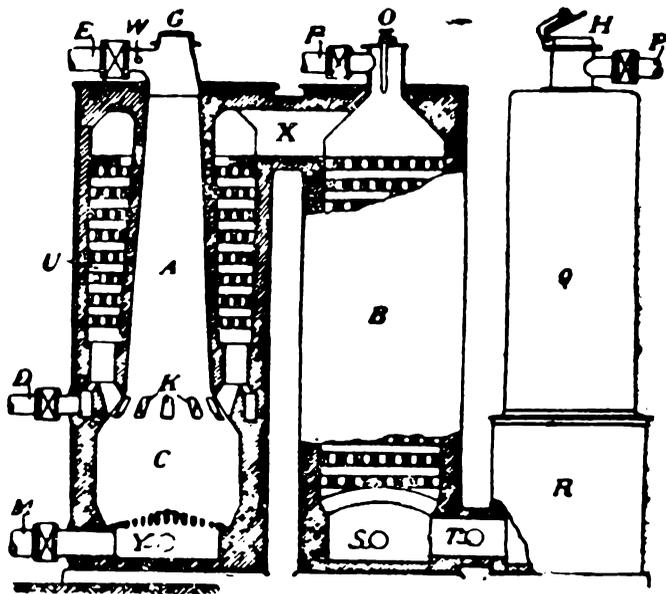


Рис. 48. Генератор водяного газа для одновременного получения светильного и водяного газа системы Tully-Yeo.

горения R парового котла Q . Из котла газы отводятся по трубе H . В случае получения карбюрированного водяного газа по трубе I также впускается добавочный воздух, что имеет целью обогрев камеры карбюратора B . По окончании горячего дутья по трубе Y в нижнюю часть газогенератора впускается водяной пар и вентилями регулируются таким образом, что часть, приблизительно $\frac{1}{4}$, образовавшегося в генераторе водяного газа проходит через реторту и по трубопроводу E отводится в газоочистительную установку, остальной же газ проходит через аккумулятор U в карбюратор B , где карбюрируется маслом, вбрызгиваемым по трубе O . Карбюрированный газ попадает через котел Q в газопровод P . Если газ не должен карбюрироваться, то ответвленная часть газа идет тем же путем и водяной газ только переносит тепло из теплообменника B в котел Q .

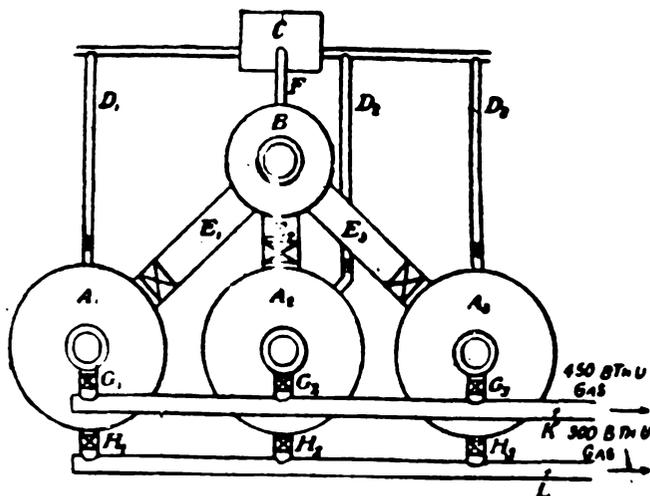


Рис. 49. Установка из трех генераторов с общим карбюратором и паровым котлом системы Tully-Yeo.

От трубопровода E ответвляется обычный обводной трубопровод W , служащий для отвода дистилляционных газов во время горячего дутья.

В случае комбинирования газового завода с электрической станцией коксовый водяной газ должен служить или для обогрева паровых котлов, или же для непосредственного питания газовых двигателей. Имеющийся до сих пор опыт, однако, показывает, что водяной газ, полученный при перподическом процессе, является слишком дорогим топливом для указанных целей. К недостаткам этого процесса относится и то, что коксовый водяной газ уносит в паровой котел больше количества тепла из аккумулятора U , тогда как это тепло целесообразнее было бы использовать для газообразования. Здесь следует еще отметить предложенное Tully соединение трех генераторов (рис. 49), которое имеет целью создать известное постоянство как подвода тепла в паровой котел, так и получения водяного газа. Газогенераторы водяного газа (A_1, A_2, A_3) соединены с общим карбюратором B и паровым котлом C .

Период горячего дутья в каждом генераторе продолжается 2 мин., а газования — 4 мин. Генератор, находящийся под дутьем, соединен с паровым котлом; в двух других ведется газование, при чем голубой водяной газ поступает в магистральный газопровод. Как-будто бы, эти предложения еще не осуществлены. Принудительное назначение продолжительности периода горячего дутья, вызываемое

стремлением к непрерывному подводу тепла в котел, едва ли позволит создать в слое топлива благоприятные для газификации термические условия¹.

VI. НЕПРЕРЫВНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ДВОЙНОГО ВОДЯНОГО ГАЗА

Получение водяного газа по рассмотренным до сих пор способам протекает периодически, т. е. при попеременном впуске воздуха и пара. Старый способ непрерывного получения водяного газа в обогреваемых извне ретортах теперь везде оставлен из-за плохого использования тепла и малой производительности. Однако, до сих пор встречаются попытки вернуть к жизни этот старый способ путем применения улучшенных вспомогательных средств. Эти стремления станут понятными, если принять во внимание, что и новому способу присущи еще многие недостатки. К недостаткам периодического процесса, в основном, относится следующее:

1. Установка не используется для получения газа во время периодов горячего дутья и во время перестановки вентиляей, отнимающей хотя и немного времени, но при длительной работе составляющей уже заметную потерю рабочего времени.

2. Газообразование протекает неравномерно вследствие падения температуры в слое топлива от начала газования к концу. Вследствие этого в конце периода газования газообразование идет хуже, причем увеличивается количество неразложенного, а следовательно, и неиспользованного пара. При получении двойного газа это падение температуры влечет за собой ухудшение сухой перегонки, что становится особенно ощутимым тогда, когда водяной газ служит переносчиком тепла в камеру дистилляции.

3. При способах, в которых преследуется повышение теплотворной способности газа, разложение составных частей смолы бывает неравномерным, в особенности в аккумуляторах тепла, служащих перегревателями. В начале газования разлагаются, вследствие высоких температур, даже газообразные углеводороды, тогда как расщепление жидких углеводородов в конце периода становится неполным.

4. Периодическая работа сложнее и требует более внимательного наблюдения.

Для получения водяного газа в непрерывном процессе, если не считать старого принципа внешнего обогрева и его позднейших видоизменений, имеются следующие возможности:

1. Подвод тепла в генератор при помощи или одного пара, или же при одновременной циркуляции газа.

2. Пополнение тепла, затрачиваемого на газификацию, при посредстве кислорода, вводимого вместе с паром.

3. Обогрев камеры газификации изнутри (например, электрическим током).

¹ Английский Gas Journal, 24/III 1926, стр. 751.

За последнее время разработаны, кроме того, различные способы газификации при подводе тепла как при помощи внешнего, так и внутреннего обогрева. Частично эти способы испытаны на больших опытных установках. Но так как они базируются, главным образом, на применении топлив в мелкозернистом состоянии, целесообразнее будет коснуться их в следующей VII главе.

Получение водяного газа при подводе тепла нагретыми газами

Среди различных возможностей непрерывного получения водяного газа при внутреннем обогреве слоя топлива, прежде всего, было наметено осуществить подвод необходимого для газификации тепла при помощи сильно перегретого водяного пара. Однако, расчет показывает, что даже перегрев до 2000° был бы недостаточен.

Для газификации 1 кг углерода по реакции $C + H_2O = CO + H_2$ требуется 2365 кал. Уголь, подогретый отходящими газами до 1100° , возвращает в зону газификации около 360 кал. на 1 кг. Вступающие при 2000° 1,5 кг пара содержат 1734 кал., а 3,8 м³ водяного газа при 1000° уносят 1120 кал. Потребность в тепле равна 3593 кал., а приход составляет только 2094 кал., следовательно, недостает около 1500 кал., при чем не учитываются еще потери излучением и проче.

Для того, чтобы покрыть этот недостаток предлагали доводить нагрев пара до диссоциации его [патент 21107 (1880 г.) фирмы *Elektro-Preiske Wattengas Aktiebolaget* в Стокгольме]. По этому способу часть полученного горячего водяного газа должна была сжигаться с подогретым воздухом попеременно в одной из двух камер регенератора. В разогретой таким путем камере должен затем перегреваться и разлагаться на составные части водяной пар. Понятно, что при получаемых в регенераторах температурах могла бы диссоциировать только незначительная часть пара. Освободившийся при этом кислород, сжигая до окиси соответствующее количество углерода, едва ли смог бы покрыть указанный выше недостаток тепла на реакции. В подобных предложениях не учитывается также и то обстоятельство, что образующиеся при обогреве камер продукты горения должны иметь почти такую же степень диссоциации, как и желаемая диссоциация водяного пара. Постройка камер, подверженных действию таких высоких температур, представляла бы значительные затруднения. Большие тепловые потери как с отходящими газами, так и излучением перегревателей должны оказывать очень значительное влияние на экономичность процесса.

Большие перспективы для практического осуществления имеют те способы, в которых тепло, необходимое для газификации, подводится не только перегретым паром, но и циркулирующим газом, перегреваемым вместе с паром. Работающий по этому принципу газогенератор был впервые предложен R. Mannesmann'ом¹. Схема видна на рис. 50². Из генератора А водяной газ засасывается паровым

¹ Германский патент 66326. 1891 г.

² S. Geitel, стр. 75. Рис. 61.

инжектором J . Засос производится со стороны, противоположной главному отводному патрубку. Инжектор прогоняет газ попеременно в тот из двух регенераторов W^1 и W^2 , который предварительно разогрет сжиганием смеси газа и воздуха. Перегретая смесь пара и газа вступает снизу в слой топлива в генераторе. Этот отсос, перегрев и обратный подвод газа должны повторяться до тех пор, пока не закончится образование водяного газа. При установившемся процессе, как сказано в описании, часть образовавшегося газа может постоянно отбираться, а остальной газ циркулирует описанным выше образом. Регенераторы W^1 и W^2 могут попеременно соединяться при помощи трубопроводов L^1 и L^2 и клапанов D и E с верхней или нижней частью генератора.

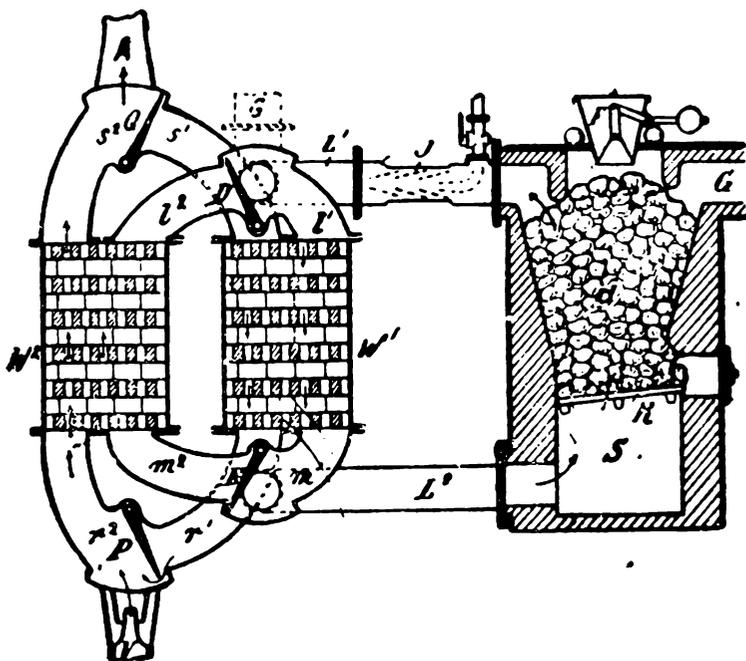


Рис. 50. Генератор водяного газа с обогревом циркулирующим газом системы Mannesmann.

Изобретатель рассчитывал достичь полного разложения пара только после неоднократной циркуляции паро-газовой смеси; из этого можно заключить, что он не предполагал накапливать в регенераторе столько тепла, сколько необходимо его для быстрого образования водяного газа.

Установка для непрерывного получения двойного газа системы Leider. Недавно американец Ф. Т. Leider использовал идею Mannesmann'a в конструкции более удовлетворяющей условиям непрерывного получения водяного газа¹. При этом намечалась газификация битуминозных углей, лигнита и других сырых топлив. Тепло подводится в генератор смесью газа и пара, который нагревается в регенераторах, раскаляемых предварительно до белого каления. Схема установки показана на рис. 51.

¹ Американский патент 1467957.

Топливо через воронку 2 загружается в высокую шахту генератора 1. Нагретая смесь газа и пара поступает в генератор попеременно по нижним соединительным каналам 3 и 4 из регенераторов 10 и 11. Главная часть образующегося водяного газа проходит через слой коксующего топлива и отводится по трубопроводу 28, незначительная же часть газа отбирается вверху зоны газификации и по трубопроводу 3' поступает в паровой котел 5. Физическое тепло газов используется здесь для парообразования. Пар по паропроводу 7 поступает в трубопровод 8, где он смешивается со значительно охладившимся водяным газом, засасываемым из котла вентилятором 9

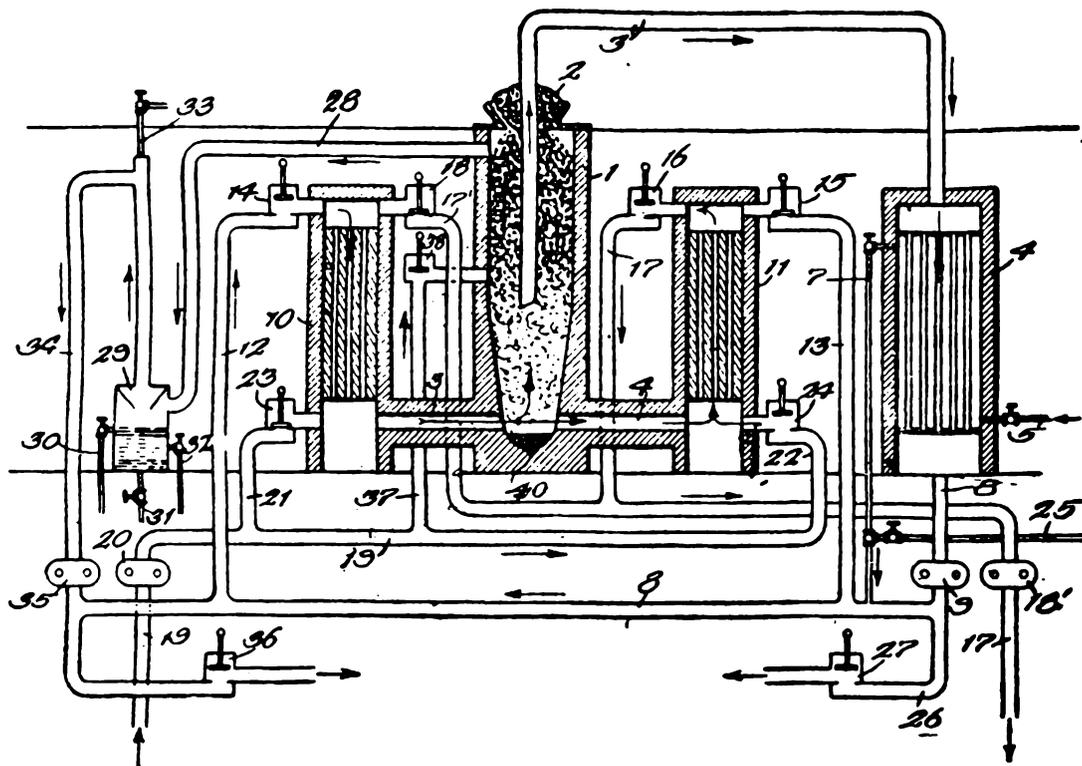


Рис. 51. Генератор для непрерывного получения двойного газа системы Leider.

От смешительного трубопровода 8 отводятся два ответвления 12 и 13, которые через вентили 14 и 15 подводят паро-газовую смесь в верхнюю часть регенераторов 10 и 11. При положении вентилей, показанном на рисунке, паро-газовая смесь поступает по трубопроводу 12 в регенератор 10 и оттуда по каналу 3 в шахту генератора. Часть образовавшегося здесь газа отсасывается при помощи вентилятора 18' в трубопровод 17, пройдя предварительно по каналу 4 в разогреваемый регенератор 11, где происходит горение газа. Воздух подается вентилятором 20 по трубопроводу 19 и ответвлению 22. Когда температура в регенераторе 10 опустилась до известного предела, тогда перекидываются клапаны 14, 15, 16, 17, 23 и 24, управляющие направлением газовых потоков, и функции регенераторов меняются, и т. д. При недостаточном парообразовании в котле 4

по паропроводу 25 подается добавочный пар от постороннего источника. Часть газа, идущего по трубопроводу 3', которая не должна идти на обогрев регенератора, может быть ответвлена по трубопроводу 26. В том случае, если этот газ не должен подмешиваться к двойному газу, идущему через холодильник 29, трубопровод 34 и вентилятор 35, он может быть использован для специальных целей, как голубой водяной газ.

Если уголь содержит очень много летучих, так что тепло, приносимое водяным газом, недостаточно для сухой перегонки, то в нижнюю часть зоны сухой перегонки при открытом вентиле 38 по трубе 37 подводится немного воздуха. Таким путем, благодаря горению части водяного газа, достигается повышение температуры обогреваемого газа. За счет небольшого увеличения содержания CO_2 можно в случае надобности поднять температуру в нижней части генератора, путем приоткрывания обычно закрытого вентиля 23.

Процесс в отношении получения газа постояен. Ему присущ общий недостаток регенеративного отопления, заключающийся в постепенном понижении температуры обогреваемых газов. Вследствие этого камеры регенератора необходимо нагревать до температуры, значительно превышающей желаемую среднюю температуру слоя топлива в зоне газификации.

При имеющихся до сих пор в нашем распоряжении огнеупорных материалах едва ли возможно держать начальную температуру в регенераторах выше 1600° . Следовательно, при конечной температуре около 1200° и температуре выходящих газов около 800° в генераторе получается полезное падение температуры, в среднем, около 600° . Расчет для этого случая показывает, что 1 м^3 циркулирующей паро-газовой смеси может внести количество тепла, достаточное для разложения $0,165 \text{ м}^3$. Поэтому для газификации 1 кг углерода необходимо пропустить по меньшей мере 10 м^3 обогреваемой паро-газовой смеси, т. е. необходима циркуляция очень больших, по сравнению с добываемым количеством газа, объемов.

Была ли описанная конструкция осуществлена на практике в Америке, сведений не имеется. В Германии же уже несколько лет ведется работа по практическому осуществлению основанного на подобной же идее способа Hillebrand'a. За успехом этой работы в кругах специалистов следили очень напряженно. Более или менее подробных сообщений об этом не имеется, но, по слухам, уже осуществлена опытная установка большого размера.

Способ Hillebrand'a по патенту 422999 отличается от описанного выше в первую очередь тем, что циркулирующий газ по выходе из генератора и перед поступлением в подогреватель (например, два попеременно работающих регенератора) сильно охлаждается, что позволяет применять для его перемещения обычные вентиляторы. Этот способ предусматривает, главным образом, газификацию дешевых очень влажных бурых углей, поэтому охлаждение газа можно широко использовать для предварительной подсушки и сухой перегонки угля.

Подвод тепла в генератор при помощи циркулирующей парогазовой смеси дает возможность получить в слое топлива условия, благоприятные для газификации, путем простой регулировки температуры нагрева. При этом избегаются плавление золы и местные перегревы, вызываемые могущими образоваться прогарами, как это бывает при обычном получении генераторного и водяного газов.

Обогрев циркуляционным газом, при котором выделение тепла и его потребление пространственно разделены и при котором циркулируют большие количества тепла, связан непременно с большими тепловыми потерями. Эти потери, если не будет возможности полного использования тепла отходящих газов для процесса, делают сомнительной экономичность процесса, требующего, кроме того, емкую аппаратуру. Поэтому заранее можно сказать, что для высокосортных топлив этот процесс едва ли имеет какие-нибудь экономические перспективы.

При газификации сырого бурого угля с высокой влажностью и вблизи от места добычи условия благоприятнее. В этом случае тепло отходящих газов может быть использовано для подсушки топлива. Кроме того, сравнительно легко реагирующий буроугольный кокс требует менее высоких температур для правильного течения процесса газификации. Благодаря этому, тепловые потери с отходящими газами и потерь лучеспусканием становятся более умеренными. Во всяком случае, превращение дешевых на месте добычи калорий угля в высококалорийный газ весьма заманчиво. В памяти еще свежо воспоминание о том, с какой затратой средств и умственной работы вскоре после окончания войны стремились разрешить вопрос газификации рыхлого бурого угля в обычных генераторах, при чем наряду с получением первичной смолы ставили себе целью только получение генераторного газа, обладающего большим балластом в виде азота. При получении водяного газа благоприятным является большой расход пара, так как на покрытие этого расхода может быть использована большая часть выделяющейся при сушке угля воды, благодаря чему даже при газификации сырых бурых углей отпадает неприятная необходимость удаления больших количеств конденсатной воды.

Выделение сухой перегонки в самостоятельный, пространственно отделенный от газификации, цикл, проводимый специальным круговоротом газообразных и парообразных продуктов сухой перегонки, имеет то преимущество, что первичная смола получается свободной от загрязнений остатками смолы, выделяющимися из полукочка в газогенераторе.

Способ Hillebrand'a в применении к сырому бурому углю с высокой влажностью будет пояснен на основании описания, данного в патенте.

Как указано в патенте, приведенный чертеж (рис. 52) является только схемой и отдельные аппараты для наглядности изображены несвязанными друг с другом.

Уголь из бункера 1 падает в сушилку для предварительной подсушки 2, через которую циркулирует ток перегретого пара 3. Пар

перегревается приблизительно до 200° в перегревателе 4 и охлаждается в сушилке приблизительно до 100° . Вентилятором 5 он поддерживается в движении по направлению, указанному стрелкой. Образующийся в сушилке пар потоком 6 отводится по паропроводу 7.

Уголь через шлюзовый затвор 8 падает в дозирующее приспособление 9 и оттуда в перегонную шахту 10. Через последнюю циркулирует потоком 11 смесь перегретого пара и газа низкотемпературной сухой перегонки. Этот поток подогревается в подогревателе 12 и отдает топливу в шахте 10 тепло, необходимое для досушки и полукоксования. Циркуляцию в направлении, указанном стрелкой, побуждает вентилятор 13. Через шлюз 14 прококсованный уголь попадает в дозирующее устройство 15 и через него в газогенератор 16. Через генератор циркулирует газовый поток 17, состоящий из смеси водяного газа и газов высокотемпературной перегонки, прогоняемый вентилятором 18. Нагрев этой смеси производится в теплообменнике 19, при чем она воспринимает тепло, необходимое для проведения газификации, высокотемпературной и низкотемпературной сухой перегонки. Последнее передается в теплообменнике 12 газовому циклу 11, а первые два используются для газификации и дококсовывания в газогенераторе 16. Теплообменник 19 обогревается снизу любым источником тепла, подачей горячих газов по трубе 20; отходящие потоком 21 газы поступают в перегреватель 4 и нагревают пар цикла досушки 3, после чего газы отводятся в дымовую трубу 22. Круговой поток 11 уносит образующиеся в шахте 10 продукты сухой перегонки 23 в вентилятор 13. В этом вентиляторе, работающем по принципу дезинтегратора, происходит выделение смолы 24. Смесь газов и паров 23 поступает в трубопровод цикла 17 или после перегрева газов этого цикла, как показано на чертеже, или же до перегрева. Она попадает таким образом в слой раскаленного кокса в генератор 16 и воспринимает образующиеся здесь при

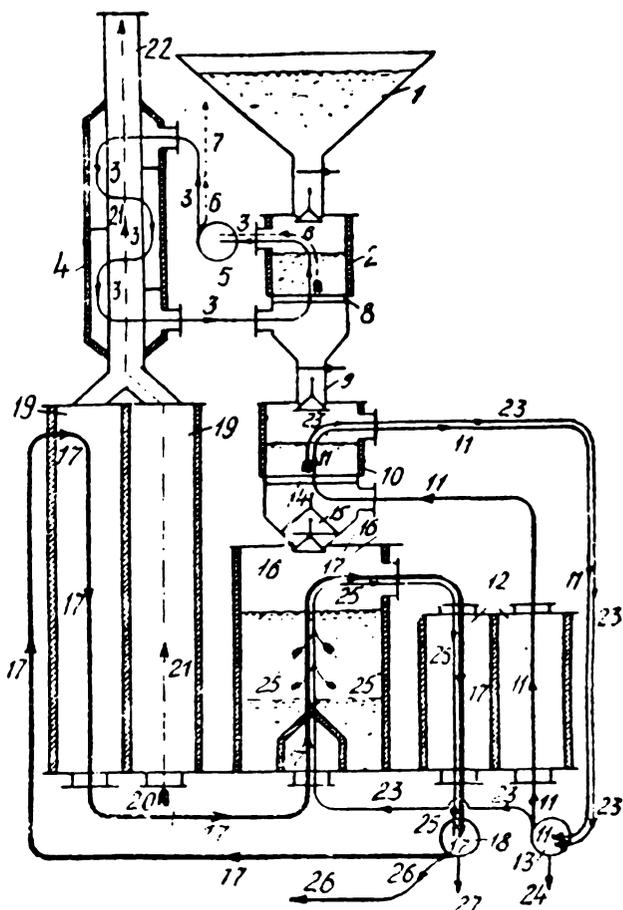


Рис. 52. Схема генератора для непрерывной газификации угля бурого угля системы Hillebrand.

газовому циклу 11, а первые два используются для газификации и дококсовывания в газогенераторе 16. Теплообменник 19 обогревается снизу любым источником тепла, подачей горячих газов по трубе 20; отходящие потоком 21 газы поступают в перегреватель 4 и нагревают пар цикла досушки 3, после чего газы отводятся в дымовую трубу 22. Круговой поток 11 уносит образующиеся в шахте 10 продукты сухой перегонки 23 в вентилятор 13. В этом вентиляторе, работающем по принципу дезинтегратора, происходит выделение смолы 24. Смесь газов и паров 23 поступает в трубопровод цикла 17 или после перегрева газов этого цикла, как показано на чертеже, или же до перегрева. Она попадает таким образом в слой раскаленного кокса в генератор 16 и воспринимает образующиеся здесь при

газификации и высокотемпературной сухой перегонке пары и газы. Ток этих продуктов 25, уносимый циркулирующим газом 17, охлаждается в теплообменнике 12 и освобождается от смолы в дезинтеграторе-вентиляторе 18, после чего отделяется от циркуляционного газа 17 и поступает к потребителю по трубопроводу 26. Выпадающая в дезинтеграторе смола отводится по трубе 27.

В больших установках генераторы соединяются в группы, причем теплообменники, перегреватели, вентиляторы, газоочистители и т. д. обслуживают одновременно целую группу генераторов. Благодаря такому устройству, равномерная газификация по всей группе обеспечивается температурой в общем теплообменнике 19 и температурой газового потока 17.

Получение двойного водяного газа при внутреннем обогреве с помощью кислорода

Из способов получения водяного газа в непрерывном процессе прежде всего следовало бы осуществить на практике газификацию смесью пара с кислородом или воздухом, обогащенным кислородом, так называемым воздухом Linde. Еще в 1898 г. Общество льдоделательных машин Linde запатентовало (патент 108158) способ «непрерывного получения водяного газа», который предусматривал безостаточную газификацию битуминозных углей с помощью смеси обогащенного кислородом воздуха и перегретого пара. Полученная таким образом горячая смесь газов должна обогревать реторту, из которой уголь поступает в газогенератор. Выделяющиеся при этом в реторте продукты сухой перегонки отбираются отдельно от генераторного газа, с целью получения ценных составных частей.

С технической точки зрения этот процесс имеет тот недостаток, что внешний обогрев коксовальной реторты водяным газом недостаточен для своевременного окончания коксования свежего угля. Такая установка, если бы даже процесс и был технически возможен, не могла бы работать экономично, потому что кислород в то время был еще очень дорог. Вскоре после того, как был выдан этот патент, проф. Hempel в Дрездене по инициативе Verein zur Förderung des Gewerbefleißes поставил в этом направлении довольно обстоятельные опыты на маленьком генераторе, внутренним диаметром около 250 мм. При опытах применялся воздух преимущественно с 50% кислорода, а в отдельных случаях с 90%. Кокс при газификации в 90% кислороде дал газ содержащий: CO_2 — 11,0%, CO — 78,6%, H_2 — 1,2% и N_2 — 9,2%. Теплотворная способность газа 2320 кал. Температура в печи была в начале опыта 1050°, а к концу поднялась до 1250°. Газ, полученный в тех же условиях из верхнесилезского каменного угля, содержал: паров — 1,2%, CO_2 — 21,6%, C_2H_4 — 0,8%, O_2 — 0,9%, CO — 57,0%, CH_4 — 0,2%, H_2 — 4,7% и N_2 — 13,5%. Начальная температура была 1190°, а конечная 1250°. Постоянный режим генератора не был достигнут, так как процесс приходилось каждый раз прерывать преждевременно, вероятно, из опасения зашлаковывания при повышении температуры. Основным результа-

том работы исследователь считал установление того, что при газификации воздухом Linde генераторный газ имеет очень высокое содержание углекислоты, вследствие чего при применении обогащенного воздуха или кислорода процесс следует вести при значительно более высокой температуре, чем при получении обычного воздушного газа. В действительности же, высокое содержание углекислоты в газах объясняется, вероятно, сравнительно низким слоем горючего в маленьком опытном генераторе и опыты Непре́л'а не дают поэтому картины того, что должно получиться при работе нормального генератора при применении обогащенного кислородом воздуха.

После войны вопрос об использовании кислорода возникает в связи с проблемой рационального использования имеющихся в нашем распоряжении запасов энергии. Теперь этот вопрос связывают не только с указанной проблемой, но и ставят его в связь с электролитическим получением водорода из воды.

Американские и английские опыты. Газификация при посредстве кислорода с 1920 г. неоднократно обсуждалась на совещаниях специалистов по газовому делу сперва в Англии, а затем в Америке¹. Здесь следует отметить сообщения N. J. Hodsman'a и J. W. Cobb'a в British Institution of Gas Engineers² и E. A. W. Jefferies'a в New England Association of Gas Engineers в феврале 1921 г. (Gas Making with cheap Oxygen) и статью L. J. Willien'a³. Новые сторонники старой идеи стремились преимущественно к разрешению актуальной после войны проблемы безостаточной газификации углей в высококалорийный газ при больших выходах побочных продуктов. Так, например, Jefferies ожидал, что при газификации угля с содержанием 34% летучих получится газ с теплотворной способностью около 3400 кал./м³ примерно следующего состава: CO₂—3%, CO—58%, H₂—28%, C₂H₄—1,4%, CH₄—7,6% и N₂—2%. С большим оптимизмом относились и к коэффициенту полезного действия газификации, который принимался по меньшей мере равным 95%, так как предполагалось, что газы будут выходить из генератора при очень низкой температуре и, вследствие отсутствия азотного балласта, будут уносить из генератора мало физического тепла. Еще на международной топливной конференции в Питтсбурге (ноябрь 1926 г.) один докладчик, основываясь на этих цифрах, рассчитывал получить из 1 т угля свыше 2150 м³ газа с теплотворной способностью 3560 кал. м³.

Для экономичности процесса наибольшее значение имеет количество кислорода, необходимого для газификации 1 кг топлива. Оно

¹ Еще раньше инж. R. Mezger в опубликованной в Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, от 28 февраля 1920 г., статье о применении вюртембергских битуминозных сланцев в газовом производстве предлагал вести газификацию битуминозных сланцев при помощи кислорода. В то же время Raoul Pictet также стал пропагандировать газификацию кислородом. За несколько лет до этого он взял патент на такой способ газификации (ср. французский патент 475528 в Feuerungstechnik, X, стр. 16).

² Gas Journal (Лондон), 8/V1 1920, стр. 640—644.

³ «Complete Gasification of Coal by the use of Oxygen», Amer. Gas Association Monthly (сентябрь, 1923, стр. 565—570).

астет с содержанием углерода в угле и поэтому для углей с высоким содержанием летучих, т. е. для молодых углей, оно является наименьшим. Для газификации должны вследствие этого применяться в первую очередь угли, богатые летучими. Кроме того, расход кислорода находится в зависимости от количества пара, необходимого для газификации 1 кг топлива. Расход пара определяется не только тем количеством тепла, которое выделяется при реакциях кислорода и должно быть потреблено на разложение пара, но в значительной мере при этом приходится учитывать и опасность образования шлаков в слое топлива. Для битуминозных каменных углей американские авторы считают средний расход кислорода около $0,35 \text{ м}^3$ на 1 кг угля. В Америке при улучшенных методах получения кислорода стоимость его может быть принята равной 1,5—2,4 пфеннига за 1 м^3 , следовательно, стоимость кислорода на 1 м^3 двойного водяного газа падет в размере около 0,3—0,45 пф. По подсчетам Vandeever'a и Parr'a¹ при стоимости угля в 27 марок за тонну предел рентабельности процесса достигается при стоимости кислорода в 2,59 пф.

Практическое осуществление эти стремления нашли в опытной установке, построенной фирмой Gas Light Company в Worcester'e, Mass. Суточная производительность установки около $32\,000 \text{ м}^3$ газа. Судя по имеющимся об этой установке скудным сведениям, в работе встретились значительные затруднения.

Позднее сообщалось еще об одной маленькой установке в Торонто (Канада), сведений о работе которой, однако, не имеется. Не надежность экономических подсчетов, очевидно, удерживает от постройки дальнейших установок.

Газификация кислородом, специально добытым для целей газификации, на практике не привилась, однако, при известных условиях она приобретает все большее и большее значение. Возникшая уже давно мысль об использовании для получения кислорода дешевой электрической энергии, например, тока, полученного на гидроэлектрических станциях в ночные часы, имеет тот недостаток, что установка может быть использована только в течение нескольких часов и должна иметь значительно большие размеры, чем при непрерывном производстве. Кроме того, в случае если газогенераторная установка должна работать круглые сутки, необходимы большие газгольдеры для кислорода.

Большие перспективы имеет газификация кислородом в тех случаях, когда кислород получается в значительных количествах в виде побочного продукта и до сих пор не находит себе применения. Так, на международной топливной конференции в Питтсбурге² было указано на то, что одна установка по получению электролитического водорода, работающая на дорогой электроэнергии, выпускает неиспользованным на воздух свыше $10\,000 \text{ м}^3$ кислорода и что в подобной

¹ Fuel, 5, 1926, стр. 309—314.

² Proceedings of the International Conference on Bituminous Coal, ноябрь 5—18, 1926 г. издаше Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh-Pennsylvania, стр. 592.

же установке, проектируемой в Европе, будет выпускаться в сутки свыше 140 000 м³ чистого кислорода. В обоих случаях можно было бы получить при газификации кокса шестикратное количество водяного газа.

Применение электролитического кислорода. В 1921 г. шведом F. G. Liljenroth в Стокгольме было сделано предложение соединить электролитическое получение водорода с использованием получающегося при этом кислорода для непрерывного получения водяного газа¹. Водяной же газ может быть известным образом с применением катализаторов превращен при посредстве водяного пара в водород и углекислоту. По удалении углекислоты из этой смеси может быть получен чистый водород. В настоящее время намечается применение электролитического водорода и для приготовления городского газа. Так, имеются сведения, что в Мюнхене строится большая опытная установка на которой будет получаться водород по улучшенному Lawaszek'ом способу электролиза под давлением. Этот водород будет поступать на газовый завод, как добавка к водяному газу. При стоимости энергии 1 пф. за 1 квч процесс должен быть рентабельным. Будет ли в этом случае использоваться кислород, ничего не сказано². В данном случае это было бы особенно подходящим. Периодический процесс получения водяного газа, требующий большого расхода топлива, можно было бы заменить непрерывным получением водяного газа при помощи газификации кислородом и водяным паром, а также заменить и кокс более дешевым углем.

Получение водорода электролитическим путем с целью применения его, как прибавки, рассматривается теперь также и в связи с вопросом о получении городского газа из бурого угля. Газ, полученный при сухой перегонке бурого угля, по планам среднегерманской бурогольной промышленности должен явиться базой для получения городского газа и для дальнего газоснабжения. К этому газу требуется известная прибавка для понижения теплотворной способности и удельного веса, так как в этих отношениях он отличается от применяющегося в быту, смешанного газа газовых заводов, состоящего из каменноугольного дистилляционного газа и водяного газа. Такой прибавкой мог бы служить водяной газ, полученный из бурого угля или полукокса. Однако, не считая даже того, что получение водяного газа из сырого бурого угля или мелкозернистого полукокса практически разработано еще недостаточно, в кругах специалистов газового дела с опасением относятся к большой прибавке водяного газа из-за повышения содержания в городском газе ядовитой окиси углерода. Для того, чтобы понизить теплотворную способность коксозавального газа с 5900 кал./м³ приблизительно до 4300 кал./м³ потребовалась бы прибавка почти равного объема водорода. По мнению директора газового завода K. Schmidt'a³, элек-

¹ Британский патент 189789 и германский 439937.

² *Wärme*, 9.VI, 1928, стр. 422.

³ *GWF*, 1927, стр. 681.

тролнитическое получение водорода для прибавки к газу могло бы быть рентабельным при использовании дешевой почной энергии и при условии выгодного сбыта получаемого одновременно кислорода. Однако это предположение для большинства случаев нереально, в виду больших количеств водорода, которые необходимы для указанной цели. Использование кислорода для получения водорода через посредство водяного газа, как это предложено, например, в способе Liljenroth'a, значительно снизило бы количество водорода, которое необходимо получить электролизом.

Для уменьшения стоимости водяного газа, а, следовательно, и водорода, в настоящее время имеется стремление применить при газификации кислородом пылевидное топливо и вести процесс газификации так же, как горение в топках, т. е. во взвешенном состоянии. Этот способ, предложенный Klauss'ом 25 лет тому назад, менее подходит для производства водяного газа, чем для получения водорода. Несмотря на достигаемые при дутье кислородом высокие температуры, которые ограничиваются все-таки огнеупорностью стенок шахты, нельзя ожидать полноты реакций, так как продолжительность воздействия газов на топливо мала. При повышенном расходе пара можно достигнуть повышения содержания водорода в газе, что важно для целей синтеза. На эту возможность указывалось на угольной конференции в Питтсбурге. По способу, недавно разработанному K. Fischer'ом¹, непрерывное получение водяного газа из пылевидных топлив осуществляется при поддержании в камере газификации постоянного светящегося пламени от горения угольной пыли, при чем одновременно с этим расход тепла на реакции пополняется вводом кислорода в зону газификации. Таким путем достигается снижение количества кислорода, необходимого для газификации, и повышается содержание водорода в газе.

Рентабельность газификации кислородом и при сравнительно дешевом кислороде будет зависеть в значительной мере от того, удастся ли самый процесс газификации без больших затруднений провести с хорошим коэффициентом полезного действия. Как-будто, сторонники этого метода в некоторых отношениях очень оптимистичны. Так, приводимые в английской и американской литературе предположения о выходе и характере газа, а также о гладком течении процесса, покоятся, как-будто, на сомнительных основаниях. Следует прежде всего систематическими опытами внести ясность в это дело. В этом направлении имеются уже некоторые предварительные работы; наиболее существенные результаты, полученные при этих исследованиях, будут рассмотрены ниже.

Расчеты Cerasoli. Для проведения практических опытов большую ценность имеет теоретическое выяснение термохимической и термодинамической основ газификации. В этой области имеется замечательная работа итальянца Cerasoli². Cerasoli дает расчет состава

¹ Германский патент 461481.

² Реферат в GWF, 28/V 1927, стр. 508.

газа при газификации углерода или угля кислородом при различных количествах пара в смеси. Расчет ведется в том предположении, что газы, покидающие зону реакций, находятся в состоянии равновесия. Хотя это предположение для практики в большинстве случаев неверно, но тем не менее цифры дают указания на то, какой состав газа можно ожидать при данных условиях в самом благоприятном случае. В табл. 11 приведены цифры, вычисленные Cerasoli для случая газификации кокса при пяти различных составах смеси кислорода и водяного пара.

Таблица 11

Теоретический состав газовых смесей, получающихся при газификации углерода кислородом, содержащим различные количества водяного пара (по Т. Cerasoli)

№	Пара на 1 кг угля в кг	Кислорода на 1 кг угля в м ³	Темп. насыщения °С	Темпер. равновесия газа °С	Состав газа			Н ₂ O г. н. на 1 м ³	Кол-во газа на 1 кг С в м ³	Теплотворная способность 1 м ³ газа	
					CO ₂	CO	H ₂			Низшая	Высшая
1	0,250	0,775	68	1900	0,009	85,74	14,25	0,4	2,17	2997	3006
2	0,375	0,706	76	1350	0,26	80,08	19,66	4,1	2,32	2965	3060
3	0,500	0,675	80	910	2,67	73,71	23,61	15,2	2,37	2873	2987
4	0,750	0,649	86	810	8,22	62,26	29,52	46,2	2,64	2677	2819
5	1,000	0,638	98,5	760	13,30	52,70	34,00	71,1	2,82	2501	2665

Из приведенных цифр видно, что в случае № 5, в котором на один объем кислорода приходится около двух объемов водяного пара, содержание CO₂ в газе достигает 13,3%, а при такой прибавке пара температуры в зоне горения и горячей части реакционной зоны настолько еще высоки, что зола большинства углей будет расплавлена. До сих пор мало внимания уделялось тому влиянию, которое оказывает обогащение кислородом поступающих в генератор газов на повышение температуры в зоне горения. То обстоятельство, что при обычной газификации прибавка пара к воздуху является средством для понижения температуры в горячей зоне ниже температуры плавления золы, позволяет заключить, что и при газификации кислородом будет наблюдаться то же явление. Следует, однако, иметь в виду, что при дутье воздухом кислород разбавлен четырехкратным объемом азота, и все-таки газификация одним воздухом приводит к плавлению золы. Расчет показывает, что при дутье кислородом потребовался бы трехкратный, по сравнению с объемом кислорода, объем пара для того, чтобы в зоне горения были такие же температуры, как при газификации воздухом, при чем не учитывается влияние вышележащих слоев топлива. При смеси же кислорода с паром в соотношении 1 : 3 следует ожидать, как показывают цифры Cerasoli, высокого содержания углекислоты и неразложившегося пара в газе.

На основании приведенных выше соображений можно заключить, что принимаемое американскими авторами содержание CO_2 в газе в 3—6%, особенно при газификации каменных углей возможно только при очень горячем ходе генератора, при котором неизбежно плавление шлаков. Но при этом, и именно при газификации каменного угля, возникают новые затруднения. Как известно,

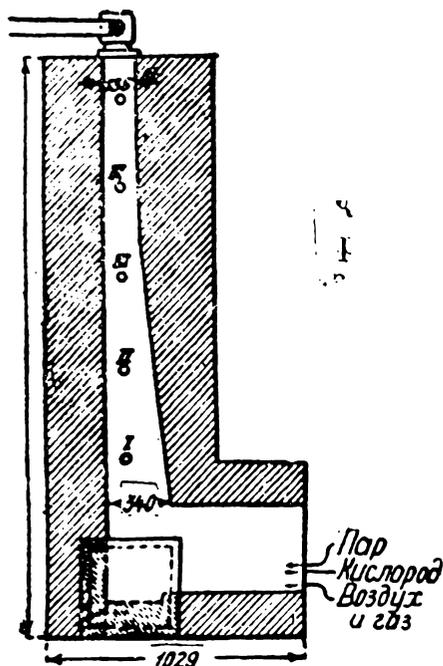


Рис. 53. Опытная печь для газификации кислородом системы Vandever и Parr.

в Германии, где довольно распространены генераторы, работающие с расплавлением шлаков, не удалось, несмотря на многочисленные попытки, добиться безупречного ведения процесса на каменном угле.

Теперь мы обратимся к результатам, пока еще довольно скудным, полученным при поставленных до сих пор практических опытах по газификации кислородом. Об опытах Немпель'а в Дрездене уже упоминалось (стр. 158). Сравнительно неполное газообразование при его опытах следует, вероятно, отнести, главным образом, за счет некакого слоя топлива, который не допускал образования достаточно высокой реакционной зоны.

Опыты Vandever'а и Parr'а. В кругах специалистов большое значение придавали данным опытов, поставленных в Америке Vandever'ом и Parr'ом.

Опыты эти были проведены на небольшом опытном генераторе (рис. 53). В одной серии опытов газификация велась кислородом, а в другой смесью кислорода с почти равным объемом пара (см. табл. 12). Газифицировался обычный кокс и кокс, полученный при низкой температуре. В стенке генератора в четырех точках по высоте были сделаны отверстия для замера температуры. Сперва генератор разогревался при воздушном дутье приблизительно до температуры 1000° , после чего очень медленным током пускался кислород или смесь его с паром. Замечательно то, что температура как при работе с прибавкой пара, так и без нее, постепенно падала и состав газа ухудшался. Отсюда следует, что тепловое равновесие в генераторе не было достигнуто. Исследователи считают, что их наблюдения характерны вообще для газификации угля кислородом и из этого заключают, что на практике, т. е. при установившемся режиме, будет затруднительно держать постоянную достаточно высокую, благоприятную для восстановления углекислоты температуру. По их мнению поддерживать высокую температуру в генераторе путем увеличения количества вдуваемого кислорода нельзя, так как тогда, вследствие повышенной скорости газа, восстановление углекислоты будет ухудшаться.

Таблица 12

Опыты Vanderveer'a и Parr'a по газификации кислородом

	Исходный материал			
	Кислород и низкотемпературный кокс		Кислород, пар и кокс	
	Серия опытов			
	А	А ₁	В	В ₁
Продолжительность опыта мин.	35	35	34,5	29
Прибавка пара кг	—	—	0,68	0,68
Расход кислорода м ³	1,4	1,56	0,95	0,92
„ м ³ /м ³ газа	0,417	0,521	0,31	0,348
„ л/мин.	41	44	27,6	31,7
Вес кокса кг	—	—	1,48	—
Высота слоя топлива м	1,70	0,91	1,06	ок. 0,60
Получено газа м ³	3,04	3,0	3,04	2,65
Температура в точке 1 (горячая зона) °С	1000—867	1021—876	1000—817	881—713
Температура выходящего газа °С	250—260	280—210	420—280	240—320
Разрежение в газогенераторе в мм рт. столба	—25	—25	—25	—25

Состав газа

Опыт	CO ₂ %	O ₂ %	CO %	H ₂ %	N ₂ %	Горючих %	Теплотворн. способн. кал. м ³	Температура °С
А) Проба 1	3,2	2,3	80,1	2,6	11,8	82,7	2382	1000
„ 5	8,3	2,0	77,1	1,6	11,0	78,7	2269	1014—1001
„ 7	10,9	2,4	69,8	1,7	15,2	71,5	2062	980
„ 10	14,7	1,8	70,0	1,7	11,8	71,7	2067	876
Средняя проба	12,7	0,8	62,7	3,3	21,5	65,0	1875	977—895
А ₁) Проба 5	9,6	1,9	69,8	3,0	15,7	72,8	2095	1020—980
„ 7	22,5	1,7	65,5	1,9	8,4	67,4	1943	904—867
„ 9	26,7	2,1	57,4	2,0	11,6	59,4	1715	857—876
Средняя проба	19,0	2,4	61,8	1,8	15,0	63,6	1834	977—923
В) Проба 11	5,7	3,1	56,2	17,0	17,2	74,0	2140	946—930
„ 13	5,5	0,9	56,0	23,5	14,1	79,5	2295	946—930
„ 15	15,2	0,9	51,5	19,8	12,6	71,4	2060	895—857
„ 17	16,2	1,5	60,3	14,3	7,7	74,6	2150	837—827
Средняя проба	10,4	0,6	57,6	20,7	10,7	78,3	2257	925—867
В ₁) Проба 9	14,3	1,4	38,5	42,3	3,5	80,8	2340	887—796
„ 11	21,5	1,6	27,1	45,4	4,4	72,5	2100	817—761
„ 13	33,2	1,5	19,2	41,3	4,8	60,5	1758	734
Средняя проба	25,3	1,0	30,5	39,5	3,7	70,0	2058	761—734

Странное падение температуры при газификации одним кислородом в описанных опытах объясняется тем, что в генераторе в час газифицировалось только около 3 кг кокса, так что потери тепла в окружающую среду были чрезмерно велики по сравнению с теплом, развиваемым в генераторе.

Падение температуры и связанное с ним ухудшение газа по мере течения процесса выражены сильнее при газификации с прибавкой пара и при работе с низким слоем топлива (серия опытов В). Для непрерывного процесса при установившемся тепловом режиме исследователи вычисляют состав паро-кислородной смеси соответствующий приблизительно условиям реакции, текущей по уравнению: $7C + 3O_2 + H_2O = 7CO + H_2 + 134\,700$ кал. Предпосылками для такого течения процесса должны быть: 1) температура по всей высоте зоны не ниже 1000° , 2) работа при малом давлении и при малой скорости газов, 3) точное соблюдение соотношения количеств пара и кислорода, 4) хорошее перемешивание кислорода с паром.

Приведенные выше соображения не охватывают полностью процесса. Прежде всего, не выявлено влияние, которое оказывает на газообразование вытянутая по высоте зона газификации. Если бы вообще оказалось необходимым вести газификацию смесью 3 объемов кислорода с 1 объемом пара, то, как показывают вычисления Segasoli, тепловое равновесие в генераторе было бы достигнуто при температуре отходящих газов выше 1900° . Значительная часть тепла, развиваемого в генераторе, не была бы использована на газообразование, а использовать ее как физическое тепло было бы затруднительно. Если же работу вести с растянутой по высоте зоной реакций, то это тепло в значительной мере расходовалось бы на разложение новых количеств пара. В этом случае не представится необходимости держать скорость газов в такой мере низкой, как это оказалось необходимым при описанных опытах. Если бы и на практике следовало ожидать приблизительно только таких низких пропускных способностей на 1 м^2 поперечного сечения шахты, то газификация кислородом, даже при очень дешевом кислороде, в большинстве случаев не могла бы быть рентабельной. Хотя опыты как Hempel'a, так и Vanderveer'a и Page'a являются ценными предварительными работами в области выяснения процесса газификации кислородом, но они не дают более или менее конкретной картины процессов, протекающих при установившемся режиме в генераторе необходимых для практики размеров. Экономические подсчеты, приведенные в статье американских авторов, базируются также на очень слабых основаниях¹.

Опыты Drawe. В Германии в последнее время сильным поборником газификации кислородом является Drawe, профессор Высшего технического училища в Берлине. В своей первой статье² по этому

¹ Fuel, 5, 1926, стр. 309—314; реферат Stahlisen, 14/VII 1927 стр. 1175—1177.

² Доклад «Высококалорийный газ и жидкое топливо, как конечная цель облагораживания углей», на 67 годовом собрании Германского союза специалистов газо- и водоснабжения. Дания, 10—12/VI 1926 г.; опубликован в GWF, 1926, стр. 1013—1015; и французский патент 622305.

вопросу он рекомендует применение смеси кислорода с водяным паром для безостаточной газификации углей с целью получения высококалорийного газа и ценной смолы. Особенно это относится к углям с высоким содержанием летучих. Он отдает себе отчет в том, что при современных условиях кислород еще дорог и, по его мнению, экономное расходование кислорода является основным условием экономичности процесса. Поэтому Drawe предлагает газифицировать только такие топлива, которые имеют большое содержание летучих и поэтому на газификацию кокса, получившегося при сухой перегонке 1 т угля, требуют меньше кислорода. Далее он считает необходимым сильный перегрев пара и, соответственно, смеси кислорода с паром, чтобы таким путем без затраты кислорода покрыть часть расхода тепла. Он признает, что для проведения химических превращений необходима высокая зона реакций, которая больше чем вдвое превышает слой в обычных генераторах с воздушным дутьем и даже больше, чем обычный слой топлива в генераторах Монда¹. Для того, чтобы возможно полнее использовать для газификации тепло, выделяющееся при реакциях кислорода, последний должен быть значительно сильнее насыщен водяным паром, чем при обычном дутье воздухом. Нижним пределом Drawe считает температуру насыщения в 80°. Для газификации служит генератор (рис. 54) с высокой швельшахтой и с механическим удалением золы при помощи вращающейся решетки. На рис. 54 видно, что и шахта газификации имеет значительную высоту. Обогрев шахты сухой перегонки осуществляется исключительно физическим теплом генераторного газа, количество которого, вследствие отсутствия азота, значительно меньше, чем при обычном генераторном процессе. В виду этого для правильного обогрева шахты сухой перегонки при газификации каменного угля не требуется отдельного отбора части генераторного газа, как это практикуется в обычных генераторах со швельшахтой. В виду малого, из-за отсутствия, азота объема, газы находятся в соприкосновении с топливом более длительное время, чем при воздушном дутье, и поэтому в данном случае можно ожидать более высокой производительности. Из 1 кг каменного угля с 27% летучих и с теплотворной способностью 7100 кал. получится около 1,8 м³ газа с теплотворной способностью 3200—3400 кал. м³. Расход кислорода при этом составляет около 0,25 м³ на 1 м³ полученного газа. При цене угля 22 марки за тонну и при учете амортизации, эксплуатационных и прочих расходов себестоимость 1 м³ газа будет 0,03 марки. Доход от продажи смолы, который можно принять равным 2 маркам на 1000 м³ газа, в расчетах не принят во внимание, но он и не повлияет значительно на рентабельность процесса.

Вычисленная Drawe себестоимость газа, по теплотворной способности подходящего к двойному газу, ни в каком случае не может быть признана низкой. По Vater'у² себестоимость двойного газа из бу-

¹ Французский патент 632305.

² Entgasen und Vergasen, 1926, стр. 77 и G. Vater. Studien zur Wärmewirtschaft des Doppelgasverfahrens, GWF, 1923, стр. 645.

роугольных брикетов на газовом заводе в Chemnitz равна 0,564 пфеннига за 1000 кал., против 0,9 пф. (В более поздних статьях Drawe дает стоимость газа при газификации бурогогольных брикетов кислородом равной 0,7 пф. за 1000 кал.). Цифры эти относятся к тому случаю, когда кислород получается на собственной установке. Следует отметить, что, хотя Drawe в своих расчетах и был во многих отношениях очень осторожен, но интерес к таким установкам не может быть очень большим, в виду значительных капиталовложений.

Большой интерес для специалистов имел второй доклад¹ Drawe на эту тему, так как свои заключения он подтверждал производственными наблюдениями. За это время он построил на газовом заводе Tegel опытную установку значительных размеров, которую он мог называть первой в своем роде. Диаметр шахты генератора (рис. 54) в зоне газификации равен 1 м, а диаметр швельшахты 550 мм. Вертикальные размеры весьма значительны и соответствуют, приблизительно, приведенным выше данным о необходимой высоте слоя топлива. Опыты

¹ «Neue Wege der Schwelung und Vergasung», доклад на собрании Gesellschaft für Braunkohlen- und Mineralölforschung при Высшем техническом училище в Берлине, 23/VII 1927, ср. Braunkohle, 17.IX 1927, стр. 573.

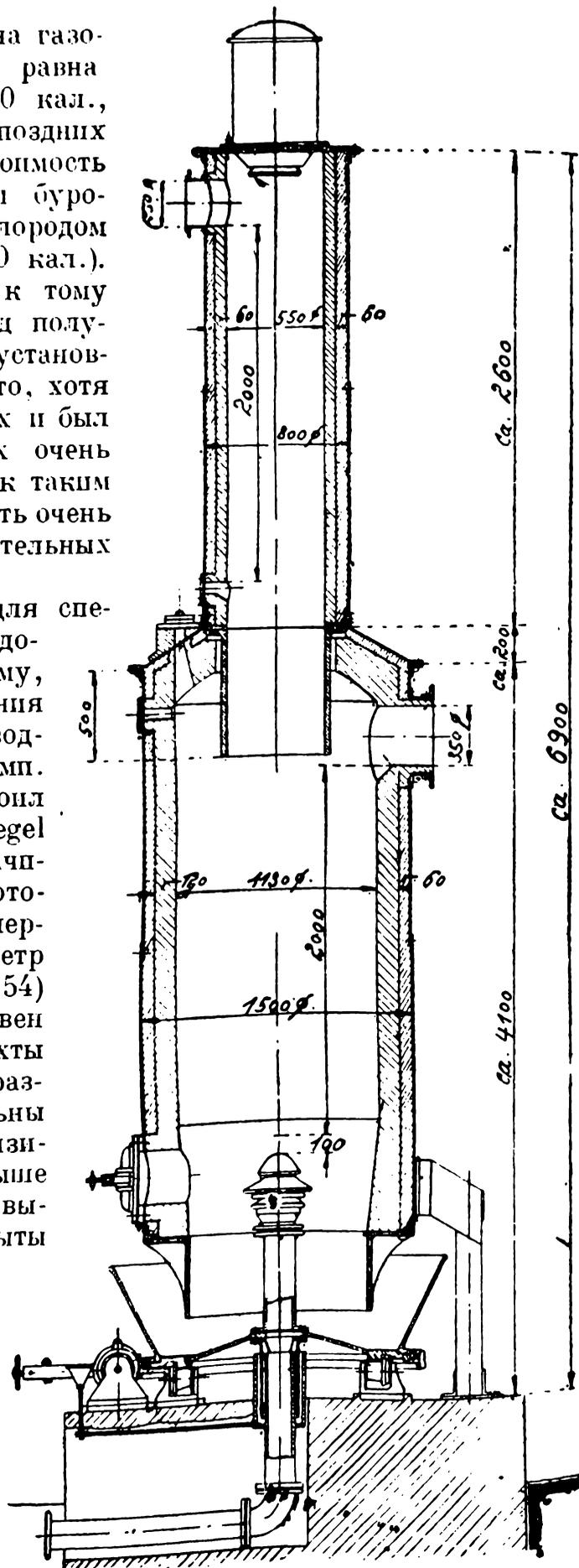


Рис. 54. Генератор для непрерывного получения тройного газа при газификации смесью кислорода и пара системы Drawe.

велись, главным образом, по газификации брикетов следующего состава: влаги 14,4%, золы 5,1%, выход кокса 32,7%, летучих 47,8%, углерода 52,6%; теплотворная способность — 4812 кал. Ко времени доклада были проведены опыты при температуре насыщения кислорода между 89° и 93,5°. Для насыщения при 90°, т. е. при объемных отношениях кислорода к пару, равных 3 : 7, приводится следующий состав газа:

	%		%
CO ₂	13.2	H ₂	42.8
O ₂	1.1	CH ₄	1.1
C _n H _m	2.3	N ₂	6.6
CO	32.9		

Высшая теплотворная способность газа равна 2983 кал./м³.

Draue замечает еще следующее: «Специалист сразу поймет, что состав этого газа может быть еще улучшен. Недопустимо, прежде всего, высокое содержание кислорода. Опыты находятся еще в начальной стадии, никаких серьезных затруднений пока не встречалось. Высшая, достигнутая до сих пор, пропускная способность шахты равна 200 кг на 1 м² сечения. Она не могла быть до сих пор повышена, из-за того, что на имеющейся установке не может быть увеличена добыча кислорода. Степень чистоты кислорода равна 96—96,5%. Во всех опытах при помощи 1 м³ кислорода в газообразное состояние переводилось 16 000—17 000 кал.»

Приведенный как пример состав газа впервые характеризует работу кислородного генератора больших размеров при постоянном тепловом режиме и дает уже возможность сравнить теорию и расчет с действительностью.

Следует принять, что Draue работал, главным образом, из опасения шлакования, с большими прибавками пара, соответствующими отношениям от 1 : 2 до 1 : 4. Анализ газа показывает, что при температуре насыщения в 90° газообразование идет, главным образом, за счет разложения пара и поэтому содержание водорода в смеси выше, чем содержание окиси углерода, тогда как расчет (5 случаев Cerasoli с объемным соотношением около 1 : 2) дает для равновесия значительное преобладание окиси углерода (52,7 CO и 34,0 H₂). Поэтому можно принять, что в генераторе газообразование сильно отстает от теоретически возможного, и, главным образом, за счет недостаточного еще разложения водяного пара. Это обстоятельство имеет для практики значение не только вследствие повышенного расхода пара, но оно вызывает и повышение количества тепла, уносимого газами, и понижение термического коэффициента полезного действия газификации, который поэтому трудно приблизить к намеченным Draue 90%. Теплотворная способность газа приведенного выше состава, по крайней мере, на 200 кал. меньше теплотворной способности обычного двойного водяного газа, получаемого из бурого углерода; удивительным является низкое содержание углеводородов, особенно метана. Из этого можно заключить, что и ожидаемое американскими авторами получение высококалорийного газа

будет не легко осуществить на практике¹. К сожалению, Drawe не дает еще никаких указаний о выходе и свойствах смолы, так что получить даже приблизительное представление об истинном коэффициенте полезного действия не представляется возможным.

В литературе часто предлагается, вследствие легкости достижения высоких температур, вести газификацию углей кислородом в генераторах, работающих с расплавлением золы.

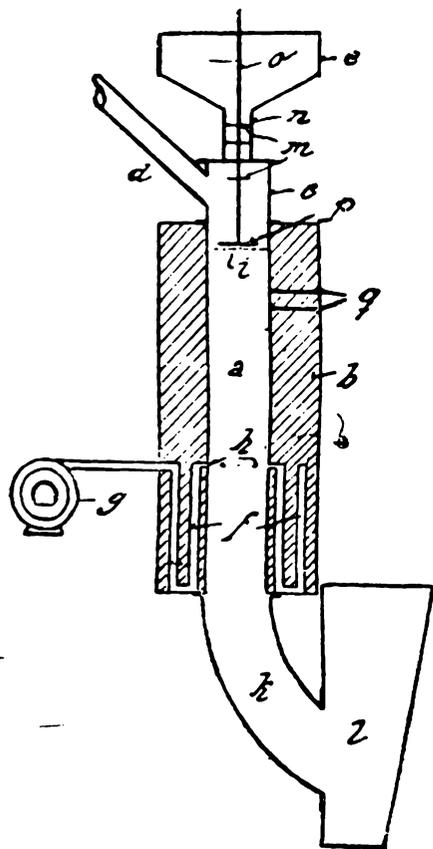


Рис. 55. Генератор для получения высококалорийного газа при газификации кислородом системы Ernst.

выше, на имеющихся в Германии установках подобного рода не удается, вследствие ряда затруднений, вести работу на каменных углях. Причины этих неудач заключаются, главным образом, в том, что при высоких пропускных способностях этих генераторов не хватает времени для получения прочного кокса, и выделение летучих из середины куска своевременно не заканчивается. Поэтому колонна топлива, погружающаяся в шлаковую ванну, состоит частично из истертого полукокса, который в смеси с жидким шлаком становится в большей части недоступным для воздействия кислорода и понижает подвижность расплавленного шлака, нарушая регулярный ход генератора. При дутье кислородом и паром условия работы на этих генераторах будут вероятно еще неблагоприятнее. Поэтому можно сказать, что газификация кислородом, и в особенности газификация угля в генераторах с расплавлением золы не так проста, как это многие считают и, что она, как и вообще газификация кислородом, является еще неразрешенной проблемой.

Предложение Ernst'a. В заключение следует еще упомянуть предложенный E. U. G. Ernst'ом в Копенгагене в 1907 г. способ полу-

¹ Газификация кислородом служила темой доклада инж. Z. von Galczy (Будапеште) на второй мировой энергетической конференции в Берлине. В основном докладчик дал исторический и критический разбор, изложенный мной выше и опубликованный ранее в *Feuerungstechnik* от 1 ноября 1928 г. (стр. 242). Докладчик также приходит к заключению, что при сухом удалении шлаков газификация кислородом и водяным паром не может дать практически удовлетворительных результатов из-за недостаточного разложения пара. Странным кажется то, что докладчик это заключение приписывает себе и, не ссылаясь на мою работу, только отмечает неправильность, с его точки зрения, приведенных там мной и, очевидно, неправильно им понятых сопоставлений результатов опытов Drawe с цифрами Cerasoli. В остальном следует отметить, что Galczy стремился расчетами исследовать эту мало еще научно разработанную область.

чения «высококалорийного газа, подобного светильному газу» из битуминозных углей при применении воздуха или кислорода и с отъемом кокса. Установка изображена на рис. 55.

Шахта *a* окружена кладкой *b* и снабжена сверху железной надстройкой *c*, имеющей отводную трубу для газа *d* и загрузочную воронку *e*. Снизу в кладке *b* предусмотрен нагревательный канал *f*, который соединен с вентилятором *g* и целым рядом выходных отверстий *h*. Через эти отверстия в слой топлива подается на соответствующей высоте подогретый воздух или кислород. Шахта заканчивается снизу изогнутым каналом *k*, ведущим к приемнику *l*, который служит гидравлическим затвором. Во время работы в слое топлива в нижней части шахты между отверстиями *h* и смотровыми окнами *q* идет горение и разложение водяного пара. Смесь азота, водорода, окиси углерода и углекислоты направляется в среднюю часть топливной колонны и здесь происходит восстановление углекислоты в окись углерода. В верхней части протекает дистилляция угля. Дистилляционный газ, смешанный с водяным газом и по возможности с малым количеством генераторного газа, покидает печь через холодную часть шахты *c* и трубу *d*. Этот способ относится к способам получения высококалорийного газа в генераторах, работающих с отъемом кокса.

Внутренний обогрев газогенератора при помощи электрического тока

Непрерывное получение водяного газа возможно осуществить еще таким путем, что тепло, необходимое для реакций, подводится в генератор при помощи электрического тока. Подобные генераторы для водяного и двойного водяного газа предлагались в различных странах, в особенности богатых водяной энергией и бедных углем. Однако, за исключением одного случая, они практически не осуществлялись.

Имеются три возможности использовать электрический ток для газификации, а именно:

1. Устройство сопротивлений в шахте, в которых электрическая энергия превращается в тепловую; тепло излучением и теплопроводностью передается газифицируемому топливу.

2. Использование слоя топлива как сопротивления между введенными в шахту электродами.

3. Передача тепла вольтовой дугой, которая образуется между угольными электродами, вделанными в шахту.

Пока осуществлена только вторая возможность. Электрический ток проходит непосредственно через уголь, служащий сопротивлением, и нагревает его и реагирующие газы до высокой температуры.

На рис. 56 изображен *электрогазогенератор*, выполненный E. Stasano несколько лет тому назад в Италии по предложению «Societa per lo Studio ed Utilizzazione dei Fossili Nazionali». По сведениям, идущим от строителя, этот генератор оказался пригодным для практической работы.

Генератор, предназначенный для расхода энергии в 400 kW., состоит, в основном, из цилиндрического кожуха, погруженного снизу в водяной затвор. Сверху генератор прикрыт крышкой, на которой помещается обычное для генераторов загрузочное устройство с двойным затвором. Снизу в шахте имеется коническая решетка. Стенки шахты сверху до низу обмурованы огнеупорным кирпичом.

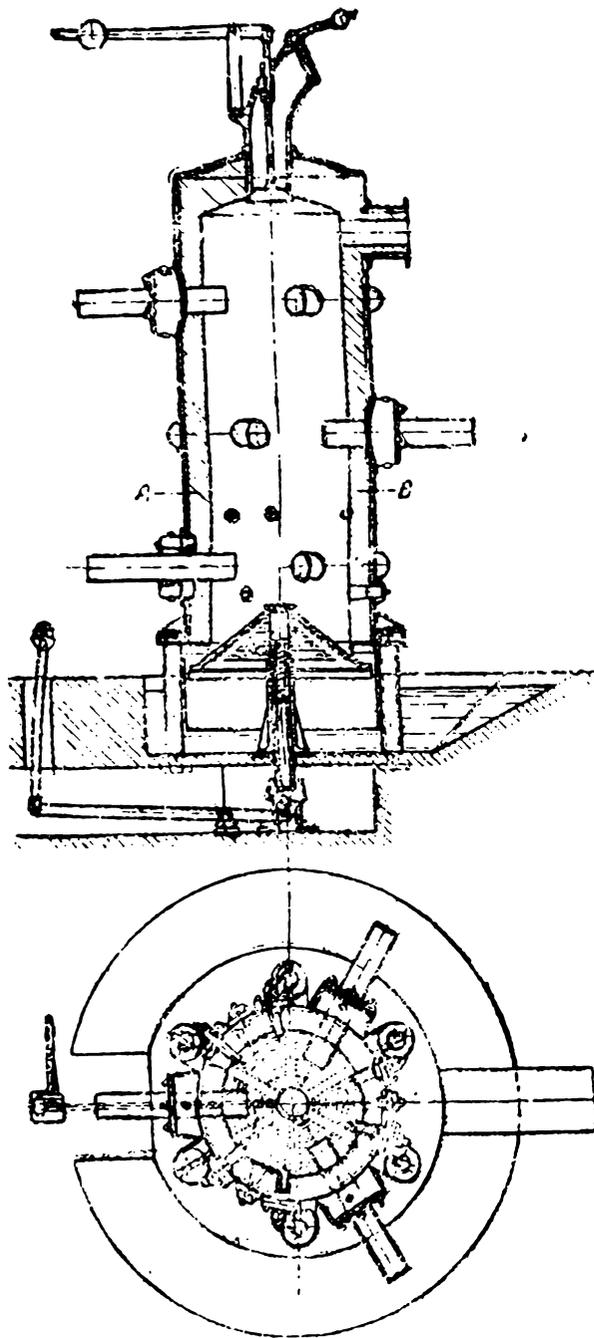


Рис. 56. Электрогенератор водяного газа системы Stassano.

В трех ярусах по высоте через стенку шахты введены внутрь по три электрода, расположенные радиально на равном расстоянии друг от друга. В тех местах, где они проходят через стенку шахты, предусмотрено водяное охлаждение. Электроды должны быть, конечно, изолированы от стенок шахты. Несколько выше нижнего ряда электродов в стенке шахты предусмотрен ряд маленьких отверстий, в которые введены трубы из огнеупорного материала. Эти трубы снаружи соединены с трубопроводом для подачи пара, а также и воздуха. В стенках шахты, кроме того, имеется ряд закрывающихся смотровых отверстий, которые служат для наблюдения за горением.

Три группы электродов включены параллельно в цепь двигателя, дающей энергию, предназначенную для обогрева. Отвод для газа расположен непосредственно под верхней крышкой.

При пуске генератора сперва загружается на решетку слой очень крупного топлива. Когда этот слой разогреется, тогда топливо постепенно добавляется до тех пор, пока слой не достигнет верхнего ряда электродов. Если теперь включить ток, то он пойдет по всему слою топлива, при чем при переходе от одного куска топлива к другому образуются маленькие вольтовые дуги. Эти мно-

гощеленные вольтовые дуги в более или менее продолжительное время, в зависимости от расхода энергии и количества угля, вызывают нагрев топлива до очень высокой температуры.

Для сотрясения слоя топлива, облегчающего равномерный нагрев реагирующих слоев, на верхней части решетки находится подвижная пластина, которая при помощи рычагов может снаружи подниматься и опускаться.

При пропускании через трубки, расположенные в нижней части генератора, воздуха, пара или их смеси, в слое раскаленного топлива протекают те же процессы, что и в обычном газогенераторе. Кислород воздуха и водяного пара превращается в окись углерода и при расщеплении пара образуется свободный водород. В этом генераторе можно получать как генераторный газ (воздушный или смешанный), так и водяной в непрерывном процессе. Так как газификация углерода свободным кислородом, в противоположность газификации паром, является процессом экзотермическим, то при газификации одним воздухом получается газ с очень высокой температурой, в то время как при получении смешанного газа имеется возможность, в зависимости от расхода электроэнергии, применять паровоздушную смесь, с любым содержанием пара.

Обогрев электрическим током позволяет более легко, по сравнению с обычным способом работы, овладеть распределением температур независимо от процессов, протекающих в реагирующих слоях. Stassano отмечает еще следующие преимущества: практически полное разложение реагирующего газа и, в случае применения газа для плавильных печей, возможность сильного повышения теплосодержания газа путем произвольного увеличения количества заключающегося в нем физического тепла. В странах, бедных углем, в годы большого угольного голода учитывалась и экономия угля, получающаяся при отпадении обогрева генератора за счет сгорания топлива. По Stassano для получения 1 м³ водяного газа требуется затратить 4,6 квч. Преимущества, получающиеся при электрическом обогреве, ни в какой мере не оправдывают затрат электроэнергии, и поэтому можно сказать, что при нормальных условиях даже и в странах с дешевой электроэнергией гидроэлектростанций этот способ едва ли будет рентабельным.

VII. ПОЛУЧЕНИЕ ВОДЯНОГО ГАЗА ИЗ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ И ШТЫБОВ

При возрастающем значении, с некоторого времени приобретаемым водяным газом в отдельных отраслях химической промышленности, вполне понятно, что эта промышленность сейчас особенно заботится о снижении себестоимости газа. В химической промышленности, где водяной газ служит, главным образом, источником для получения водорода или водорода и окиси углерода, теплотворная способность газа не играет решающей роли и понижению содержания негорючих составных частей в газе не придается особого значения. Но для производств, подвергающих газ дальнейшей пере-

работке, снижение себестоимости газа имеет большее значение, чем для газовых заводов, для которых газ является выгодным продажным продуктом. Так например, рентабельность синтеза масел (углеводородов) по способу, разработанному Franz Fischer 'ом и Tropesch 'ом зависит в значительной мере от себестоимости водяного газа, являющегося исходным материалом.

Для снижения себестоимости газа имеются два пути: переработка дешевых топлив и повышение производительности установок. Особенно достойным внимания в этом отношении является стремление приспособить для производства водяного газа мелкозернистые топлива и отбросы, как угольный штыб, коксовая мелочь и низкосортные бурые угли. Но газификация подобных топлив, как показали некоторые опыты в этом направлении, оказалась нерентабельной в нормально работающих генераторах водяного газа. В виду этого уже давно внимание было направлено на проведение *процесса газификации пылевидного угля во взвешенном состоянии* наподобие работы топок для пылевидного топлива.

Д-р Clauss ¹ в брошюре, вышедшей в 1900 г., предложил способ главным преимуществом которого по сравнению с обычным периодическим получением водяного газа, по его мнению, было непрерывное производство. Уголь должен был вдвигаться струей пара в камеру, стенки которой сильно нагреваются снаружи. Для отопления служит часть получающегося водяного газа. Trenkler ² указывает, что в то время наибольшее затруднение представлял выбор материала для стенок, так как при незначительной толщине стенка должна была обладать большой прочностью и огнеупорностью при 1700° и не должна была подвергаться действию водяного пара при этой температуре. На основании данных новейших опытов, поставленных в вертикальных ретортах, можно сделать заключение, что полная газификация, особенно топлив с высокой реакционной способностью, как например, бурогоугольной пыли, возможна уже при более низкой температуре, чем указывается Trenkler 'ом. Мысль о создании конструкции для получения водяного газа из угольной пыли при внешнем обогреве камеры газификации несколько раз возникала и позднее. Здесь следует упомянуть английский патент 190545 (1921 г.), по которому камера газификации окружалась топочной камерой, работающей по принципу газовой топки с поверхностным горением. Пар вступал в камеру снизу и поднимался кверху навстречу спускавшемуся пылевому облаку. Bacon и Hamor описывают в книге «American Fuels» (1922 г., ч. 1, стр. 372) разработанный R. H. Burditt 'ом способ, который состоял в следующем: угольная пыль готовится обычным способом, но при этом к ней применяются минеральные вещества, как например, известь или известняк, которые должны служить катализаторами. Длинная цилиндрическая, наклонно поставленная реторта нагревается снаружи так, что температура стенки

¹ Wassergaserzeugung im kontinuierlichen Betriebe (Berlin, bei Krayn).

² Die Gaserzeuger, 1923, стр. 76.

держится от 980 до 1020°. Пыль вдувается перегретым паром в верхнюю часть реторты. Вблизи от впуска пара вводится еще ток сильно нагретого газа, который должен служить носителем топлива. Этот газ может быть отвлечен от главного газового потока. По вступлении в реторту частицы топлива нагреваются излучаемым стенками теплом, а кроме того, и за счет непосредственного соприкосновения с поверхностью стенок. При этом топливо подвергается сухой перегонке. Сухая перегонка должна облегчаться небольшим разрежением и каталитически действующими присадками. Образующиеся при этом частицы кокса превращаются перегретым водяным паром в водяной газ. Продукты сухой перегонки должны также под действием катализаторов превращаться в газообразные углеводороды с высокой теплотворной способностью. Влияние указанных катализаторов, облегчающее образование углеводородов при описанном выше процессе, кажется сомнительным. Но более интересным здесь является вопрос: возможно ли достичь полного превращения топлива в водяной газ при процессе, проводимом с внешним обогревом. Как-будто бы при практическом осуществлении этого процесса полная газификация не предполагалась, так как в указанном источнике упоминается, что в установке, намечавшейся для переработки лигнита, будет получаться коксовая пыль, которая должна брикетироваться. Получение водяного газа играет здесь только подчиненную роль, так же, как и при ряде аналогичных процессов низкотемпературного обугливания, разработанных за последние годы. Подобный способ, запатентованный еще до войны известным английским специалистом по газовому делу, проф. Lewes¹, но имеющим сведения², доказал на многолетнем опыте свою практическую пригодность. В этом способе низкотемпературной сухой перегонки, проводимой с внешним обогревом, в реторту также вводится водяной пар, который предназначен, главным образом, для увеличения выходов масел и аммиака. Получающийся мелкозернистый полукокс является хорошим топливом для пылевых топок, куда он подается или без измельчения, или же после него. В связи с этим следует отметить сделанное Sinatt'ом и Slater'ом наблюдение над изменением величины зерна угольной пыли, подвергаемой сухой перегонке, во взвешенном состоянии. Им было установлено, что при нагревании в течение известного времени сильно спекающихся углей уже при 530° начинается слипание угольных частиц в большие зерна. На основании того, что и наиболее мелкие зерна кокса имели шаровидную форму, указанные исследователи пришли к заключению, что угольные частицы во время пребывания в нагретом пространстве подвергались плавлению³. Это наблюдение должно приниматься во внимание при стремлении к превращению тонко измельченного угля в газ во взвешенном состоянии. Преимущество тонкого измельчения, заключающееся в большой поверхности, обеспечивающей ускорение про-

¹ Британский патент 9988 (1913).

² Power, 1925, стр. 634.

³ Fuel, 1 (1922), стр. 2; реф. Brennstoffchemie, т. III (1922), стр. 314.

цесса газификации, может быть при сжигающихся углях в значительной мере сведено на-нет. Как будто бы, это наблюдение уже использовано при получении водяного газа из угольной пыли (ср. ниже процесс Brenner-Fuller'a).

Опыты Herzberg'a. Практические опыты по получению в большом масштабе водяного газа из бурого угольной пыли в обогреваемой снаружи реторте проведены недавно инж. Herzberg'ом на газовом заводе Leisnig. Bube¹ в своем докладе на 7 техническом съезде объединения Deutscher Braunkohlen-Industrie Verein в апреле 1928 г. впервые упомянул об этих опытах и отметил, что использование топлива пока еще недостаточно. Несколько более подробные сообщения были сделаны директором газового завода K. Schmidt'ом² на съезде союза Verein von Gas- und Wasserfachm. inner в Гамбурге (июль 1928 г.).

Эти опыты проводились в обогреваемой снаружи вертикальной камерной печи. Пар впускался снизу навстречу поступающей сверху бурого угольной пыли. Из 1 т бурого угольной пыли с влажностью 10% получалось 2200 м³ газа, что в пересчете на сырой бурый уголь с 50% влаги составляет 1220 м³ *. Газ имел следующий состав:

	%		%
CO ₂	6.1	CO	33.5
C _n H _m	0.7	CH ₄	4.7
O ₂	0.4	N ₂	6.2
H ₂	48.4		

Высшая теплотворная способность — 2800 кал./м³ при 0° и 760 мм, удельный вес — 0,53.

Теплотворная способность газа несколько выше, чем бывает обычно у водяного газа из кокса. Содержание углекислоты в газе, против ожидания, низко; это позволяет заключить о хорошем газобразовании при далеко идущем разложении водяного пара. Herzberg уверен, что при соответствующей конструкции аппарата процесс можно продолжительное время вести так, что будет получаться газ с высшей теплотворной способностью, по крайней мере, в 3000 кал. Schmidt на основании опытов заключает, что «при известной температуре, которая еще должна быть установлена, при полном, но осторожном, разложении паров смолы удастся из бурого угольной пыли получить газ с теплотворной способностью в 4000 кал., при одновременном получении кокса». В этом случае процесс уже не является безостаточной газификацией, а, как и описанный выше (стр. 174) способ Burditt'a, сухой перегонкой с одновременным получением водяного газа. Если приготовление из угля пыли необходимой тонкости помола не будет очень дорого, то этот процесс, в виду большой пропускной способности аппаратов, может приобрести значение для получения добавочного газа на газовых заводах в бурого угольных районах, а в случае, если оправдается предположение

¹ Braunkohle, 1928, 4/VIII, стр. 713.

² Gas- und Wasserfach. 1, XII 1928, стр. 1156.

* Следует отметить, что при подсчете не учитывался расход топлива на обогрев реторты, который производился, как и в других случаях, генераторным газом, полученным из каменноугольного кокса.

Schmidt'a и для самостоятельного получения светильного газа. Едва ли можно сомневаться в возможности газификации угольной пыли во взвешенном состоянии, если только строительные материалы будут достаточно долговечны в условиях данного процесса. Экономичность его зависит еще от других обстоятельств, особенно от достижимых мощностей. При этом, на ряду с реакционной способностью угля, нельзя недооценивать значения достаточного соприкосновения поверхностей нагрева с паро-угольной смесью и эффективности внешнего отопления. Уже заранее можно сказать, что для агрегата с высокой производительностью большое значение будет иметь разделение обогревательной камеры с целью лучшего управления подводом тепла к отдельным поверхностям нагрева.

Эта точка зрения была принята в разработанной недавно инж. Heller'ом конструкции, которая названа *круглоячеечным генератором (Rundzellen-generator)*.

Круглоячеечный генератор Heller'a состоит, в основном, из горизонтального барабана, разделенного вертикальными стенками на ряд узких камер, служащих ячейками для отопления и для газификации, которые расположены в перемежку. На рис. 57 показана общая схема установки, на рис. 57а изображен вертикальный разрез через камеру газификации, а на рис. 57б — поперечный разрез отопительной камеры. Генератор состоит из горизонтального

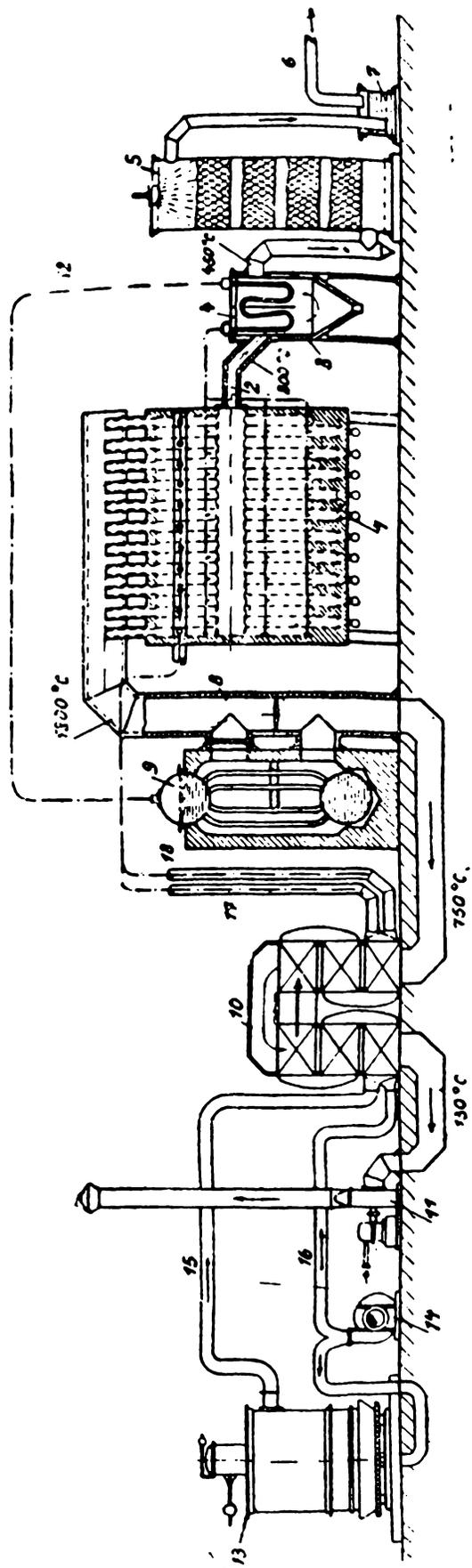


Рис. 57. Установка круглоячеечного генератора системы О. Heller

цилиндра *I*, футерованного огнеупорным кирпичом. Цилиндр окружен железным кожухом и покоится на подставках. Отдельные камеры разделяются друг от друга, как в группе коксовых печей, газонепроницаемыми стенками. Отопительные камеры имеют общий ввод для отопительного газа и общий отвод для дымовых газов. Камеры газификации соединены также общей газоотводящей трубой.

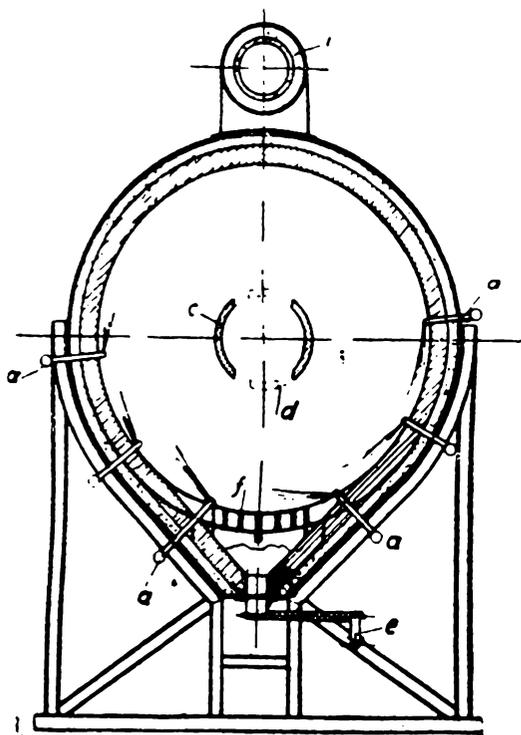


Рис. 57а. Разрез через ячейку газификации.

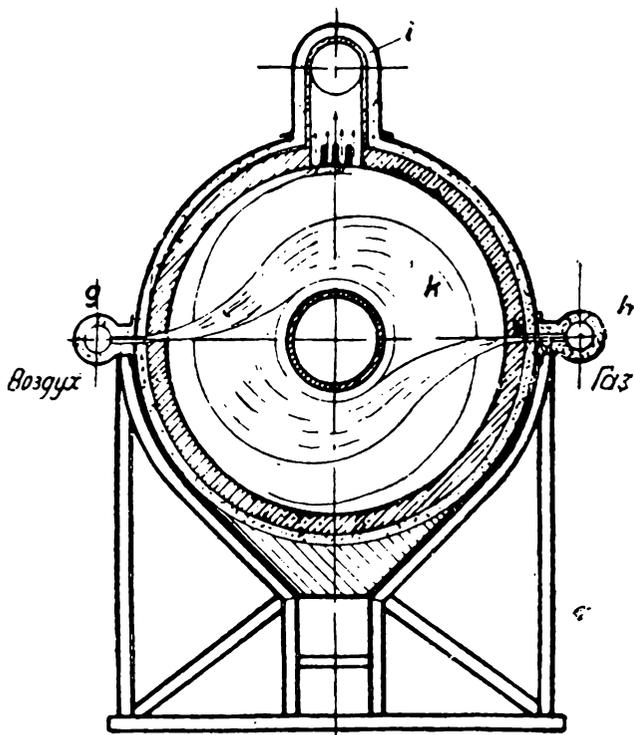


Рис. 57б. Разрез через отопительную ячейку.

В отопительные камеры *k* по газопроводу *h* подается газ из газогенератора и по трубе *g* вентилятором нагнетается воздух, необходимый для горения. Газ и воздух целесообразнее впускать не непосредственно в камеру горения, как показано на рис. 57б, а сперва смешивать их в двух каналах, расположенных с внешней стороны камер. Из этих каналов газ через ряд тангенциально расположенных сопел вступает в камеру *k* при хорошем перемешивании. Продукты горения покидают камеры по футерованной огнеупорным материалом сборной трубе *i*, примыкающей к верхней части камер горения. По этой трубе газы отводятся в паровой котел и затем в газо- и воздухоподогреватель, откуда выводятся в дымовую трубу.

Таким путем сильно нагреваются сравнительно тонкие стенки, которые отделяют обогревающие камеры *k* от камер газификации *b*. Эти стенки тщательно выложены в шпунт из огнеупорного материала. Подвод пара и угольной пыли в камеры газификации осуществляется через показанные на рис. 57а сопла *a*. Пыль также

поступает в камеру тангенциально. При этом образуется спиральный ток водяного газа, несущий частицы золы. Газ отводится по каналу *c*, расположенному по оси печи. Канал снабжен сверху и снизу отверстиями *d* и соединен с трубой 2 (рис. 57), отводящей газ. На случай, если выделение частиц золы из газового потока будет происходить в самой камере газификации, в нижней части камеры *b* устроена шамотная решетка *f*, перекрывающая воронку *p*, которая соединена с золоудалляющим приспособлением *e*. При правильном выборе тонкости помола пыли и при сильно турбулентном движении газа в камере выделение золы здесь довольно незначительно. Поставленный в Tegel опытный генератор имеет 3,5 м высоты и состоит из двух газовых и трех отопительных камер, тогда как в производственной установке в один агрегат может быть соединено столько камер, сколько практически возможно или сколько соответствует требуемой производительности.

Для пояснения общей схемы установки по рис. 57 необходимо добавить следующее. Водяной газ из круглоячеечного генератора 1 при температуре 700—900° поступает по трубе 2 в пылеотделитель 3, в котором помещается пароперегреватель 4. Здесь отделяется главная масса пыли. Несколько охлажденный в пароперегревателе газ поступает в скруббер 5, где охлаждается и освобождается от остатков пыли, и через гидравлический затвор 7 подается в газопровод 6. Горячие топочные газы отводятся при температуре около 1200° из генератора 1 по трубопроводу 8 и поступают в паровой котел 9. Отсюда они поступают в противоточный подогреватель для газа и воздуха 10 и высасываются в дымовую трубу 11. В котле по расчетам Heller'a температура газа падает до 750°, а в подогревателе до 140°. В паровом котле получается водяной пар с давлением 12 атм., необходимый для процесса водяного газа. Пар по паропроводу 12 попадает в пароперегреватель 4 и из него через распределительный трубопровод к соплам камер газификации.

Газ, необходимый для обогрева круглоячеечного генератора, получается в обыкновенном газогенераторе 13. Вентилятор 14 подает воздух, как в газогенератор 13, так и в камеры горения круглоячеечного генератора. Генераторный газ по трубопроводу 15, а воздух для горения по трубопроводу 16 подаются в подогреватель 10 и нагреваются здесь, приблизительно, до 600°. Нагретые генераторный газ и воздух по трубопроводам 17 и 18 поступают к вводным соплам топочных камер.

По подсчетам Heller'a часовая производительность газогенератора этой конструкции при 12 ячейках и диаметре их в 5 м равна приблизительно 2600 м³ водяного газа, что составляет около 63000 м³ в сутки. При применении битуминозного топлива и соответствующем ведении процесса Heller надеется получить двойной водяной газ с повышенной теплотворной способностью. Особенным преимуществом процесса, по его мнению, является возможность использования для получения водяного газа дешевых углей, как малоценный угольный штыб и рыхлый бурый уголь. Но точно раз-

решить этот вопрос может только недавно пущенная в ход опытная установка.

Здесь следует еще упомянуть, что, по мнению Heller'a, в кругло-ячеечном генераторе возможно газифицировать и спекающиеся угли, что в обычных газогенераторах водяного газа представляет большие затруднения. При применении же таких углей в пылевидном состоянии водяной пар вместе с пылью попадает в нагретую до высокой температуры газовую среду в камере и летящие частицы угля так быстро нагреваются до температуры более высокой, чем та, при которой возможно спекание, что через доли секунды превращаются в кокс. Поэтому возможно, что наблюдавшееся ранее Sinatt'ом и Slater'ом слипание тонких угольных пылинок в более грубые зерна кокса (стр. 175) при опускании пылевого облака в шахтной печи в этих условиях будет устранено.

Ниже приводится данный Heller'ом расчет опытной установки, который имеет общий интерес потому, что в литературе нет еще расчетов подобных установок.

Расчет производительности, размеров и расхода тепла для опытного кругло-ячеечного газогенератора по инж. Heller'у

Данные для расчета

	мм
Диаметр камеры газификации в свету	3500
Толщина стенок	60
Ширина камеры газификации	250
Ширина отопительных камер	180
Толщина наружной шамотной стенки	120
Толщина изоляции	120

Материал для газификации

	Кал.
а) Коксовая мелочь с низкой теплотворной способностью около	6050
б) Подсушенный бурый уголь с низкой теплотворной способностью около	4800

Число камер газификации — 4

Расчет приводится для случая а, т. е. для газификации коксовой мелочи. Производительность подсчитана сперва для одной камеры.

Производительность одной камеры

Анализ коксовой мелочи

	%
Углерод	75
Зола	20
Вода	5

Состав полученного водяного газа

CO ₂	6
CO	40
H ₂	52
N ₂	2

Теплотворная способность 1 м³ газа при 0° и 760 мм

	Кал.
Низшая	2550
Высшая	2800

Определение теплоты образования водяного газа указанного состава:
 $H_2O + C + N_2 \rightarrow CO + H_2 + CO_2 + N_2$ минус теплота образования.

40%₀ 52%₀ 6%₀ 2%₀

В калориях это выражается следующими цифрами:

$$0,52 \times 0,8 \times 600 + \frac{0,46 \times 12 \times 8100}{22,4} + 0 = 0,4 \times 3040 + 0,52 \times 3040 + 0 + 0 =$$

= теплота образования.

Отсюда теплота образования водяного газа определяется в 550 кал./м³.

Расход теплоты на образование 1 м³ водяного газа

Расход пара 0,7 кг/м³
 Температура перегрева пара 450°
 Температура в камере газификации 900°

Расход коксовой мелочи на 1 м³ водяного газа:

$$\frac{0,46 \times 12}{22,4 \times 0,75} = 0,33 \text{ кг.}$$

	Кал./м ³
1. Теплота образования	550
2. Подогрев коксовой мелочи $0,95 \times 0,33 \times (900 - 10) \times 0,35$	98
3. Тепло испарения воды, находящейся в коксе и перегрев ее до 450° (дальнейший перегрев учтен в пункте 4) $0,33 \times 0,05 \times (639 - 10) + 0,33 \times 0,05 \times (450 - 100) \times 0,5 = 13,4$ или в круглых цифрах	14
4. Перегрев пара $0,7 \times (900 - 450) \times 0,5$	158
Всего	820

Теплопередача через 1 м² поверхности стенки камер газификации

Температура в камере горения 1300°
 Температура в камере газификации 900°
 Толщина стенки 60 мм
 Средняя скорость газа в камере газификации 20 м/сек.
 Средняя скорость газа в камере горения 20 м/сек.
 Средняя температура шамота $\frac{1300 + 900}{2}$ 1100°
 Коэффициент теплопроводности шамота при 1100° 1 кал./м, 1°, час

Коэффициент теплоперехода для шероховатой стенки:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = Aw^n + Be^{-0,6w}$$

где

$$A = 6,47, B = 5,03; n = 0,784$$

$$\alpha = 6,47 \cdot 20^{0,784} + 5,03e^{-0,6 \cdot 20} = 67,8$$

Коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}} = \frac{1}{\frac{1}{67,8} + \frac{1}{67,8} + \frac{0,06}{1}}$$

$$K = 11,2 \text{ кал./м}^2, 1^\circ, \text{ час.}$$

Температура поверхности стенок:
 в топочной камере:

$$t_{w1} = t_n - \frac{k}{\alpha} (t_n - t_w) = 1300 - \frac{11,2}{67,8} (1300 - 900) = 1244^\circ$$

в камере газификации:

$$t_{w2} = 900 + 66 = 966^\circ$$

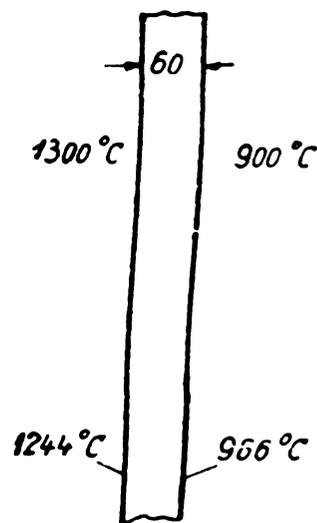


Рис. 57с. Распределение температур в стенке.

где:

- t_h — температура в топочной камере
- t_w — " " в камере газификации
- t_{w_1} — " " поверхности стенки в топочной камере
- t_{w_2} — " " " " в камере газификации.

Поверхность нагрева одной камеры равна:

$$\frac{3.5^2 \cdot \pi \cdot 2}{4} = 19.2 \text{ м}^2$$

Следовательно, в 1 час через стенку передается тепла:

$$Q = 19.2 \times 11.2 \times (1300 - 900) = 86\,000 \text{ кал.}$$

Отсюда производительность камеры определяется в

$$\frac{86\,000}{820} = 105 \text{ м}^3/\text{час.}$$

При четырех камерах газификации производительность опытной установки будет:

$$105 \times 4 = 420 \text{ м}^3 \text{ водяного газа в час.}$$

Расход коксовой мелочи на 1 камеру:

$$0.33 \times 150 = 34.6 \text{ кг/час.}$$

Расход пара на 1 камеру:

$$105 \times 0.7 = 73.5 \text{ кг} \sim 74 \text{ кг/час.}$$

Определение необходимого количества отопительного газа

Состав генераторного газа принимается:

	%
CO ₂	7,2
CO	26,8
H ₂	18,4
CH ₄	0,6
N ₂	47,0
	100,0

Низшая теплотворная способность 1 м³ газа при 0° и 760 мм
Расход кислорода на горение:

1345 кал.

CO	13,4
H ₂	9,2
CH ₄	1,2
	23,8%

$0,238 \text{ м}^3 \text{ O}_2/\text{м}^3$

Расход воздуха на горение:

$$L = \frac{0,238}{0,21} = 1,13 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

при 20% избытка воздуха объем дымовых газов будет равен

$1,13 \times 1,2 + 1 =$	2,355
к этому прибавляется объем водяного пара	0,165
	2,52

За вычетом уменьшения объема, равного приблизительно 0,22
объем дымовых газов будет равен. 2,30

Температура горения (теоретическая) при подогреве газа и воздуха до 600°:

$$\frac{1345 + 600 \times 2,52 \times 0,32}{2,3 \times 0,385} = \frac{1830}{0,885} = 2070^\circ$$

При этой теоретической температуре горения и коэффициенте полезного действия 93%, объем дымовых газов, необходимых для обогрева одной камеры газификации, определяется в

$$\frac{86\,000}{0,93 (2070 - 1300) \cdot 0,41} = 293 \text{ м}^3 \sim 300 \text{ м}^3 \text{ дымового газа при } 0^\circ \text{ и } 760 \text{ мм}$$

Объем необходимого генераторного газа будет равен:

$$\frac{300}{2,3} = 130 \text{ м}^3 \text{ при } 0^\circ \text{ и } 760 \text{ мм.}$$

Запас тепла в генераторном газе:

$$Q = 130 \times 1345 = 175\,000 \text{ кал.}$$

Запас тепла в топливе, поступающем в газогенератор, при коэффициенте полезного действия около 75%:

$$Q_{Br} = \frac{175\,000}{0,75} = 234\,000 \text{ кал.}$$

Коэффициент полезного действия круглокаменного газогенератора

	кал./час. на 1 камеру
Теплотворная способность коксовой мелочи $34,6 \times 6050$	209 000
Теплотворная способность топлива, поступающего в газогенератор	23 4000
Всего	443 000
Теплотворная способность водяного газа:	
по верхнему пределу 105×2800	294 000
по нижнему пределу 105×2550	268 000

Отсюда коэффициент полезного действия равен:

$$\frac{294\,000}{443\,000} = 66,5\%$$

Падение температуры в паровом котле

Получается пара при 12 пзб. атм. 74 кг
Температура питательной воды 10°

Расход тепла:

$$W = \frac{74(669 - 10)}{0,95} = 51\,500 \text{ кал.}$$

Температура дымовых газов, поступающих в паровой котел 1300 — 100 — 1200°
Падение температуры в паровом котле:

$$\frac{51\,500}{300 \times 0,37} = 465^\circ$$

Температура дымовых газов при выходе из парового котла . . . 735°

Падение температуры дымового газа в подогревателе для воздуха и генераторного газа:

Температура воздуха и генераторного газа, вступающих в подогреватель	20°
Температура их по выходе из подогревателя.	600°
Объем генераторного газа.	130 м ³ /час. на 1 камеру
Объем воздуха	176 м ³ /час. на 1 камеру
Температура входящего дымового газа 735 — 15 =	720°
Объем дымового газа	300 м ³

Так как объем дымового газа приблизительно равен сумме объемов генераторного газа и воздуха и, кроме того, удельная теплоемкость дымового газа, имеющего более высокую температуру, выше теплоемкости воздуха и генераторного газа, то, при учете коэф-

фицента полезного действия подогревателя, дымовой газ охладится приблизительно на столько же градусов, насколько нагреется воздух; поэтому температура дымового газа по выходе из подогревателя равна 140°.

Перегрев водяного пара

Пар должен перегреваться отходящим горячим водяным газом. При использовании пара для силовых целей (вентиляторы, размол угля и прочее) он должен перегреваться дважды; первый раз перед паровой машиной и второй раз перед впуском в круглоячеечный генератор.

Объем водяного газа из 1 камеры	105	м ³ /час.
Избыток пара 0,7 — 0,416 = 0,284 кг/м ³ , что равно		
$\frac{0,284}{0,8} = 0,354 \times 105 =$	37	142
Температура водяного газа при входе в пароперегреватель	800°	
1 ступень перегрева пара 2 изб. атм. 450 — 133 = 317°		
2 ступень перегрева пара 12 изб. атм. 300 — 191 = 109°		
Количество пара, подлежащего перегреву	74	кг

а) Падение температуры водяного газа в 1 пароперегревателе:

Расход тепла $74 \times 317 \times 0,5 = 11\,700$ кал./час.

следовательно

$$\frac{11\,700}{142 \times 0,36} = 230^\circ$$

Температура водяного газа, выходящего из 1 пароперегревателя

$$800 - 230 = 570^\circ$$

б) Падение температуры водяного газа во 2 пароперегревателе

Расход тепла $74 \times 109 \times 0,5 = 4030$ кал./час.

следовательно,

$$\frac{4030}{142 \times 0,34} = 83,5 \sim 85^\circ$$

Температура водяного газа, выходящего из 2 пароперегревателя:

$$570 - 85 = 485^\circ$$

Теплопередача шамота, как видно из приведенных выше расчетов, невелика по сравнению с потребностью процесса образования водяного газа. Поэтому было предложено применять железные реакционные трубки (ср. американский патент 1530281), а в последнее время также и трубки из высоко жароупорной стали (ср. французский патент 639683 Imperial Chemical Industries Ltd).

Другой способ непрерывного получения водяного газа из угольной пыли во взвешенном состоянии, над осуществлением которого работает фирма Ю. Пинч в Берлине, базируется на подводе тепла путем сильного перегрева смеси водяного пара с циркуляционным газом. Этот принцип в применении к газификации при покоящемся слое топлива был рассмотрен ранее. В одной конструкции для осуществления этого процесса, по взятому фирмой патенту 470653, камера

газификации, с целью уменьшения потерь тепла излучением. располагается внутри полукольцеобразных камер нагревателя. Пылевидное топливо поступает одновременно с током горячего циркуляционного газа, выходящего из одной камеры, в верхнюю часть шахты генератора, падает с ним вниз и выводится через расширенную часть шахты, служащую для улавливания золы¹. Серьезный шаг вперед в этой области можно усмотреть в разрабатываемом фирмой Teer-und Gas-Aktiengesellschaft в Берлине способе отопления регенераторов частью нагретого циркуляционного газа, который приводится в движение вентилятором, расположенным в холодной части газового пути. Соответствующей регулировкой засоса вентилятора можно достичь регулировки нагрева регенератора, не прибегая к вентилям, в которых трудно достичь плотности при высокой температуре. Дальнейшая возможность регулировать температуру в подогревателе заключается во впуске в регенератор водяного пара или холодных отходящих газов. Одновременно это является средством к понижению развивающихся при горении газа высоких начальных температур, которые ведут к преждевременному разрушению насадки топочных камер².

Выше было указано, что Clauss предлагал непрерывное получение водяного газа из пылевидного угля при внутреннем обогреве камеры газификации при помощи чистого кислорода или обогащенного кислородом воздуха. Подобные стремления появляются и теперь и, благодаря удешевлению производства кислорода, перспективы их для будущего значительно благоприятнее, чем это было лет 20 тому назад. Особенное значение этот процесс будет иметь там, где будут налицо большие количества кислорода, как отбросного продукта химической промышленности. Во французской литературе за последние годы неоднократно освещался вопрос применения чистого кислорода или обогащенного кислородом воздуха для получения генераторного газа. По способу, предложенному французским обществом La Combustion Rationnelle, кислород применяется и для газификации пылевидного топлива во взвешенном состоянии³. Об этом способе имеются следующие сведения.

Пылевидное топливо вводится в камеру газификации током служащего для газификации водяного пара, кислорода или же обогащенного кислородом воздуха; но пыль может подаваться в камеру и механическим путем. Водяной пар и топливо могут также вводиться и в поток пламени, образующегося при горении части угля в кислороде.

По способу, предложенному G. Patart'ом⁴, кислород в смеси с водяным паром и пылью из малоценного угля вдвухается в газогенератор водяного газа, который загружен кусковым коксом. камен-

¹ Ср. английский патент 299421, по которому газогенератор соединяется с аппаратом для использования физического тепла газов для целей сушки и плавки сырого угля.

² См. английский патент 296064.

³ Французский патент 609340.

⁴ Французский патент 599589.

ным углем или бурым углем. Для разогрева слоя топлива должно служить дешевое топливо, а кусковой уголь используется для процессов восстановления водяного пара и углекислоты.

По патенту акционерного общества I. G. Farbenindustrie (германский патент 458074), заявленному еще в 1922 г. и опубликованному только в последнее время, газ для синтеза аммиака и для гидрирования получается при газификации пылевидного топлива в кислороде или смеси кислорода с воздухом. Получаемая при этом газовая смесь, содержащая водород, должна быть особенно пригодна для указанных целей, так как при легко достигаемых при кислороде высоких температурах углеводороды, выделяющиеся из угля, подвергаются глубокому разрушению. В виду того, что для газификации могут применяться и дешевые топлива; как, например, буроголивая пыль, применение кислорода для газификации может оказаться рентабельным.

К способам непрерывного получения водяного газа из пылевидного топлива относится и упомянутый уже способ К. Fischer'a¹, в котором необходимое для реакций тепло подводится путем излучения пламени, поддерживаемого в газогенераторе. Процесс горения угольной пыли, которая преимущественно применяется для этой цели, ведется таким образом, что часть топлива в виде сильно нагретых частиц кокса поступает в зону образования водяного газа. Для дополнительного подвода тепла в зону образования водяного газа должен впускаться кислород или воздух. Новые исследования Schack'a и других над теплопередачей раскаленных газов подтверждают, что предложение вести обогрев реакционных камер за счет излучения газов заслуживает внимания.

По одному старому предложению Max'a Klötzer'a непрерывное получение водяного газа из пылевидного угля проводится в горизонтальной канальной печи, на дне которой находится шлаковая ванна, поддерживаемая при высокой температуре. Это целесообразнее всего достигается при кольцеобразно замкнутом токе шлака, который нагревается за пределами камеры газификации, например, за счет сжигания газа. Газифицируемая смесь приводится насосом в пульсирующее движение, благодаря чему должно достигаться ускорение реакций. При применении многозольных топлив каталитическому действию составных частей золы приписывается ускорение процесса, поэтому при малозольных топливах к топливной пыли примешиваются тонко измельченные минеральные вещества, оказывающие такое же действие. Здесь следует отметить, что благоприятное влияние пульсирующего движения в генераторах с неподвижным слоем топлива уже использовал на практике Jules Deschamps¹.

В то время, как при описанном способе Klötzer'a передача тепла от шлаковой ванны осуществляется только путем излучения и со-

¹ Германский патент 461481.

² Германский патент 422663.

прикосновения газов с ее поверхностью, при других, недавно разработанных способах достигается тесное соприкосновение топлива с расплавленной ванной при пронизывании газифицируемой среды через последнюю. По одному из этих способов применяется ванна из расплавленного железа. По другому, недавно опубликованному способу (ср. германский патент 494675 Lichtenberger'a и Kaiser'a в Гейльбронне), применяется ванна из поваренной соли. Термические и химические основы этого способа разработаны обстоятельно в лаборатории и теперь намечается его практическое осуществление. Изобретатели видят технические и экономические преимущества поваренной соли по сравнению с железом в том, что легче достигается перемешивание угля с удельно не очень тяжелой расплавленной солью, температура плавления соли низка (800°), но достаточна для процесса образования водяного газа из топлива с высокой реакционной способностью; дальнейшим преимуществом является низкая стоимость поваренной соли. Кроме того, на основании данных предварительных опытов ожидается быстрое выравнивание температуры в потребляющих тепло зонах образования водяного газа. Расплавленная соль является хорошим тепловым аккумулятором и переносчиком тепла. В противоположность периодическим способам получения водяного газа, дающим часто газ с содержанием азота до 7% и выше, при непрерывном получении водяного газа в расплавленной ванне газ можно принять практически свободным от азота.

Первоначально предполагалось применить этот способ для переработки пылевидного топлива, но намечалось применение его и к газификации кускового топлива, в том числе и низкосортного, как бурый уголь. Кроме того, предполагалось сочетать этот процесс с дистилляцией, дающей высококалорийные газы. Если техническое осуществление этого процесса не встретит неожиданных затруднений, рентабельность его будет зависеть в первую очередь от разработки применения этого способа к непрерывному получению высококалорийного двойного водяного газа. На рис. 58 показана схема такого газогенератора, который по предложению D. Bolz'a в верхней части состоит из вертикальной камерной печи, к которой снизу непосредственно примыкает газогенератор водяного газа, имеющий над соляной ванной карбюрационную камеру. Таким путем достигается тесное соединение в одном агрегате старого высокотемпературного ретортного коксования с получением побочных продуктов (смолы, аммиака) и безостаточной газификации в водяной газ, совместно с карбюрированием. На рис. 58 *a* обозначает постоянно работающую вертикальную камеру, которая в верхней части отапливается с помощью газовых и воздушных каналов *b*, *c*, так что вокруг головки камеры достигается температура в 1300° . Дымовые газы опускаются вниз по ходам *d*, *d* и через каналы *e*, *e* выходят из печи; при температуре равной приблизительно 1000° . Топливо опускается вниз и в виде кокса попадает в соляную ванну *f*, *f*, где и газифицируется при подводе высокоперегретого пара.

Через сопла *g, g* в камеру *h, h* подается смола для карбюрирования водяного газа. Карбюрированный водяной газ через отверстия *i, i* поступает внутрь слоя кокса в реторте *a*. Удаление золы осуществляется шнеком *k, k*.

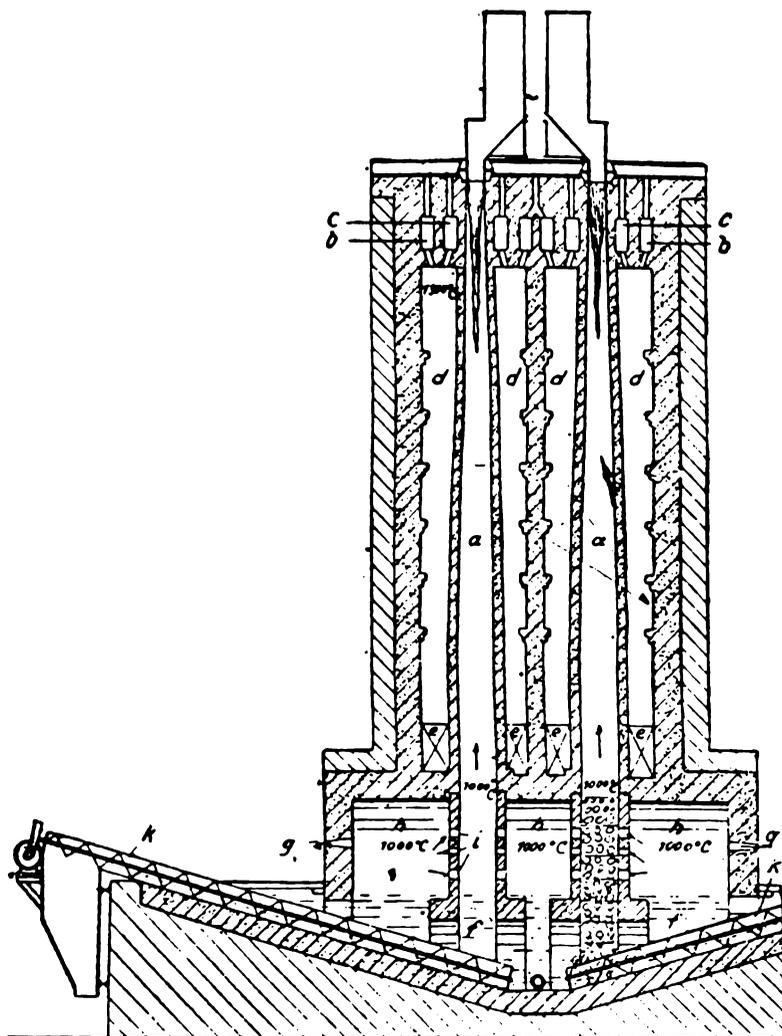


Рис. 58. Генератор для непрерывного получения двойного газа с внутренним обогревом при помощи расплавленной ванны системы Lichtenberger и Bolz.

Для полукоксования топлив неоднократно пытались применить металлические ванны¹ и в некоторых случаях практически осуществляли этот процесс в большом масштабе (способ Caracristi); предложение же проводить процесс получения водяного газа в расплавленной ванне сперва удивляет каждого специалиста и вызывает довольно скептическое отношение. Однако, как было сообщено автору, одна известная крупная промышленная германская фирма решила осуществить в производственном масштабе опытную уста-

¹ Ср. обстоятельные материалы по этому вопросу в книге Thau, Die Schwelung von Braun- und Steinkohle, Гаале. 1927, стр. 409.

новку, работающую по способу Lichtenberger'a-Bolz'a. В кругу специалистов к этим опытам проявляется большой интерес.

Газификацию пылевидного топлива пытались осуществлять и при периодическом процессе, т. е. при переменном накоплении тепла и газования.

Описанный в *Chemikerzeitung* от 15 августа 1921 г. способ Valley имеет по мнению Trenkler'a значительно больше перспективы по сравнению с новейшими способами непрерывного получения водяного газа, так как процесс в нем протекает при более высоких температурах. По этому способу пылевидный уголь в смеси с высокоперегретым паром приводится через аккумулятор тепла, состоящий из шамотной насадки, кокса и тому подобного, которые нагреты до 1400—1600°. Водяной пар должен быть перегрет до 1200—1400°. Две таких камеры соединены в одну систему, снабженную подобными же камерами для перегрева пара и воздуха, которые обогреваются горячими отходящими газами. Относительно конструктивных подробностей можно сослаться на указанный источник. Trenkler¹ усматривает в несколько запутанной конструкции и сложном способе работы газогенератора Valley единственный его недостаток, который, однако, по его мнению, может быть легко устранен; в остальном он считает этот способ пригодным для практического осуществления.

Мы не сможем присоединиться к такому оптимистическому мнению, если взвесим следующее. В нашем распоряжении, хотя и имеются огнеупорные материалы, которые могут выдержать высокую температуру, необходимую для процесса, но материалы, которые долгое время противостояли бы и химическому действию шлака, находящегося при указанных температурах в жидком состоянии, слишком еще дороги для этой цели. Из опыта работы современных топков для пылевидного топлива известно, как быстро выделяющиеся из газового потока в виде мелких капелек шлаки разрушают высокоогнеупорный материал стенок камеры горения. При шамотной насадке эта опасность еще больше, по крайней мере, для периода обогрева, так как пламя нарочно направляется на поверхность шамота. В камерах перегрева установок масляного водяного газа на американских газовых заводах приходится считаться с довольно неприятными разрушениями насадки, хотя в этом случае температура почти не превышает 1000—1100°. Нельзя упускать из вида, что основным условием при газификации пылевидного топлива является достижение высоких производительностей и, вследствие этого, даже при переработке обыкновенных углей необходимо учитывать быстрое накопление больших количеств шлака; регулярное выделение и удаление последнего должно быть предусмотрено. В конструкции Valley приспособлений этого рода не имеется. Такие же соображения можно высказать и по поводу предложения, сделанного недавно Lebeboer'ом и Jamotte'ом².

¹ Trenkler, Die Gaserzeuger, стр. 77.

² Ср. германский патент 431137.

В этой конструкции, вместо шамотной насадки, в камере газификации помещается аккумулярирующая насадка из мелких кусков камня, как это обычно делают при так называемых беспламенных

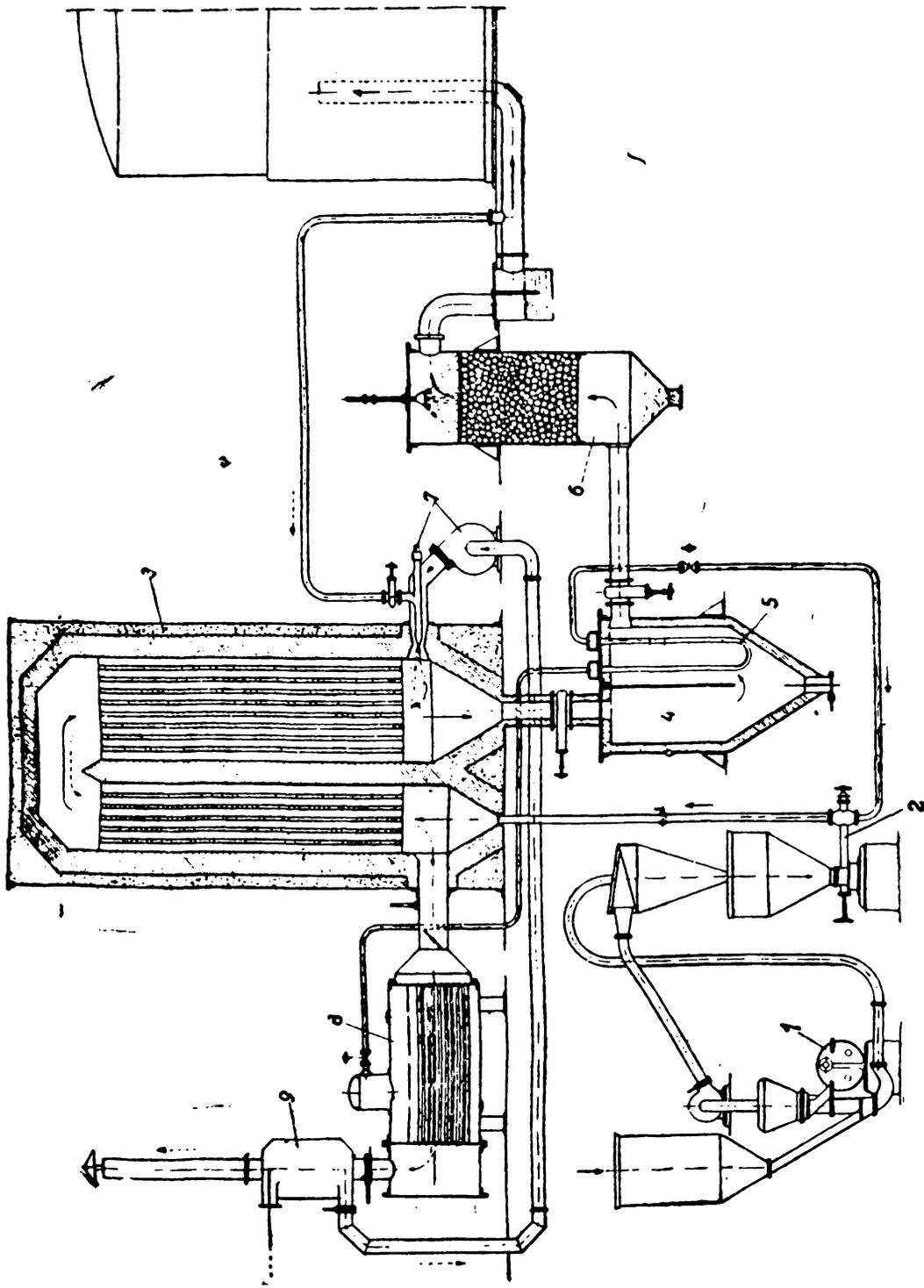


Рис. 59. Генератор для пылевидного угля системы Вауер, Ramag-Méguin и Heller.

1—установка для угольной пыли, 2—распределитель угольной пыли, 3—установка для добывания водяного газа и-ли двойного газа, 4—пыль отделитель, 5—пыль отделитель, 6—испрегриватель, 7—топка, 8—топка, 9—подогреватель воздуха.

топках. Изобретатели исходят из того предположения, что, вследствие значительной длины пути по каналам шамотной насадки, имеется опасность неравномерного распределения газа, которое мо-

жет отразиться на ходе процесса газификации и повлечь за собой местные перегревы насадки, вызывающие плавление и разрушение ее. По нашему мнению, при каменной насадке тонкие газовые каналы очень быстро забьются шлаком. Хотя насадка из камней легко может быть заменена и обходится дешевле, чем шамотная насадка, но неравномерность слоя заполняющего материала затрудняет равномерный проход газового потока и, вследствие этого, равномерное нагревание аккумулирующих тел и равномерную отдачу тепла от них во время периода газования.

В комиссии сухой перегонки и газификации при Deutsche Braunkohlen-Industrie Verein в январе 1928 г. инж. Heller доложил о разработанном им совместно с фирмой Vamag-Méguin A-G способе, который должен быть осуществлен согласно схеме, приведенной на рис. 59¹. О способе работы установки сообщается следующее.

В мельнице 1 готовится из бурого угля или полукокса пыль обычной для пылевой топки тонкости помола. Пылевидное топливо в дозирующем устройстве 2 тесно смешивается с перегретым паром и поступает в газогенератор 3. Газогенератор внутри выложен свободно лежащими кирпичами, которые образуют вертикальные каналы. Разделение камеры газификации на две части имеет целью удлинение пути газа. Сперва топливо поднимается по каналам перегревателя. Под сводом газовый поток меняет свое направление и опускается по камере газификации. В виду того, что нагрев камер ведется с той стороны, где выходит газ, газифицируемая смесь встречает на своем пути все время повышающуюся температуру стенок. Дальше газ поступает через пылеотделитель 4 в скруббер 5 и отсюда через гидравлический затвор в газгольдер. В пылеотделителе газ отдает часть своего физического тепла пароперегревателю 6. Отопление камеры газификации производится сжиганием в горелке 7 части очищенного газа или же постороннего генераторного газа. Тепло отходящих газов используется в паровом котле 8 и воздухоподогревателе 9.

Конструкция Heller'a имеет значительные преимущества по сравнению с газогенератором Valley. Прежде всего, при применении чистого газа для отопления реакционных камер избегается опасность засорения во время периода разогрева аккумулирующей насадки расплавленными шлаками и частицами угля, чего следует опасаться в газогенераторах Valley. Целесообразной кажется и замена каналами аккумулирующей насадки, в которой, вследствие частой перемены направления несущей пыль парогазовой смеси, должно происходить нежелательное оседание пыли. Относительно температур, достаточных для практически полной газификации, нельзя согласиться с Heller'ом. Он считает, что при газификации буроугольной пыли получится газ с теплотворной способностью около 3600 кал. При этом он принимает, что образующиеся в зоне перегрева продукты сухой перегонки превращаются в горячих частях установки

¹ Braunkohle, 17/III 1928, стр. 204.

в газообразные углеводороды, что, однако, можно ожидать только в том случае, если температура горячей зоны не превышает значительно 1000° , так как в противном случае должен был бы сильно разлагаться даже и метан. Это положение подтверждается цифрами, полученными при опытах Herzberg'a, в которых температура по всей вероятности не была выше указанной и при которых был получен газ с теплотворной способностью только около 2800 кал. Здесь следует еще упомянуть о конструкции Nielson-Laing'a, запатентованной в Англии (британский патент 299845). В этой конструкции над камерой горения помещается реакционная камера, которая разделена зигзагообразными шамотными каналами, направленными вверх. Благодаря этому, получается более длинный путь для газифицируемого материала, а не прогазифицированные зерна угля могут скатываться по наклонным поверхностям опять в нижнюю часть шахты, где они снова подхватываются током газа. Отопление производится за счет сгорания пылевидного угля.

В сообщении о способе Valley сказано еще, что тепловым аккумулятором вместо шамотной насадки может служить насадка из кокса. При этом имелось в виду, что и разогрев кокса и образование водяного газа должны идти за счет вдуваемой угольной пыли, так что в противоположность обычным водяным газогенераторам коксовое заполнение должно возобновляться только через длительные промежутки времени. Но нельзя упускать из вида, что как-раз при продолжительном использовании коксового слоя возникнут те же затруднения, что и при использовании шамотной насадкой. В этом случае также придется считаться с сильным шлакованием золы, скопляющейся в пустотах коксового заполнения.

Заслуживает упоминания и способ, разработанный несколько лет тому назад в Америке Н. W. Benner'ом совместно с фирмой Fuller-Lehigh Company, принимающей большое участие в развитии сжигания пылевидного топлива. Согласно американским литературным указаниям, этот способ после многолетних опытов настолько усовершенствован, что может быть передан в производство¹.

Для газификации пользуются шахтной печью, которая только снизу, приблизительно до половины, заполнена топливом. Во время горячего дутья, которое проводится обычным способом, нагревается до высокой температуры не только слой топлива, но и стенки пустой верхней части камеры. По окончании горячего дутья в верхнюю часть шахты при посредстве сжатого газа вдувается облако тонкоизмельченного битуминозного топлива. Одновременно с этим снизу через слой раскаленного топлива вдувается водяной пар. Под влиянием излучения тепла от стенок шахты угольная пыль дистиллируется и пары смолы подвергаются крекированию в газообразные углеводороды, которые примешиваются к поднимающемуся водяному газу и повышают его теплотворную способность. Этот способ предназначен в первую очередь для карбюрирования водяного

¹ Ср. L. C. Harvey, Pulverized Coal as a Fuel, Лондон, 1924, стр. 136.

газа и поэтому дорого стоящий разлом топлива должен оправдаться. Угольные пылинки спекаются, по всей вероятности, при коксовании в зерна большего размера, так как иначе невозможно было бы представить себе проникновение пара во время периода газования через массу тонко измельченного топлива. Образовавшиеся зерна кокса отлагаются сверху на слое топлива. Вообще, каждый раз должно вдуваться столько угольной пыли, сколько превращается в водяной газ за один период газования и сжигается за последующий период горячего дутья. Если же желательнее большее обогащение газа газообразными углеводородами, то пылевидное топливо вводится только во время части периода газования, образующийся же в остальную часть периода газования некарбюрированный водяной газ может быть отведен для других целей. Оказалось также целесообразным во время вдувания угольной пыли, которое идет толчками, дросселировать впуск пара с тем, чтобы восходящий ток водяного газа увлекал меньше частиц топлива и зерна кокса имели время отложиться на поверхности слоя топлива.

В связи с этим следует упомянуть также разработанный за последние годы в Америке способ *Trent'a*, предназначенный тоже для получения карбюрированного водяного газа из пылевидного угля. По этому способу угольная мелочь или пыль, замешанная в тесто с дешевым минеральным маслом, например, с нефтяными остатками, и водой, вносится в генератор и подвергается горячему дутью. Эта смесь вносится все время маленькими количествами во время периода газования. Таким образом из отбросных масел получается карбюрированный водяной газ без обычных камер для карбюрации.

В виду того, что обстоятельных опытов по газификации угольной пыли во взвешенном состоянии в водяной газ еще вообще не имеется¹, мы вынуждены представлять себе ход процесса аналогичным газификации воздухом, т. е. разбавленной азотом углекислотой. После того как проведенные ранее опыты по газификации угольной пыли воздухом или смесью воздуха и пара не дали удовлетворительных результатов, лабораторные опыты *Haslam'a*, проведенные в канальной печи длиной 4 м, показали, что даже при умеренно подогретом воздухе в камере газификации развиваются температуры около 1100° и что в полученной газовой смеси содержание окиси углерода не превышает 8—10%. Плохое газообразование обуславливается, вероятно, сильным излучением тепла стенками камеры газификации, имевшей очень маленькое сечение (15×20 см). *Haslam* пришел к заключению, что при подогреве воздуха приблизительно, до 1000° можно ожидать практически полного восстановления углекислоты. В виду того, что при температурах выше 1000° водяной пар реагирует с углеродом быстрее, чем углекислота, можно с уверенностью принять, что процессы, ведущие к образованию водяного газа, при принятых *Valley* температурах будут протекать очень

¹ Сведения об упомянутых выше опытах *Herzberg'a* на газовом заводе *Leisnig* были получены автором только во время печатания книги.

быстро. Приведенное Trenkler'ом при обсуждении способа Valley мнением специалистов о том, что пылевидное топливо может быть полностью сожжено только в топке и что газификация тонко измельченного угля невозможна, может относиться, ввиду вышесказанного, только к значительно более низким температурам. Но благоприятные для газификации высокие температуры вносят ряд затруднений в проведение процесса и предъявляют высокие требования строительным материалам именно тогда, когда во время горячего дутья образуются большие количества шлаков, действующих на кладку газогенератора.

Поэтому понятно, что при газификации углей в пылевидной форме стремилась к возможности ускорения реакций, чтобы и при работе при умеренно высоких температурах достичь благоприятных условий для газообразования. Одну из таких возможностей видели в применении катализаторов. По данным опытов, поставленных автором¹, можно было заключить, что составные части золы естественных топлив должны действовать в значительной мере ускоряюще на так называемую реакцию водяного газа $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Даже при очень низких температурах, от 600 до 700°, паро-газовая смесь, выходящая из трубки, заполненной беззольным искусственным углем, содержала только незначительные количества CO_2 наряду с большим количеством CO , тогда как в случае применения зольных углей соотношение объемов CO_2 и CO было как раз обратным. Но в виду того, что реакция водяного газа является реакцией только в газовой фазе, вопрос о влиянии катализаторов на более важную для практики газификацию твердого углерода оставался открытым. На заседании английских специалистов газового дела в августе 1926 г. был сделан обстоятельный доклад специальной комиссией, назначенной для выяснения этого вопроса. Комиссия пришла к важному для практики заключению, что и образование водяного газа, т. е. газификация твердого углерода, в значительной мере ускоряется неорганическими примесями, как известно, окись железа и углекислый натр². Это обстоятельство может иметь значение как раз для получения водяного газа из пылевидного угля, так как при газификации во взвешенном состоянии, в особенности при не очень высоких, легче доступных на практике температурах, ускорение реакций очень важно.

Однако на практике, по всей видимости, до сих пор этой возможности ускорения газообразования не использовали, потому, что она требует сложной предварительной обработки угля, необходимой для получения хорошего распределения катализатора в его массе. Большую экономичность эта обработка могла бы иметь в том случае, если бы прибавка катализатора повела к образованию значитель-

¹ J. Gwosdz, Über die Zersetzung von Wasserdampf an glühenden Kohlenstoff Dr.-Ing.-Dissertation, Берлин. 1917.

² Gas Journal (англ.), 27/IX 1926, стр. 882. Дальнейшие опыты той же комиссии показали, что действие катализаторов по мере хода процесса газификации углерода сильно ослабевает.

ных количеств метана и высших углеводородов, как это показали опыты К. А. Hofmann'a и Groll'a¹, проведенные при сравнительно низкой температуре (500°). Названные исследователи работали с сильно активированным углем, полученным из бурого угольного полукокса посредством обработки его воздухом и водяным паром. При этом ими было установлено значительное ускорение разложения водяного пара, которое при температуре в 500° протекало полностью по реакции $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$. Далее было установлено, что водород *in statu nascendi* при прибавках к углю катализирующих металлов действует гидрирующе. При прибавке железа около 15% водорода переходит в метан, никель дает до 30%, а марганец до 45%. При одновременном применении марганца и кобальта были получены значительные количества жидких и твердых углеводородов. Этот непосредственный синтез углеводородов при газификации углей, исходными материалами для которого служат не газообразные вещества, как окись углерода и водород в способе Franz Fischer'a и Tropisch'a, а твердый уголь и пар, может быть, в будущем приобретет значение для получения карбюрированного водяного и двойного водяного газа. Упомянутыми исследователями было обнаружено, что влияние металлических катализаторов на ускорение разложения пара значительно меньше, чем влияние предварительной активации угля. Это заключение может быть использовано при осуществлении процесса получения богатого водородом газа, которому в настоящее время уделяется большое внимание.

Получение газа, богатого водородом и бедного окисью углерода, имеет значение как для получения водорода, так и для приготовления городского газа или газа для прибавки к ретортному газу. Уже в 1917 г. Haennig и Beha² предложили для получения такого газа вести газификацию смесью кислорода и водяного пара с высоким содержанием последнего (на 1 объем O_2 около 15 объемов водяного пара). При предварительном перегреве этой смеси до 300° рабочая температура в камере газификации принимается около 1000°. Они имели в виду удаление CO и CO_2 путем дорогого сжижения при низкой температуре, поэтому в данном случае значительное содержание окиси углерода в газе, неизбежное при такой температуре, не играло решающей роли. Если же желательно избежать дорогого способа выделения этих составных частей газа, то необходимо стремиться к понижению содержания окиси углерода за счет увеличения содержания углекислоты, так как последнюю в значительной степени можно удалить сравнительно простым промыванием под давлением.

Уже раньше в работе с избыточным паром, т. е. при больших скоростях пара или низком слое топлива, видели средство для понижения температуры и, благодаря этому, для получения газа с повышенным содержанием CO_2 и H_2 . При этом, однако, мало внимания уделяли уменьшению разложения пара, вследствие низкой температуры.

¹ Zeitschrift für angewandte Chemie, т. 40 (1927), стр. 282.

² Французский патент 484973.

Опыты К. А. Hofmann'a и Groll'a показали, что при применении углей с высокой реакционной способностью, как например, особым образом обработанный [буроугольный полукокс, и при таких температурах, которые допускают сильное преобладание реакции $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$, можно ожидать удовлетворительного для практики разложения пара.

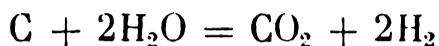
Стремление использовать полукокс для получения водяного газа возникло вскоре после введения в практику низкотемпературного коксования. Но оно не дало практических результатов, так как превращение полукокса в водяной газ обычными методами, разработанными для высокотемпературного кокса, представляло большие трудности (мелкие размеры кусков не позволяли вести сильного горячего дутья для получения раскаленного слоя большой высоты, расход топлива на горячее дутье был больше, вследствие сильного образования CO, температура в слое была ниже и т. д.). Улучшение в этот процесс пытались сперва внести путем разработанного английской фирмой Synthetic and Ammonia Limited¹ способа, который должен давать полукокс в кусках большего размера. Для этой цели хорошо спекающийся каменный уголь нагревается предварительно в присутствии кислорода и затем дистиллируется при температуре, не превышающей 600°. Полученный полукокс газифицируется в газогенераторе водяного газа при большой скорости пара и при сравнительно низком слое топлива. Благодаря двум последним обстоятельствам, как указано в патенте, должны создаваться более благоприятные условия для газификации и для нагрева избыточного пара, необходимого для последующего превращения газа по основной реакции водяного газа. Но и в этом способе не имеется стремления к проведению процесса так, чтобы уже в слое топлива достигалось значительное понижение образования CO.

Это намерение было выявлено впервые в недавно разработанном способе Metallgesellschaft A.-G. во Франкфурте-на-Майне. Этот способ относится не к обычным периодическим процессам получения водяного газа, а базируется на газификации смесью кислорода с большим количеством пара (до 95% по объему). Газификации подвергается полукокс, который образуется в верхней части газогенератора за счет отходящего из зоны газификации газа, содержащего большое количество паров воды. Температуры в этом процессе ниже: между 100° и 600°. Условия, в основном, соответствуют процессу Mond'a, при котором содержание углекислоты в газе больше содержания окиси углерода. В рассматриваемом случае газ, при указанном температурном интервале, должен иметь следующий состав: CO₂ от 20 до 30%, CO от 30 до 40% и H₂ от 45 до 55%. После вымывания большей части углекислоты газ должен обладать высоким содержанием водорода при умеренном, для бытового потребления, содержании окиси углерода. В этом случае так же, как и при процессе Mond'a, большие количества тепла, уносимые неразложенным па-

¹ Английский патент 282537, 1927 г.

ром, должны тщательно использоваться для процесса газификации. В способе Mond'a рентабельность зависела, главным образом, от добычи аммиака, в описываемом же процессе она базируется на получении газа с высоким содержанием водорода и высокой теплотворной способностью, которая может быть еще повышена путем обогащения швельгазом. В случае применения газа для дальнего транспорта расходы на вымывание углекислоты под давлением будут незначительны, так как газ все равно должен быть компримирован. На второй мировой энергетической конференции в Питтсбурге (1928 г.) F. P. Kreschbaum указывал на то, что по наблюдениям, сделанным при газификации сырых бурых углей и в особенности при полукоксовании, буроугольный полукокс реагирует со значительной скоростью с водяным паром при сравнительно низких температурах 500—600°

При этом реакция идет по уравнению



что открывает новые пути для получения дешевого водорода.

Описанные до сих пор в этом отделе процессы относятся, главным образом, к газификации топлив в пылевидной форме, при чем топливо газифицируется во взвешенном состоянии. Для достижения безостаточного превращения в газ необходимо поэтому измельчение угля в тонкую пыль. Несмотря на это, достижение практически безостаточного использования твердого углерода по описанным способам в большинстве случаев ничем не гарантировано.

Большого практического значения можно было ожидать от способа, запатентованного¹ несколько лет тому назад фирмой I. G. Farbenindustrie A.-G., который, по фамилии изобретателя, носит теперь название *способа Winkler'a*. В патенте сказано, что из коксовой мелочи или подобного ей топлива, состоящего или нацело из пыли, или частично из кусочков размером от горошины до ореха и частично из пыли, можно получать водяной газ, если в шахтную печь, загруженную таким углем, вдуть необходимый для горячего дутья воздух под таким давлением, что весь слой угля, а следовательно и мелкозернистый уголь, приходит в сильное движение. Таким путем достигается хорошее перемешивание, и сгорание угля не локализуется в отдельных точках, а распределяется по всей массе, так что температура повышается равномерно. Когда достигнута температура около 1100—1200°, тогда в шахту пускают пар таким образом, чтобы уголь не оседал. Большая часть образующейся золы уносится потоком газа и собирается в камере, примыкающей к газогенератору. Этот процесс осуществляется в шахтной печи, переходящей снизу на конус. Водяной газ, полученный по этому способу при опытах упомянутой фирмы, состоял приблизительно из 43% — CO, 45% — H₂ и 2,5% — CO₂.

В экономическом отношении этот способ выгоден уже потому, что не требует никакой дорогой подготовки топлива и пригоден для переработки наиболее дешевых сортов углей, содержащих много

¹ Германский патент 437970.

пыли. В этом способе осуществляется идея накопления тепла во время горячего дутья для последующего превращения в водяной газ угольной пыли; при этом нет основания опасаться зашлаковывания и забивания слоя, в котором идет накопление тепла, с одной стороны, вследствие непрерывного движения этого слоя под влиянием вдуваемого под большим давлением воздуха, а с другой стороны, вследствие постоянного выгорания топлива снизу, что обеспечивает частое возобновление этого слоя. Если увлекаемые газовым потоком частицы топлива не оседают вниз, то, вследствие их малых размеров, легко сгорают или газифицируются налету и таким путем достигается большая полнота химических реакций.

Эти данные были пополнены директором Крауч'ом в сообщении, сделанном на объединенном заседании комиссий объединения Verein Deutscher Eisenhüttenleute в апреле 1927 г. По его сообщению, способ Winkler'a основан на следующем, впервые подмеченном явлении: внутреннее трение в слое мелкозернистого топлива, как коксовая мелочь, сухой бурый уголь или малоценные сорта каменного угля, при продувании через него воздуха или водяного пара «при соответствующих, правильно выбранных условиях», так изменяется, что слой ведет себя как жидкость. По мнению Крауч'a это явление объясняется тем, что омываемые газовой средой частицы угля бурно выделяют газы и, вследствие этого, продолжительное время окружены газовой пленкой, благодаря чему они могут легко перемещаться друг около друга, как частицы жидкости с малой вязкостью.

По словам докладчика: «Находящийся на поду газогенератора слой мелкозернистого топлива, который может достигать толщины 2 м и даже больше, поддерживается в постоянном движении вдуваемым газом. Вследствие особого состояния топлива, подобного жидкости, свежезагруженное топливо смешивается сейчас же с раскаленным углем и приходит в теснейшее соприкосновение со вдуваемым газом. Если пыль, подмешанная к зернистому углю, не прогазифицируется при прохождении через раскаленный слой кокса, то она может непосредственно над поверхностью находящегося в движении угля полностью прогазифицироваться вдуваемым воздухом.

Газы выходят из газогенератора сверху при температуре около 1000° . При переработке сырого бурого угля их физическое тепло используется для подсушки последнего перед поступлением в газогенератор. Сырой уголь, содержащий около 50% воды, вводится в поток газа, покидающего газогенератор, и уносится им в циклон. При этом уголь подсушивается до 10% влажности и распадается одновременно на мелкие зерна.

Производительность газогенератора, работающего по этому принципу, очень велика; например, при 12 м^2 сечения шахты в нем можно за 24 часа превратить в генераторный газ 750 т сырого бурого угля. В этом новом газогенераторе можно непосредственно превращать в водяной газ рыхлый бурый уголь из Geiseltal. Во время горячего дутья получается генераторный газ, который с успехом может быть применен для газомоторов.

Термический коэффициент полезного действия нового газогенератора весьма высок, так как весь газ, полученный в нем, может быть использован, и физическое тепло его также полностью используется для сушки и подогрева свежего топлива. Расстройства хода, вызываемые в обычных генераторах тем, что газы проходят через слой топлива, главным образом, в местах наименьшего сопротивления, в этой системе исключаются. Потери на лучеиспускание сравнительно малы, вследствие высокой пропускной способности генератора. Капитальные затраты по сравнению с другими газогенераторами, отнесенные к равной пропускной способности, также значительно ниже. Этот способ должен теперь применяться на заводе в Лейпа в большом масштабе».

Производительность, указанная в приведенном здесь сообщении во много раз превосходит наиболее благоприятные результаты, которые были до сих пор достигнуты. Наибольшее значение для дальнейшего развития техники газификации топлива этот процесс будет иметь в том случае, если при помощи него будет, наконец, после многих опытов и неудач разрешена проблема рентабельной газификации малоценных топлив, в особенности германских сырых бурых углей, содержащих много мелочи. На основании последующих патентов, полученных фирмой, здесь необходимо сделать следующие замечания.

Для этого процесса характерна, как уже было сказано, подача воздуха и пара в слой мелкозернистого топлива под таким высоким давлением, что весь мелкозернистый материал находится в колебательном движении вверх и вниз. Топливо, перед поступлением в сравнительно высокий для мелкозернистого топлива слой в генераторе, не проходит через особые зоны подогрева и коксования. Свежезагруженное топливо погружается непосредственно внутрь раскаленного газифицируемого слоя. Наглядное разъяснение этого можно почерпнуть в американском патенте 1687118. Согласно ему при жидкостиподобном состоянии раскаленного слоя топлива холодные частицы свежезагруженного топлива, вследствие большего удельного веса, быстро опускаются в нижние зоны слоя. Для этого жидкостиподобного состояния в особенности характерно следующее явление: кусок влажного дерева сперва погружается в массу, находящуюся в движении, подобном кипению, затем, по удалении из него влаги и нагревании его до высокой температуры, опять всплывает на поверхность и плавает, как дерево на воде. Если на поверхность топлива через смотровое окно в стенке генератора пустить струю воздуха, то на ней образуются волны, как на водной поверхности. Газ, проходящий под давлением через слой топлива, поддерживает частицы в непрерывном движении, что влечет за собой хорошее перемешивание, благодаря которому в слое топлива не могут образоваться пустоты. В этой жидкостиподобной массе большая часть частиц золы опускается, вследствие большего удельного веса, вниз.

По сравнению со старыми генераторами высокого давления, значительной новизной в настоящем способе является то, что здесь не

пренебрегают уносом больших количеств мелких частиц топлива, неизбежным при газификации топлив, содержащих пыль. Уносимые частицы улавливаются в пылеуловителе, в котором оседают и увлеченные частицы золы. Не выделившаяся в циклоне пыль сжигается при впуске соответствующих количеств воздуха в горячий еще газ. Замечательно то, что при этом происходит сгорание не до углекислоты, а до окиси углерода.¹

После многообещающих сообщений Крауч'а фирма не опубликовала почти никаких сведений о дальнейшем развитии этого процесса на практике. Однако несколько времени тому назад в кругах, близких к газовому делу, стало известно, что установленные в Леупа газогенераторы работают на бурых углях не на водяной газ, а только на генераторный. Причиной этому является то, что при буром угле, в противоположность полукоксу, проведение процесса водяного газа представляет известные трудности. Чем это объясняется, определенно сказать нельзя. Периодический процесс и в этом случае будет иметь упомянутые выше недостатки в смысле расхода и накопления тепла характерные для газификации легко реагирующих и мелкозернистых топлив. При газификации полукокса рентабельность процесса будет сомнительна до тех пор, пока стоимость полукокса не станет сравнительно низкой. При переработке сухого рыхлого бурого угля, вследствие неравномерной сушки и коксования, возможно нарушение равномерного распределения температур в слое топлива, что при высоком давлении пара, а следовательно при больших скоростях его, необходимых для перемешивания слоя топлива, даст недостаточное разложение пара. Неразложенный пар будет уменьшать само по себе незначительное количество тепла, аккумулированного в слое, и тем самым понижать количество образующегося водяного газа. Как бы то ни было, сейчас приходится считаться с тем фактом, что способ Winkler'а пока еще не дал удовлетворительного решения проблемы получения водяного газа из некокс ованного бурого угля;

¹ Ср. германский патент 443445, дополнение к германскому патенту 437970.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
3	28 сверху	Travers'a Clark'a	Travers'a и Clark'a
4	31 „	масло	маслом
.	1—2 снизу	Способ Hillebrand'a Pintsch	Способ Hillebrand-Pitsch
11	3 „	возрастет и сбыт кокса.	должен возрастет и сбыт кокса,
17	9 сверху	Loomis-Petti one,	Loomis-Petibone
23	13 „	Gas Improvemen Company	Gas Improvement Company
.	19 „	C emical and	Chemical and
.	19 снизу	(Windgasen,	(Windgasen),
25	4	Способ Simplex ² .	Способ Simplex ³).
.	4 сверху	(в ck-run process),	(back-run process).
.	25 сверху	O-ell'em	O-ell'em
27	под рис. 4	водяного газа	водяного газа с
28	18—19 сверху	Hu preys and Glasg w	Hum phreys and Glasgow
32	19 сверху	Отмеченные O-ell'em...	Отмеченные O-ell'em...
45	17 сверху	...в период прямого и обратного газования.	периодов прямого и обратного газования.
55	14 снизу	Переключение и нагрузка...	Переключение и загрузка...
56	1 сверху	...перегревом пара.	...перегревом пара.
.	1—2 сверху	что водяной з и	что водяной газ и
71	под рис. 17	<i>h</i> — колообразный затвор, <i>i</i> — отход двойного газа,	<i>h</i> — колоколообразный затвор. <i>i</i> — отвод двойного газа
83	16 сверху	CO —	CO ₂ —
86	12 сверху	S ephan...	Stephan...
86	18 снизу	...fur restlose...	...fur restlose...
98	под рис. 29	Разрез...	Разрез...
.	11 снизу	в Aules ury,	в Auslesbury.
101	15—16 снизу	...от закупоривания железными частями и поэтому з грузочное приспособление.....	... от закупоривания, обуслов- ленного железными частями, а поэтому загрузочное приспособ- ление...
.	1 снизу	в среднем. 450 кг.	в среднем 450 кг.
102	между 9 и 10 строками снизу	пропущено подитоживающую линию.	вписать тонкую линию.

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
109	7 снизу	(германский патент 456(8).	(германский патент 451608)
125	22 сверху	...для абрикантов газа...	...для фабрикантов газа...
"	8 снизу	в „Leitfa en...	в „Leitfaden...
126	третья сверху сле- ва надпись к рис. 41	Получение тепла благодаря сушке пара	Получение тепла от сушки паром
133	6 сверху	Кол.	Кал.
141	13 снизу	двойного газа	двойного водяного газа
142	3 снизу	Die Schwellung	Die Schwelung
144	15 снизу	"	"
146	6 снизу	вытяжка	выгрузка
147	1 "	удовлетворила	удовлетворяла
148	6 сверху	генераторного газа	газа газификации
153	8 сверху	образовавшегося	образовавшегося
154	2 снизу	рекуператоры	регенераторы
159	5	та	на
160	1 сверху	астет	растет
170	2 снизу	galczy	galoczy
170	12 "		
181	8 сверху	1 м	1 м ³
183	16 снизу	1300 — 100 — 1200°	1300 — 100 = 1200°
192	5 "	излучени	излучения
196	10 "	100° и 600°	1000° и 600°



ДЕРЖАВНЕ НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ВИДАВНИЦТВО
УКРАЇНИ

ДНТВУ

Харків, Пролетарський майдан 7.

НАДРУКОВАНИ:

Инж. КОТЛЯРОВ, П. Н.

НОВЕЙШИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ

212 стор.

Цена 4 руб.

Книга содержит такие сведения: I. Конденсация газа. II. Переработка смолы. III. Улавливание аммиака. IV. Очистка сточных вод. V. Поглощение аммиака кислотами. VI. Одновременное улавливание аммиака и серо-водорода. VII. Обессеривание газа. VIII. Поглощение бензола из газа. IX. Очистка газа от нафталина и других примесей. X. Осушка газа. XI. Другие возможности утилизации газа.

Книга может служить пособием для инженеров-химиков и техников специалистов по коксо-химии.

ПЕТРОВ, А.

ГАЗОВА АНАЛИЗА

60 стор.

Цена 50 коп.

ЗМІСТ: I розділ. Газова аналіза. А. Загальні відомості. Б. Якісна аналіза газової суміші. В. Аналіза паливних газів Г. Аналіза повітря.

II розділ. Отруйні речовини. А. Загальні відомості. Б. Методика аналізи отруйних речовин. В. Якісні і кількісні явища. Г. Синтези отруйних речовин.

Книжку призначено для інженерів теплотехніків, інженерів техніки безпеки, для лікарів та осіб, що працюють у справі газової боротьби з шкідниками, а також для робітників ТСОавіахему тощо.

УРАЗОВСЬКИЙ

ФІЗИКО-ХЕМІЧНІ ОСНОВИ ПРОТИГАЗОВОГО ЗАХИСТУ

152 стор.

Цена 3 крб.

Книга має такі розділи:

I. Газовий стан. II-III. Адсорбція. IV. Вугілля, як убірник. V. Хемічна адсорбція та хемічні вбірники. VI. Аерозольний стан. VII. Технічні засоби захисту та дегазація.

Книга розрахована на студентів хем. ВТИШ'ів та фахівців.

ПРОДАЖ: по всіх книгарнях книгозбуту ДНТВУ, Укркнигоцентру та Вукопкниги.

Замовлення надсилайте: Харків, Пролетарський майдан, 7 та Київ, вул. Свердлова 2/9, Книгозбуту ДНТВУ.



Г В О З Д Ь

ДВОЙНОЙ ВОДЯНОЙ ГАЗ

Книга Гвоздя „Двойной генераторный газ“ содержит описание различных методов получения водяного газа из топлива и представляет весьма полный обзор устройств этой новой и вместе с тем весьма перспективной отрасли промышленности. Производство это находит применение в теплотехнике, химии, металлургии и бытовой газификации, и значение его будет возрастать.

В советской оригинальной и переводной литературе почти отсутствуют пособия по газовому делу и книга эта будет очень полезна для широкого круга читателей. В частности, она может служить и пособием для ВТУЗОВ.

**Продажа по всем книжным магазинам Книгосбыта ГНТИУ,
Укркнигоцентра и Вукопкниги.**

**ЗАКАЗЫ ВЫСЫЛАЙТЕ: КНИГОСБЫТУ ГНТИУ
ХАРЬКОВ, Пролетарская площадь, 7
и КИЕВ, ул. Свердлова 2/8.**