руб., пер. 1 руб.
ЭТ-15-5-2(3)

Г. Р. Тренклер—Газогенераторы

197

П 175/197

Г. Р. Тренклер

ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ

ОНТИ—Энергоиздат—1933

М 175/197

Die Gaserzeuger

Handbuch der Gaserei mit und ohne Nebenproduktengewinnung

Von

Dipl.-Ing. H. R. Trenkler
Direktor der Deutschen Mondgas- und Nebenprodukten-G. m. b. H.

П 175/197

Инж. Г. Р. Тренклер

ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ

Перевод с немецкого и переработка инж. Н. Н. Лазарева

Допущено Комитетом по высшей технической школе при ЦИК СССР к изданию в 1933 г. в качестве учебника для втузов

Государственное Энергетическое Издательство
Москва 1933 Ленинград

ЭТ-15-5-2(3)

Книга является почти единственным в мировой литературе капитальным трудом по технике полной газификации топлива. В перевод книги редакцией внесены многочисленные дабавления, охватывающие развитие газогенераторной техники до наших дней. Добавлены описания конструкций некоторых советских газогенераторов.

Книга предназначается в качестве учебного руководства для студентов втузов и в качестве пособия для инженеров-проектировщиков и производственников.

33-66691

ТКК № 101 от 27 сентября 1933 г.
Сдано в набор 6 августа 1933 г.
Поступило к печати 24 сентября 1933 г.
Формат бумаги 62 × 94.
Количество печатных листов 27.
Количество печ. знаков в листе 50880.
Уполномоченный Главлита № В 57607. Заказ № 2959. Тираж 5000.

Редактор инж. *П. А. Петров.*
Техредактор *А. Д. Чаров.*
Энергоиздат № 500.

4-я тип. ОНТИ НКТП СССР «Красный Печатник», Ленинград, Международный пр., 75а.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	*Строка*	*Напечатано*	*Должно быть*
20	9 и 12 сверху	горные сланцы	горючие сланцы
29	10 снизу	камольный	каменноугольный
46	10 снизу	CH	C_nH_m
48	8 сверху	стр. 250	стр. 263
50	19 снизу	(стр. 283)	(стр. 294)
55	21 сверху	подменялся	применялся
57	21 »	*кг/кал*	*кал*
60	16 «	20% CO_2	2% CO_2
61	Табл. 14	Примечания: 1. 2.	Примечания: 1. В I—III 2. В IV—VI
63	7 сверху	CO_2	CO
»	10 »	6 320	320
»	17 »	(0,279 —	(1 690 · 0,279 —
64	17—18 снизу	(стр. 49—50)	(стр. 57—59)
76	14 сверху	0,03 · 1 767	0,03 · 0,1767
86	25 снизу	750 *кг*	750 *т*
100	фиг. 10	У точек *A*, *B*, *C* пропущены индексы, соответственно I, II, III	
123	фиг. 24	Клише повернуть на 180°	
128	15 снизу	но разовые	не разовые
167	8 снизу	к шахте	к шихте
185	3 снизу	газа	газера
209	6 сверху	CH	CH_4
226	11 сверху	ограничивающуюся	ограничивающую
228	Табл. 43, 8 сверху	топливом (по калорийности)	топливом
242	17 снизу	далее	дала
276	21 сверху	проводить	привозить
300	Подпись к фиг. 138	азота воздуха	азота топлива
309	Табл. 62, 5 сверху	То же, из 1 *кг*	То же, из 1 *т*
366	Табл. 67 12 сверху	26,5% CO_2	26,5% CO
366	То же, 16 сверху	$K = f - d = 8{,}6$	$k = f - g = 8{,}6$
367	Табл. 68 10 сверху	$f = 99{,}9$	$f = 99{,}0$
382	Табл. 74 10 сверху	1 767 | 137 | 511	1 767 | 2 137 | 2 511
384	6 сверху	веса	газа

Предисловие к русскому изданию

Книга Тренклера до сего времени является почти единственным современным капитальным трудом по технике полной газификации топлива. Острый недостаток в подобных работах в нашей технической литературе привел к необходимости издания настоящего перевода, дающего фундаментальную подготовку технику для работы в газовом цехе или в проектном отделе. Значительные успехи газогенераторного дела за последние годы, прошедшие по выпуске в свет немецкого оригинала работы, сделали необходимыми многочисленные добавления и исправления, внесенные редакцией почти исключительно в виде сносок, чтобы не нарушить технической целостности характеристик автора. Добавления, внесенные в текст, отмечены звездочкой (*). Большое количество добавленных иллюстраций вызвано необходимостью охарактеризовать дальнейшее развитие конструкций, разбираемых Тренклером. Ограниченные возможности объема книги вынуждают редакцию, как правило, давать лишь самые краткие указания на имевшие место технические успехи и изменения, отсылая за подробностями в приводимую специальную литературу.

Мы сочли полезным поместить в виде приложения к книге статью Тау и Шмидт (доклад авторов на мировой энергоконференции, 1930 г.), дающую описания специальных конструкций газогенераторов.

Общий объем редакционных добавлений составляет примерно 7 печатных листов.

Н. Лазарев

Предисловие к немецкому изданию

Газогенераторные установки в соответствии с их техническим характером — специальных вспомогательных устройств — получили уже в технической литературе многократную систематическую обработку, частично весьма глубокую. Несмотря на это, я неоднократно слышал пожелания практических работников, в особенности в течение последних лет, о необходимости издания специального руководства в связи со значительным увеличением числа конструкций газогенераторов. Вопрос об использовании побочных продуктов с течением времени существенно расширил эту отрасль техники, и прежняя специальная непериодическая литература являлась поэтому уже недостаточной. Между тем новейшие журнальные работы в этой области являются в значительной степени противоречивыми.

В связи с этим выявились следующие отправные пункты для проведения новой работы: наибольшая возможная полнота при сохранении достаточно легкой обозреваемости материала и критическая оценка имеющихся многочисленных конструкций.

Инженер-производственник не в состоянии так быстро и точно ориентироваться в специальных конструкциях вспомогательных устройств, как это ему самому представляется часто желательным; к тому же он большею частью знает лишь производственные особенности

своего предприятия. Поэтому я считал наиболее важным придать материалу при обработке максимальную наглядность.

Я применил в этой работе уже ранее данную мною классификацию технических газов, до сего времени вполне сохранившую свою целесообразность. Наряду с этой системой, основанной на химических факторах, мною дана классификация процессов по типам применяемых механических конструкций. Такой группировкой всех процессов по различным характеристикам я надеюсь достичь наиболее легкой обозреваемости материала, что казалось мне необходимым.

Гораздо труднее было выполнить требование полноты, так как нельзя было чрезмерно повышать объем издания и этим, конечно, снижать усвояемость материала.

Работая свыше 17 лет в данной специальной отрасли техники, я смог более или менее легко выделить конструкции, имеющие в настоящее время производственный интерес. Все прочие более старые конструкции были отнесены мною в историческую часть. Каждый работающий в этой области знает, какое множество патентов и конструкций имеется в газовом деле, относительно большей части которых трудно сказать, пойдут ли они на практике далее первого опытного применения. Однако не надо забывать, что этот обширный материал имеет чрезвычайно большую техническую ценность, так как ведь уже доказано, что часто какая-либо старая мысль, в свое время оказавшаяся нежизненной, пускает впоследствии новые корни и ведет к значительнейшим успехам и техническим переворотам.

Стремясь поэтому к наибольшей полноте, я вынужден был, конечно, сильно урезать длительные описания и объяснения, считая, что чертеж какой-либо важной конструкции является сам по себе вполне достаточным для читателя-инженера. Указания на патентную литературу дают возможность каждому читателю без затруднения изучить глубже какой-либо специальный вопрос.

С той же целью — сокращения объема — я объединил описания сходных конструкций, достигая этим возможно большей наглядности материала. Ход изложения отдельных усовершенствований, несмотря на очень часто встречающиеся самые разнообразные формы, мною сохранен по возможности однообразный. Это обеспечивает наиболее правильную критическую оценку или по меньшей мере дает возможность читателю самостоятельно провести такую критику.

Так как работа вызвана потребностями практики, то я наибольшее значение придавал практическим результатам работы отдельных конструкций, правилам эксплоатации и необходимым при правильном надзоре за установкой исследованиям. В отношении первого пункта необходимо было ввести соответствующие ограничения, чтобы иногда не вполне несомненные результаты не могли привести к ложным заключениям. Так как я делаю систематические ссылки на соответствующие специальные работы в технической литературе, то каждый читатель в состоянии проверить правильность взятой мною в том или ином вопросе позиции.

Г. Р. Тренклер

Оглавление

	Стр.
Предисловие к русскому изданию	5
Предисловие к немецкому изданию	—
Введение	9
I. Твердые топлива	
1. Происхождение и залегание	18
2. Химический состав и процессы образования топлив	25
3. Классификация природных топлив и их свойства	32
4. Теплотворная способность топлива	41
5. Поведение топлив при сухой перегонке (дегазация, дестилляция)	46
6. Искусственные топлива	53
II. Химические основы газификации	
1. Общие данные	57
2. Воздушный газ	60
3. Полуводяной газ (полугаз), смешанный газ (генераторный газ)	65
4. Регенеративный газ	76
5. Водяной газ	80
6. Оксигазы	87
7. Нефтяные газы, чистые газы и др.	87
8. Влияние дестилляционных газов на состав. Взаимоотношения процессов	96
III. Технические основы газификации	
1. Топливный слой	102
2. Остатки и их удаление	108
3. Подвод реакционных газов	112
4. Отвод полученного газа	116
5. Подача топлива	120
6. Механическое воздействие на топливный слой	130
IV. Конструкции газогенераторов	
1. Историческое развитие газогенераторостроения	140
2. Описание употребительных конструкций	157
а) Генераторы с плоской решеткой	—
б) Газогенератор со ступенчатой решеткой	162
в) Безрешеточные генераторы	164
г) Генераторы с плавлением золы	167
д) Газогенераторы с дутьевым колпаком и водяным затвором	168
е) Газогенераторы с вращающейся решеткой	172
ж) Газогенератор с автоматическим шурованием	184
з) Газогенераторы для водяного газа, двойного газа, котлогенераторы	192
3. Эксплоатационные характеристики отдельных конструкций и процессов	210
а) Общие указания	
б) Газификация многозольных топлив	220
в) Газификация богатых влагой топлив	225
г) Газификация мелкозернистых топлив	227
д) Газификация бурых углей	234

V. Устройство газогенераторных станций

1. Расположение газогенераторов и вспомогательных устройств 244
2. Хранение и подача топлива 252
3. Золоудаление 256

VI. Очистка газа и получение побочных продуктов

1. Основания очистки газа и главнейшие способы 258
2. Получение смолы, в особенности первичной 263
а) Химические основы . . . . . —
б) Простейшие очистительные устройства 264
в) Установки для получения первичной смолы 266
г) Экономическое значение отбора первичной смолы 286
д) Экономические расчеты 292
3. Получение побочных продуктов, содержащих азот 294
а) Химические основы выделения азота . . . . . —
б) Устройство для получения аммиака 300
в) Газификация для силовых целей с отъемом побочных продуктов . 307
г) Экономика получения аммиака 318
4. Работы по использованию серы топлива 319
5. Дегидратация газа 325

VII. Эксплоатация газогенераторных установок

1. Производственные факторы 327
а) Измерение температур 332
б) Определение точки росы 335
в) Измерение давления 339
г) Измерение количества газа . . . . . —
д) Измерение количества пара 345
е) Определение количества топлива . . . . . —
ж) Аппараты для анализа газа 346
з) Типовые схемы теплотехнического контроля работы газогенераторных установок 350
2. Методика химического исследования 355
а) Твердые топлива . . . . . —
б) Исследование газа 362
3. Составление материального и теплового баланса 373
4. Заключение 383

Приложения:

Тау и Шмидт. Производство и применение силового газа в специальных установках 393
1. Именной указатель 417
2. Именной указатель по дополнительным материалам редакции . . 421
3. Перечень патентов 425
4. Предметный указатель 427

Введение

Газогенераторы представляют собой устройства для полного обращения твердых топлив в горючие газы. Рассматривая это определение, мы находим следующие разграничения с родственными техническими областями и конструкциями. Процесс должен дать только горючие газы, т. е. не только должно быть исключено полное горение, дающее бесценные дымовые газы, но исключаются также процессы, при которых горючие газы получаются в качестве лишь побочных продуктов. Таким образом мы разграничиваем процессы по их целям. С другой стороны, возможно кроме получения газа иметь основной целью также и получение побочных продуктов. Установки для выделения летучих, т. е. коксовальные и полукоксовальные печи (швелевание), не являются газогенераторами. Получение горючих газов из жидких топлив также не является газификацией, хотя аппараты для этого и называются газификаторами, так как по существу здесь в большинстве случаев мы имеем дело только с парообразованием жидких горючих или с их простейшим расщеплением. К этой группе относятся установки для нефтяного газа, а также устройства для карбюрирования горючих газов, сходные по конструкции с газогенераторами.

Остается уточнить в первую очередь вопрос о том, что понимать под термином газификация (Vergasung) в отличие от термина дегазирование (Entgasung) — выделение летучих при нагревании; оба понятия весьма часто применяются в технической литературе не вполне правильно, так как их связывают в одно общее понятие газообразования (газования).

Сухая перегонка (Entgasung) сводится к процессу расщепления легко разложимых частей натурального топлива, происходящему при нагревании его без доступа воздуха (или вернее без доступа кислорода в какой бы то ни было форме). Общим наименованием битумов (отсюда битуминозные угли) обозначают именно те составные части топлив, которые при незначительном нагреве могут быть выделены из топлива — битумы в узком смысле (смолы); на самом деле при этом все же имеет место довольно значительный процесс расщепления, следствием которого является одновременное образование также и газа и водяного пара. Путем соответствующих мероприятий это газообразование может быть усилено — это и является тем рабочим процессом, который применяется в городах для получения светильного и нагревательного газов. Но при этом процессе главная масса содержащегося в топливе углерода с незначительным количеством других веществ и со всей имевшейся зольностью

остается в твердом продукте — коксе, полукоксе и т. д., который не может перейти в газообразную форму даже при существенном повышении температуры без добавления какого-либо газообразного реагента (кислорода или водорода, воздуха или водяного пара).

Последний процесс — полное обращение в газ топлива при подводе воздуха или водяного пара или других газообразных реагентов с оставлением в твердом состоянии одной лишь золы топлива — и называют газификацией (Vergasung). При применении воздуха, а также водяного пара и углекислоты, активной частью является кислород, и обычно именно этот процесс и понимают под газификацией, хотя в качестве реагента в процессе возможно применить также и водород или другие газы; в отдельных случаях вопрос о работе с последними реагентами уже прорабатывается, но технически существенного значения еще не получил [1]. В большинстве случаев при этом образуются жидкие горючие (углеводороды), почему этот процесс и должен рассматриваться как одновременно граничащий и с газификацией, и с процессом сжижения.

Наконец, необходимо рассмотреть также и получение газа не из натурального топлива, а из промежуточных продуктов его термической переработки. Согласно данному выше определению эти процессы не подходят под понятие собственно газификации, хотя и имеют с ней много общего.

Химико-технические основания процесса изложены детально в разделе II. Чтобы, однако, дать предварительное представление о руководящих характеристиках упомянутых выше способов получения газа, мы приводим здесь классификацию технических газов, применяющихся как горючие газы, т. е. для целей нагрева и производства энергии. Наряду с этими техническими газами применяются для упомянутых целей, правда, только в редких случаях, отходящие газы химической промышленности, которые в таком случае чаще всего подводятся под какой-либо из приведенных видов газа, если, конечно, дело не идет о каком-либо более или менее чистом газообразном соединении. Далее, применяются для этих же целей и природные газы; последние также образуются из твердых или жидких топлив и, как правило, являются поэтому сходными с дестилляционными газами. Сюда относятся: собственно естественный газ (глубиннопородный), болотный газ, рудничные газы (гремучий газ), газы сопок и т. д., из которых, впрочем, только первый встречается в больших количествах и поэтому имеет техническое применение.

Технически приготовляемые виды газов могут быть классифицированы, как показано в табл. 1.

Состав важнейших и известнейших видов первых трех групп газов приведен в табл. 2, причем необходимо заметить следующее:

Состав газа колеблется в широких границах в зависимости от характера применяемого топлива, но в общем, как видно из сопоставления, сильные (богатые) газы имеют теплотворную способность около 4 000—7 000 *кал*, полноценные газы—2 000—3 000 *кал* и слабые (бедные) газы — 750—1 500 *кал* (на 1 $м^3$). Прочие две группы не имеют определенных границ, так как их состав в зависимости от типа процесса и вида топлива колеблется весьма широко; их состав поэтому не является характерным для их классификации.

[1] Применение водорода дает возможность получить из твердых топлив весьма ценные жидкие горючие по методу Бергиуса (бергинизация) и др. См. H. Wölbling, Die Hydrie ung der Brennstoffe und ihrer Destillationsprodukte (русский перевод под редакцией и с дополнен. Н. А. Орлова, 1932); I. Bauer, Die Kohlen u. Oelhydrierung, 1932. Ред.

Таблица 1

Классификация технических горючих газов

Группа	Род	Вид
А. Богатые (сильные) газы	а) Швельгаз	—
	б) Коксовый газ	Газ коксовых печей, светильный
Б. Бедные (слабые) газы	а) Воздушный газ	Мартеновский газ, доменный газ,
	б) Генераторный газ (полугаз)	Газ из всасывающего генератора
	в) Паровой газ	Газ Монда
	г) Регенеративный газ	Регенеративный эссенский газ, регенеративный доменный газ
В. Полноценные газы (безбалластные)	а) Водяной газ	Двойной газ по Штрахе
	б) Двойной газ	Тройной газ, газ Лейвас
	в) Кислородный газ	
Г. Нефтяные газы	а) Насыщенный газ	Газ Гинтера, газ Бенца, аэрогеновый газ, блаугаз
	б) Карбюрированные газы	Карбюрированный водяной газ, газ из нефтяной смолы
Д. Чистые газы	—	Ацетилен

А. Сильные (богатые) газы получаются из твердых топлив путем дестилляции (перегонки) без доступа воздуха, вследствие чего они характеризуются отсутствием азота (практически, конечно, очень малым содержанием) и незначительным содержанием кислородных соединений (зависящим только от содержания кислорода в топливе); газы состоят, главным образом, из углеводородов и в зависимости от температуры процесса перегонки из большего или меньшего количества водорода. Можно здесь различать:

а) Швельгазы — получаются при низкой температуре (около 500°), преимущественно состоят из углеводородов [1].

[1] Нагревание угля при более низкой температуре (280—340°, бертинирование) не дает горючего газа; при этом выделяется преимущественно H_2O, CO_2 и H_2S, но топливо (особенно бурые угли) значительно обогащается углеродом («карбоцит»). Ред.

Таблица 2

Средний состав, теплопроизводительность и выходы технических газов

Группа	Род газа	Средний состав (% по объему) CO_2	CO	CH_4	C_nH_m	H_2	N_2	Низшая теплопроизводительность $кал/м^3$	Удельный вес (воздух=1)	Низшая теплопроизводительность $кал/кг$	Выход из каменного угля $м^3/т$	Выход из каменного угля кокса	Теплопроизвод. газа, приходящ. на 1 $кг$ каменн. угля, $кал/кг$
Богатые (сильные) газы	Швельгаз из каменного угля	3	7	48	13	27	2	6 900	0,58	9 100	100	—	700[1]
	Светильный газ	2	8	32	4	51	3	5 000	0,40	9 700	340	—	1 700[1]
	Коксовый газ	2	8	29	4	50	7	4 800	0,42	8 800	320	—	1 550[1]
Полноценные газы	Водяной газ	5	42	0,5	—	49	3	2 600	0,52	3 900	—	1 400	4 250[2]
	Двойной газ	7	28	8	0,6	45	11	2 800	0,56	3 900	1 500	—	4 200
Бедные (слабые) газы	Воздушный газ	5	23	3	0,2	6	62	1 140	0,92	960	4 000	—	4 550
	Доменный газ	8	28	—	—	4	60	950	0,99	750	Побочный продукт		
	Газ из всасывающего генератора	7	22	0,5	—	18	52	1 180	0,33	1 100	—	3 200	4 350[2]
	Генераторный газ	3	28	3	0,2	12	54	1 450	0,86	1 300	3 750	—	5 500
	Газ Монда	16	12	4	0,3	25	43	1 400	0,82	1 325	4 000	—	5 500

[1] При этом главная часть теплотворной способности топлива остается в коксе или полукоксе.
[2] Принимая выход 700 $кг$ кокса из 1 000 $кг$ угля и считая затрату 1 700 $кал/кг$ при этом превращении.

Таблица 2а (Ред.)

Классификация и номенклатура технических газов, принятая Brennkrafttechnische Gesellschaft (Berlin)

(За основу принята классификация Г. Р. Тренклера „Archiv für Wärmewirtschaft", 1923, № 2)

Процесс образования	Группа	Род газа	Теплопроизводительность, $кал/м^3$ (низшая)
Сухая перегонка (дегазация)	1. Швельгазы или первичные газы (до температуры красного каления 450—550°)	Газы полукоксования	3 000—8 000
	2. Дестилляционные газы (выше 550°)	Светильный газ . .	4 000—6 000
		Коксовый газ . .	
Газификация	3. Слабые газы	Доменный газ . .	700— 900
		Генер торный газ .	900 – 1800
		Газ Монда	800—1500
	4. Водяные газы	Коксовый водяной газ	2 500—2 900
		Угольный водяной газ[1] (двойной водяной газ) . .	3 200 – 3 500
Газы из жидких горючих	5. Холодный воздушный газ	Бензиновый газ .	2 000—3 000
		Бензольный газ .	
	6. Крекинговые газы	Нефтяной газ . .	4 000 — 17 000
		Жирный газ . .	
	Сюда же относится блаугаз[2] и др.	Газ Пинча . . .	
Нетехнически получаемые газы	7. Естественные газы (болотный, рудничный, природный)	Метан	8 000 — 9 000 (чистый 8 560)
Газы из негорючих материалов	8. Карбидные газы	Ацетилен	13 500
	9. Безуглеродные газы	Водород	2 580

[1] „Kohlenwassergas" по терминологии „Normenausschuss V. d. J. für Benennung technischer Gase". Ред.

[2] Блаугаз открыт Блау (Blau) в 1905 г. По существу он должен быть отнесен к нефтяным газам, так как готовится из фракции нефти (Gasol) нагреванием в реакторе до 700°; газ собирается в баллоны при 100 *ат* давления, образуя напоминающую бензин жидкость, в каком виде и поступает в продажу (идет для целей нагревания, освещения и технических). 1 *л* жидкого блаугаза дает 400 $м^3$ газа с калорийностью около 15 000 $кал/м^3$. В последнее время стал применяться в газовой форме как топливо для цеппелинов, наполняющих до $^1/_3$ своих баллонов блаугазом. Его надлежит не смешивать с чистым „синим" водяным газом — „Blauwassergas" (горит голубым пламенем), — названным так в отличие от двойного водяного газа (смешанного с продуктами дестилляции). Ред.

б) Коксовые газы — получаются при высоких температурах, поэтому богаты водородом. Отдельные виды этих газов обозначаются по топливам, из которых они получаются, или же по особенностям ведения процесса. Светильный газ является одним из видов этих газов.

Б. Бедные или слабые газы получаются из твердых топлив путем их газификации. Этот процесс идет самостоятельно, без подвода тепла, с подачей воздуха в ограниченном и регулируемом количестве и ведет к образованию окиси углерода и углекислоты из углерода топлива; при этом освобождается часть тепла, которое, если оно не предназначено для других целей или не остается в газе, применяется для разложения специально подводимого водяного пара, чтобы, с одной стороны, обогатить газ сравнительно теплоценным водородом и, с другой стороны, чтобы по возможности понизить потребность в кислороде воздуха (который всегда вносит значительный баласт в виде азота).

Подобный же результат можно получить, примешивая вместо водяного пара углекислоту, которая восстанавливается раскаленным углеродом топлива в окись углерода.

Слабые газы характеризуются значительным содержанием азота (40—60%) и содержат меняющиеся количества окиси углерода, углекислоты и водорода; если исходным материалом является природное топливо (не кокс или другой продукт сухой перегонки), то газ содержит некоторое количество углеводородов (и водорода) дестилляционного газа. Подразделения получаем в соответствии с вышесказанным:

а) Воздушные газы — получаются при подводе одного воздуха, характеризуются высоким физическим теплосодержанием и низким содержанием водорода.

б) Генераторные газы (полугаз, смешанный газ) — получаются при подводе воздуха с небольшим количеством пара (до 600 *г/м*³). Этот термин (полугаз) напоминает о применявшемся ранее термине «полуводяной газ» и характеризует как процесс, так и полученный газ (половина азотного баласта); следует предпочитать простой термин «генераторный газ».

в) Паровые газы — наиболее известным является названный по имени изобретателя газ Монда; получается при подводе с воздушным дутьем большого количества водяного пара (свыше 600 *г/м*³ воздуха) и характеризуется высоким содержанием водорода и углекислоты.

г) Регенеративные газы — получаются при подводе воздуха с углекислотой вместо водяного пара. В большинстве случаев для этого применяются отходящие газы; соответствующий продукт именуется эссенским газом. Так как при этом вносится значительный баласт в виде азота, процесс оказывается недостаточно надежным. Можно рекомендовать его также для обогащения доменных газов и для использования отходящих газов известковых печей и т. п.

В. Полноценные (безбалластные) газы получаются из твердых топлив путем газификации с одним водяным паром и с подводом тепла. Полноценные газы характеризуются отсутствием (почти) азота; горючими составными частями являются преимущественно

окись углерода и водород; если исходным веществом является натуральное топливо, то кроме них присоединяются дестилляционные газы. Последний процесс может рассматриваться уже как соединение процесса получения водяного газа с процессом коксования или полукоксования и дает поэтому более ценный газ, приближающийся уже к сильным газам. Мы можем поэтому здесь различать:

а) Водяные газы — исходным материалом является кокс, углеводороды отсутствуют. Разновидности неизвестны; состав колеблется незначительно, так как аналитическая характеристика исходного вещества и ход процесса являются весьма постоянными.

б) Двойные газы — исходным материалом являются натуральные топлива.

в) Оксигазы — кислородные газы — так именуются газы, получающиеся при применении водяного пара в смеси с возможно более чистым кислородом. Так как при этом отсутствует азотный баласт, то их состав довольно близко подходит к полноценным газам. Так как при одновременном подводе кислорода освобождается значительное количество тепла, то процесс может длиться непрерывно.

С другой стороны, прибавление водяного пара не является совершенно необходимым; однако вследствие высокой температуры реакции, чтобы предупредить зашлаковывание, едва ли можно избежать этого добавления или замены его подводом углекислоты. Последний способ является весьма благодарным методом регенерации высокоценных отходящих газов (например, при химических процессах). Этот метод может найти применение, конечно, только в тех случаях, когда кислород или хотя бы обогащенный им воздух являются побочными продуктами другого процесса; так как получение этого реакционного газа происходит в обособленном процессе, то этот метод можно отнести также и к разделу Д.

Г. Нефтяные газы — добываются из жидких горючих. По процессу получения можно различать:

а) Насыщенные газы — получаются путем газообразования или испарения жидких горючих в потоке воздуха, следовательно, при насыщении его парообразными углеводородами, откуда и название. Сюда относятся так называемый воздушный газ, или газ, Пентера (Pentair), и известные разновидности нефтяного газа прежних родов, как-то: аэрогенный газ, газ Бенуа (Benoid), блаугаз и т. п.

б) Карбюрированные газы — получаются при газообразовании или испарении жидких горючих в потоках других технических газов. Сюда относятся карбюрированный водяной газ многие нефтяные газы прежних видов и смоляные газы (называемые иначе жирными газами). Основным газом является в большинстве водяной газ, но возможно применение, разумеется, и всякого другого технического газа, а также и отходящих газов химико-технических процессов, как, например, окиси углерода и водорода; последний идет в особенности для получения легких газов для воздухоплавания.

Д. Чистые газы («благородные») — получаются путем последующего выделения из других технических газов или же при помощи

дополнительного вводного процесса. Эти способы должны в будущем получить весьма большое значение. Какой-либо более подробной классификации здесь еще невозможно установить. Сюда надлежит отнести газы процессов Эльворти (Elworthy), Сабатье (Sabatier), Бедфорда (Bedford) и др., имеющих основной задачей получение богатого метаном газа. В этот же раздел входит получение газов, богатых окисью углерода или водородом; также удаление углекислоты из технических газов, как, например, проведенное уже для доменных газов и предложенное для газа Монда. С другой стороны, и здесь можно было бы выделить процессы, ведущиеся с обогащенным воздухом или кислородом (например, благодаря примеси водяного пара для получения полноценных газов из твердых топлив), так как обогащение газификационного воздуха или получение кислорода и надо понимать как указанный предварительный процесс.

В качестве последней разновидности газа здесь нужно упомянуть о способе получения газа из искусственных углеродсодержащих веществ, но не из сырого природного топлива или его кокса. Наиболее существенное значение здесь имеет приготовление а ц е т и л е н а.

П р о ц е с с а м и г а з и ф и к а ц и и приходится собственно считать согласно вышесказанному процессы получения слабого газа и полноценного. Эти последние и имеют очень большое применение, так что получение нефтяных газов из жидких горючих, так же как и чистых газов, в значительной степени отошло на второй план; но так как при этих последних способах применяется сходная аппаратура и существуют определенные связи между процессами, то обычно и эти способы считают разновидностями процесса газификации, почему они и должны быть нами вкратце здесь проработаны. Процессы же сухой перегонки выходят из рамок нашего обзора и самое необходимое из этой области будет сообщено лишь при рассмотрении свойств топлива.

Классификация способов получения непосредственно вытекает из классификации технических газов. Но, с другой стороны, при этом имеют значение не только химические процессы, но и технические условия их проведения играют существенную роль. В соответствии с последними мы можем провести подразделение процессов, например, по способу подачи топлива или подвода реакционных газов, по способу удаления остатков или отводу полученного газа, также по назначению самого газа и т. д.

Для целей систематизации самих типов газогенераторов классификация по техническим признакам оказывается частично более целесообразной, чем классификация по химическим процессам; но и здесь существует такое количество различных точек зрения, что какой-либо вполне применимый порядок обзора установить невозможно. Наиболее удачной поэтому оказывается классификация по типам конструкций; решающую роль при этом играет, конечно, техника ведения процесса, в то время как выполнение отдельных конструктивных деталей обычно имеет лишь подчиненное значение. В соответствии с этим проводить строгое разделение только по конструктивным особенностям не имеет достаточного основания; вполне

целесообразно ограничиться данными по историческому развитию и описанием важнейших и типичных конструкций.

В отношении назначения газа ранее пытались провести строгое различие между нагревательными газами и силовыми. С развитием газотехники эта пограничная линия все более стиралась и не имеет сейчас уже никакого права на существование.

Очистка газа для силовых целей и соответственно улавливание при этом побочных продуктов, все более и более применяемые также и для нагревательных газов, являются лишь добавлением к собственно газификационным процессам и поэтому будут прорабатываться совместно. [1]

Из сказанного вытекает очевидная целесообразность такой группировки всего материала, которая дает после освещения характера процесса и проработки применяемых конструкций также и описание вспомогательных устройств и освещение вопросов эксплоатации.

---

[1] Для характеристики сравнительного хозяйственного значения различных технических газов приведем следующие данные потребления горючих газов в Германии (1927 г.):

Наименование газа	Калорийность *кал/м³*	Годовое потребление млн. *м³*	Общая теплоценность млрд. *кал*
Светильный газ	4 200	3 200	13 440
Коксовый газ	3 800	9 500	36 100
Доменный газ	800	45 000	34 000
Генераторный газ	1 200	50 000	60 000

По J. M ü h l e r t und H. D r e w s, Technische Gase, ihre Herstellung und ihre Verwendung, 1928.

Для сравнения приведем данные по стране с богатыми источниками природных газов — САСШ («Statistical Bulletin of Amer Gas Assoc.» № 9, 1931, данные за 1930 г.).

Искусственное получение газа (специальные газовые установки):

Генераторный (водяной) газ	6,05	млрд. *м³*
Светильный газ	1,20	„ „
Коксовый „	1,44	„ „
Нефтяной „	0,54	„ „
Итого . .	9,23	млрд. *м³*

Природные и „отбросные“ газы:

Коксовый газ, отпускаемый коксовыми заводами	3,35	млрд. *м³*
Природные газы и газы нефтезаводов .	3,65	„ „
Итого . .	7,00	млрд. *м³*
Всего .	16,23	„ „

Ред.

I. Твердые топлива

1. Происхождение и залегание

Встречающиеся в природе горючие бывают в твердом, жидком и газообразном состоянии. Твердыми топливами можно назвать отнюдь не все горючие породы (минералами их вообще в подлинном смысле этого слова назвать нельзя), но только те из них, которые происходят из органических веществ и притом встречаются в таких количествах, которые делают возможным использование их в качестве топлива. Горючими камнями и минералами, которые нельзя причислить к топливам, являются, например, янтарь, графит, алмаз, сера и т. д.; также горный воск, асфальт и т. п. не являются топливами, хотя и чрезвычайно к ним близки, так как они органического происхождения. Горючие породы называют каустобиолитами (горюче-жизнекамни) и разделяют согласно Потонье [1] (Potoniè) следующим образом:

а) Сапропелиты, иловые породы, происходящие из скоплений отмерших водных организмов прежних видов как животных, так и растений (водорослей) и их остатков, и характеризующиеся поэтому высоким содержанием продуктов разложения жировых и белковых веществ.

б) Гумусовые угли, происходящие из сухопутных растений и содержащие преимущественно продукты распада целлюлозы.

в) Липтобиолиты, т. е. смоло- и воскоподобные породы, происходящие обычно без разложения или при незначительном разложении из смол и сходных с ними продуктов, вырабатываемых растениями.

Участие животных организмов при образовании твердых топлив далеко уступает роли растений, последние составляют преимущественное основное вещество топлив; поэтому и вообще растительные остатки, в особенности дрова и древесные отходы при переработке древесины на технические цели, являются естественными топливами, точно так же как надлежит считать топливом все торфообразования при условии их высушивания до степени возникновения горючести.

Данное выше разделение каустобиолитов находится в строгом соответствии с процессами, происходящими после отмирания растений и состоящими в основном из следующих четырех процессов: гниение

[1] Potoniè, Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt, 5 Aufl., Berlin, Borngräber, 1910; далее Kukuk, Unsere Kohlen, Teubner, 1913 и Muck, Hinrichsen u. Taczak, Die Chemie der Kohle, 3 Aufl., Leipzig, Engelmann, 1916, стр. 38.

Таблица 3

Стадии углеобразования по Потонье

	Наименование процесса	Содержание O_2	Содержание H_2O	Краткая характеристика процесса	Получающиеся породы		
Процессы, которым подвергаются преимущественно сухопутные и болотные растения	Гниение	При полном доступе O_2	В присутствии влажности	Полное окисление	Горючих С-содержащих продуктов не получается; при известных обстоятельствах в лучшем случае получаются липтобиолиты из смолистых остатков и т. п.		
	Истлевание	При слабом доступе O_2			Твердые соединения, дающие богатые углеродом углеводороды	Гниющий ил	Гумус
	Оторфование	Сначала в присутствии, затем в отсутствии O_2	Сначала в присутствии влажности, затем в подпочвенной H_2O	Обуглероживание (карбонификация		Торф	
				В основном дестилляция восстановление			
Процесс, которому подвергаются преимущественно настоящие водные организмы	Ослизнение (гнилостное брожение)	В отсутствии O_2	В подпочвенной H_2O	Битуминизация	Твердые соединения, дающие более бедные углеродом (более богатые H/углеводороды)	Сапропелиты	

Таблица 3а (Ред.)

Генеалогическая классификация углей

Естественная, так сказать «генеалогическая», классификация ископаемых углей приводит нас к следующей системе (по Renault, Ch. Bertrand, H. Potonie, M. Д. Залесский, M. Stopes, A. Duparque, см. Е. В. Пермякова. Современное состояние вопроса о классификации ископаемых углей, «Изв. ГГРУ», 1930, XIX, № 9):

Образование — из сапропеля (гнилого ила) на дне водоемов при недостатке кислорода.

Образование — гниение морских водорослей на суше (с доступом воздуха).

Образование — из перегнивших и ослизненных растений при затрудненном доступе кислорода в присутствии влаги (торфообразование).

1 Пример: Товарковский уголь.
2 Пример: Чулковский рудник, Московский бассейн.
3 Пример: Черемховский бассейн.
4 Преобладание спор, кутикулы, богаты летучими.
5 Преобладание целлюлозы и лигнина.
6 Ксилен имеет строение древесины.

(Verwesung), истлевание (Vermoderung), оторфование и ослизнение — гнилостное брожение (Fäulnis). Эти процессы сведены для наглядности в табл. 3 (по Муку).

Особенно существенным является так называемый процесс обуглероживания (карбонификации)[1] при истлевании и оторфовании. При этом вследствие присутствия незначительных количеств кислорода происходит длительное выделение газов; что этот процесс имеет место также и в углях, уже рассматриваемых как «готовый» продукт, — доказывает существование рудничного газа и присутствие в углях газообразных составных частей. Мы можем поэтому по существу рассматривать залежи торфа и соответствующие другие сходные образования как исходный материал для образования углей.

Возникновение торфяных болот можно представлять себе примерно следующим образом. В стоячих водах обычно можно видеть зеленые слизистые поверхностные покровы, состоящие из водорослей, частично перешедших в стадию загнивания, и при достаточной толщине опускающихся на дно, увлекая совместно бесчисленные микроорганизмы (планктон). Так возникает гниющий ил, достигающий часто толщины в несколько метров. Обычно в связи с этим, частично и независимо от сего с берега проникает в такие стоячие воды камыш и другие водные растения. Остатки отмирающих растений падают на дно, постепенно обогащающееся таким образом всеми составными частями торфяника. Если процесс длится достаточно, то водоем, как говорят, «слепнет», превращаясь постепенно полностью в торфяник. На такой торфяной почве обычная растительность уже невозможна, здесь поселяются лишь характерные для торфяников растения (сфагнумы, торфяной мох и т. п.), постепенно претерпевающие в свою очередь тот же процесс торфообразования. На переходе между этими двумя слоями часто можно встретить в торфе остатки деревьев, в особенности березы, ольхи и сосны. В соответствии с этим в торфяниках различают обычно следующие слои:

1. Нижний мох из тростника и болотных растений, обычно хорошо разложившийся.
2. Переходной слой с древесными остатками.
3. Верхний мох из сфагнума, торфяного мха и т. п.

Поэтому можно встретить часто чисто низовое болото, но никогда — чисто верховое; последнее всегда образуется на сдавленных слоях низового болота.

Весь этот процесс в своих различных стадиях проходит на наших глазах и в настоящее время. Мы можем его точно проследить, и изучение его легло в основу теории происхождения угля. Если предположить, что образование угля происходило аналогично процессу образования торфа, то мы этим уже отвечаем на вопрос, являются ли пласты угля автохтонными, т. е. свойственными своему ложу, или же наоборот, аллохтонными, т. е. чуждыми ложу, наносными. Для большого числа залежей образование угля из растений на самом месте его расположения установлено, и имевшая ранее много защитников теории образования угля из водных отложений (теория обра-

1 Inkohlung.

зования в дельтах — Файоля, 1887 (Fayol), планктонная теория Фрича, 1889 (Fritsch), также Потонье вначале придерживался этого взгляда, 1908) — может быть принята в соображение лишь для немногих случаев, хотя и для этих последних ее не всегда удается доказать. Часто встречающиеся прослойки глины и других пород вовсе не доказывают обязательно подводного образования угля, и даже если оно и было бы доказано, то оно не явилось бы доказательством обязательности аллохтонии, так же как и часто неправильное расположение, высокая зольность некоторых угольных пластов и отсутствие вертикально стоящих остатков стволов. Необходимо при этом учитывать, что под влиянием давления горных пород и связанного с ним и с происходящими в пласте процессами явления нагревания и других сопутствующих факторов в пласте происходит глубокое изменение угля, но что исходный материал для различных видов угля в соответствии с разнообразными климатическими и местными условиями мог очень сильно меняться и действительно менялся [1]. Однако для всех залежей угля, происходящих не из болот, а из первобытного леса, — является характерным океанский климат — без времен года. Эта часть учения о каменном угле была особенно детально и широко исследована Донатом [2] (Donath), пришедшим при этом к заключению, что бурые и каменные угли, по крайней мере, в части преобладающего количества типов, совершенно различны между собой, так как первые происходят из иного исходного материала, чем вторые, и не могут в них перейти ни в процессе длительного обугливания, ни путем каких-либо контактных метаморфоз. Выводы Доната, может быть, являются несколько чрезмерными, так как для угля с несомненностью установлен следующий характерный ряд превращений именно при контактных метаморфозах, [3] в условиях соприкосновения с позднее вторгнувшимися вулканическими породами (в порядке геологических эпох);

Торф — современные образования.
Лигнит — аллювий, диллювий.
Бурый уголь — третичный период.
Каменный уголь — каменноугольный период (отдельные залежи).

[1] См. по этим вопросам работу проф. Н. А. Орлова и О. А. Радченко, О роли температуры и давления в процессах углеобразования, «Природа» № 2, 1933, дающую критику: а) теории Гроппа и Боде об исключительном влиянии на образование каменного угля факторов, связанных с давлением и температурой, но не с элементом времени (пример — подмосковный уголь, оставшийся на стадии бурого угля с карбонового периода); б) теории Гофмана и Енкнера об основном значении для процесса карбонификации факторов давления (в особенности тектонического, а не гравитационного) и времени (примеры — угли Пенсильвании и Скалистых гор). N. Gropp u. H. Bode, Braunkohle, 1932, № 16, 17, 18. E. Hofmann u. A. Jenkner, Glückauf, 1932, № 4. Ред.

[2] Donath und Lissner, Kohle und Erdöl, Stuttgart, Enke 1920 г. и более старые работы первого автора.

[3] Simmersbach, Kokschemie, 2 Aufl., Berlin, Julius Springer, 1914 (есть русское издание, 1932) и Buchner, Lagerungsverhältnisse und die basaltische Kontaktmetamorphose der Braunkohle des Hohen Westerwaldes, Heidelberg, Winter, 1920.

Антрацит — третичный.
Графит — девон (первозданные породы) [1].

Все-таки можно считать установленным, что исходный материал в различные геологические периоды был существенно различным.

Происходящие при этих превращениях процессы будут подробнее описаны в следующем разделе.

Встречающиеся в природе жидкие горючие именуются нефтями (также петролейным маслом и т. д.). Состав их также колеблется в известных границах, но всегда они представляют собой жидкие углеводороды. Для нефти, так же как и для угля, ранее принималась теория образования из неорганических веществ, получившая окончательную замену лишь после опытов Энглера (Engler) в виде теории [2] Энглера-Гефера (Höfer). Согласно последней нефть в основном произошла из жировых и белковых веществ погибших животных и растений — из последних в особенности жиро- и воскосодержащих; прочие органические составные части подверглись разрушению вследствие гниения. Для образования нефти в зависимости от различных условий давления и температуры были необходимы различные периоды времени. Целлюлоза растений не может образовать нефти. Органические остатки должны быть быстро лишены доступа воздуха, чтобы предотвратить возможность полного перегнивания. Скелеты животных, если они вообще существовали, состоящие в основном из углекислого кальция, были разрушены получающейся при нефтеобразовании углекислотой. Во всяком случае частично наблюдаемые одновременные залегания угля и нефти (что особенно подчер-

[1] Более точное распределение продуктов естественной карбонификации по геологическим формациям (по Штрахе-Лант):

Группа	Формация		Продукты
Неозой	Алювий, Диллювий	Четвертичный период	Торф
	Плиоцен, Миоцен, Олигоцен, Эоцен, Палеоцен	Третичный период	Бурый уголь
Мезозой	Мел, Юра, Триас		Каменный уголь (битумит, по Ашлею)
Палеозой	Пермь, Карбон		Антрацит
	Девон, Силур, Кембрий		Графит

Ред.

[2] Engler-Höfer, Das Erdöl, Bd. 5, Leipzig, Hirzel, 1909.

кивается и совершенно неправильно, пенсильванской школой) не находятся между собой ни в какой связи. В качестве доказательства можно привести чрезвычайную редкость нахождения нефти — даже следов — в угольных пластах. Часто обнаруживаемые в угольных пластах, правда, в незначительных количествах, воскообразные вещества, как горное сало, гатшетин, асфальт и т. п., представляют собой «выпотевания» воскообразных составных частей угля.

Образовавшиеся нефтяные залежи претерпевали при геологических переворотах значительные изменения своего залегания, так что мы часто находим теперь присутствие нефти в таких слоях, в которых ее образование, несомненно, не могло иметь место; в особенности часто мы находим нефть в легко проницаемых горизонтах различных песков, мела, известняка и т. п., обычно под водоупорными, следовательно, в известной мере замыкающими пласт слоями. Часто можно найти нефтяные залежи именно между такими слоями и тогда наблюдается выбрасывание нефти под большим давлением из буровых скважин. Образование жидких топлив оказывается в некоторой степени аналогичным с образованием гнилоилистых пород; к последним мы причисляем поэтому в первую очередь так называемые битуминозные породы, как различные горючие сланцы, смолистый известняк и др.; другой вид битуминозных пород представляют породы, получившиеся вследствие внедрения нефти в ту или иную породу.

Во всяком случае в связи с теорией Энглера-Гефера можно принять, что в образовании угля частично участвовали и животные организмы [1].

Газообразные природные топлива всегда находятся в связи с залежами твердых или жидких горючих. Это те газы, которые выделяются в результате различных упомянутых выше процессов. При твердых топливах выходы газов можно установить лишь в незначительных размерах, так как слои угля являются газопроницаемыми, и газы, по всей вероятности, поэтому улетучиваются. Доказательством же их образования является присутствие болотного газа в торфяниках, рудничный газ и т. п., состоящие всегда преимущественно из метана (CH_4). При жидких топливах чаще наблюдается выделение больших количеств газов, причем последние встречаются не только вместе с жидкими горючими, но часто встречаются уже в более высоких горизонтах, даже пространственно сдвинутых, и находятся обычно, как и жидкие топлива, под большими давлениями. Почти всегда поэтому природные газы вырываются из буровых с большой силой, но зато быстро и истощаются.

[1] Органическая теория Энглера не может еще считаться в настоящее время исключающей прочие теории происхождения нефти, в том числе и минеральные (взгляды Муассана, Сабатье, Рамзая, Ф. Фишера, Менделеева); наиболее вероятно, что мы вообще не получим унитарной теории образования нефти и битумов, так как условия природы дают достаточные возможности к различнейшим процессам нефтеобразования. В последнее время Гакфорд (Hackford) в соответствии с результатами своих работ над кислотным гидролизом углеводов развил новую углеводную теорию происхождения нефти — из углеводов морских водорослей (Chemical News № 3745—3750, 1932). Ред.

2. Химический состав и процессы образования топлив [1]

В соответствии с образованием из растительных веществ, природные топлива состоят, главным образом, из углерода (C), водорода (H_2) и кислорода (O_2); но наряду с ними присутствуют и азот (N_2) и неорганические соли, содержащие обычно серу (S) и образующие золу; далее, значительное содержание влаги в растениях приводит (даже при образовании угля без доступа влаги) к остаточной влажности получающегося топлива.

Из всех этих тел C и H_2 являются ценными теплообразующими составными частями. Чем больше содержание этих обоих элементов, чем чище их соединение, как, например, в виде углеводородов жидких топлив, тем более ценным является топливо. В твердых топливах перевес берет C, углеводороды содержатся лишь в той части, которая уже при незначительном нагревании отщепляется (дегазация — сухая перегонка), причем именно и образуются газообразные и жидкие углеводороды. Все остальные составные части могут быть названы баластными веществами, хотя по своему влиянию они несколько различны. Кислород — O_2 всегда является как в твердых, так и в жидких естественных топливах спутником C и H_2. Его процентное содержание для более древних видов как твердых, так и жидких горючих несколько ниже, из чего вообще можно заключить, что связь O_2 является сравнительно слабой. Действительно, он освобождается уже при самом начале нагревания, частично в соединении с C, частично с H_2. Продуктами являются CO, CO_2 и H_2O, следовательно, газы или пары. Поэтому влияние O с точки зрения газификации является нежелательным и тем в большей степени, чем значительнее образование двух последних веществ. Образование CO, конечно, не является минусом ни при сухой перегонке, ни при газификации, так как CO является горючим газом. При сжигании это приходится рассматривать иначе; в этом случае CO является лишь переходной стадией, поэтому здесь безразлично, образуются ли при нагревании CO, CO_2 или H_2O. О влиянии содержания O_2 при определении теплопроизводительности будет сказано далее.

Азот N_2 встречается в незначительных количествах во всех растениях. Особенно много азота именно в болотных растениях. Так как топлива в общем имеют существенно большее содержание азота, чем живущие растения, то теория превращения, о которой мы еще будем говорить дальше, оказывается весьма вероятной. Но как раз колебания в содержании азота и показывают, что топлива происходили из различных исходных веществ и что они проделали различные пути разложения. Азот, несомненно, связан, так же как и кислород, с основным веществом топлива — углеродом и водородом. Часть азота отщепляется уже при умеренном нагревании в виде аммиака, в то время как большая часть азота вступает при этом в более прочное соединение с углеродом, после чего удаление ее может произойти

[1] Подробное см. проф. Г. Л. Стадников, Химия угля, 1933, 2-е изд.; Штрахе-Лант, Химия угля, 1931; Dr. Walter Fuchs, Die Chemie der Kohle, 1930 и др. Ред.

лишь при полном разрушении вещества угля. При высоких температурах, имеющих место в этом процессе, азот выделяется в виде элемента, если не применить специальных искусственных условий. В газе он является баластом. Образование же аммиака как при дестилляции, так и при газификации является основой так называемого получения побочных продуктов.

Сера — S — в топливах частично связана органически, частично — в виде пиритов и частично — в зольных соединениях (сульфаты). Органические соединения серы в топливе объясняются не только более высоким содержанием серы в углеобразующих растениях [1], но возможно также, что при восстановительных процессах сульфаты почвенных вод перешли частично в сернистые соединения имевшихся металлов, а частично — и в органические соединения, встречающиеся в угольном веществе. Во всяком случае этим процессом приходится объяснить обязательное содержание в угольных пластах пиритной серы, достигающее иногда чрезвычайно высоких размеров [2].

По сравнению с органической и пиритной (колчеданной) серой — сульфатная сера зольных остатков имеет лишь подчиненное значение. При нагревании топлив часть серы уходит в летучей форме; это и есть преимущественно органическая сера, уходящая, главным образом, в виде сероводорода.

Под влиянием образующегося водяного пара часть колчеданной серы также переходит в летучие соединения, с образованием как сероводорода, так и сернистого ангидрида; последний, правда, количественно значительно уступает первому. Значительная часть колчеданной серы остается в коксе, но при гашении последнего выделяет снова сероводород. Иначе ведет себя колчеданная сера при газификации или сжигании, когда имеется достаточный приток кислорода. В этом случае вместе с сероводородом образуются и значительные количества сернистого ангидрида; при этом колчеданная сера в особенности неприятна еще тем, что пирит очень легкоплавок и оплавляет остатки, образуя чрезвычайно твердые шлаковые камни; часто можно встретить в этих случаях как бы покрытые эмалью куски шлака, вероятно, покрытые расплавленным пиритом, сера которого при действии водяного пара улетучилась. По всем этим причинам сера в топливе является весьма неприятным гостем и обычно поэтому предпочитают топлива, имеющие возможно низкое содержание серы.

Самыми существенными и обычно присутствующими в значительных количествах баластными веществами топлива являются зола и влажность. Уже одно их присутствие значительно понижает ценность угля, что, впрочем, они делают еще сильнее вследствие следующих обстоятельств.

Зола остается в очаговых остатках и требует поэтому особых предосторожностей для предотвращения зашлакования и потери вместе с золой части ценного топлива. Чем выше содержание золы, тем

[1] Simmersbach, Kokschemie, 2 Aufl., стр. 262, по Dieulafaits.

[2] Ср. Gesammelte Abhandlungen Zur Kenntnis der Kohle, т. 3, № 8 (также F. Mühlert, Der Kohlenschwefel, 1930. Есть русский перевод под редакцией проф. Н. М. Караваева, 1932 г. Ред.).

значительнее распыление ценных составных частей топлива, что затрудняет химические процессы и может даже сделать их вообще невозможными. Баластная влажность должна быть удалена всегда в виде пара, это требует затраты тепла, которое иначе могло бы быть использовано для других целей. Если эти снижения качества топлива необходимо принять во внимание при определении теплоценности топлива, то при газификации они имеют специальное и весьма существенное влияние, как это будет далее изложено.

На основании сказанного ясно, что при оценке топлива решающими являются именно баластные вещества, в то время как для характеристики топлива имеет значение только состав чистого вещества угля — горючей части, т. е. углерод, H_2, O_2 и азот. Для того чтобы сделать это достаточно наглядным, мы свели в табл. 4 по возможности самые различные топлива. Обычно относят данные анализа к рабочему топливу, но делают это и к горючей массе, чтобы получить сравнимые значения для определения ценности топлива. Но действительную непосредственную оценку по этим данным все же провести очень трудно, и Фердинанд Фишер [1] (Ferdinand Fischer) предложил поэтому давать цифровые характеристики топлив, определяя содержание H_2 и O_2 по числу атомов, приходящихся на известное количество атомов С. Этот способ дает, несомненно, ценные результаты. Для упрощения расчетов и для получения таких величин, которые могли бы служить не только для аналитических и технических вычислений, но и для характеристики топлива, рекомендуется поэтому все данные анализа относить на 1 *кг* С (С = 1 000), как это сделано в табл. 4.

Эти цифры ясно показывают снижение содержания H_2 и O_2 с геологическим возрастом топлива. Особенно характерны они также для баластных веществ, так что этим путем можно получить действительную количественную оценку ценности топлива.

Один взгляд на таблицу делает ясным характер изменения топлив с их возрастом. Если, правда, отдельные исследователи, как это уже было указано, оспаривают возможность непосредственного превращения бурого угля в каменный, то все-таки едва ли можно оставлять под вопросом процессы превращения торфа в бурый уголь, с одной стороны, и каменного угля в антрацит и далее графит, — с другой. Предложенная впервые Берольдингеном [2] (Beroldingen) общая теория превращения в настоящее время получила существенную поддержку и совершенно новое освещение новыми исследованиями, в особенности выполненными Институтом для исследования топлив в Мюльгейме на Руре. Развитая проф. Францем Фишером (Franz Fischer) и докт. Гансом Шрадером (Hans Schrader) теория [3] представлена на фиг. 1 в виде генеалогического дерева, и в основном заключается в том, что не целлюлоза является исходным материалом при образовании угля, а лигнин растений. При торфообразовании из растительных остатков прежде всего изменяется цел-

[1] Fischer, Kraftgas, 2. Aufl., S. 27.

[2] Franz Beroldingen, Betrachtungen, Zweifel und Fragen die Mineralogie betreffend, Hannover, 1778.

[3] Brennstoffschemie, 1921, стр. 37 и 213, 1922, вып. 5.

Таблица 4

Состав различных топлив

	Топливо	Содержание на рабочее топливо				Элементарный анализ					На 100 частей C приходится		
		H_2O	Зола	Летучие вещества	C	Состояние	C	H_2	N_2	O_2	H_2	O_2	H_2O
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Дерево	воздушно-сухая ель	15—25	0,1—0,8	45—55	17—25	Горючая масса	50,46	6,71	0,65	42,28	133	836	300—500
	воздушно-сухой дуб	—	—	—	—	»	50,0	5,9	0,1	44,0	118	880	—
Торф	молодой волокнистый	—	—	—		Горючая масса	49,9	6,5	1,2	42,4	130	850	—
	ручной выделки воздушно-сухой	18—33	2,0—10,0	33—40	28—35	»	—	—	—	—	—	—	350—600
	старый машинный, хорошо разложившийся	—	—	—	—	»	63,9	6,5	1,7	27,9	102	437	—
Бурые угли	лигниты	33—45	3—15	22—30	20—28	Горючая масса	64,2	5,9	—	29,9	92	466	800—1 500
	землистые (Шпандорф)	55—60	3—12	20—25	17—21	Рабочее топливо	31,52	2,62	0,25	13,22	83	419	1 700—2 000
	» (рейнские)	52—56	2—6	18—24	19—23	»	31,80	2,16	0,30	12,13	68	381	1 600—1 800
	» (среднегерманские)	48—53	4—8	20—24	19—24	»	26,77	1,95	0,27	9,05	73	337	1 500—1 900
	мокро-прессованные брикеты	15—30	8—18	35—40	30—36	»	44,35	3,40	0,31	19,43	77	438	300—700
	брикеты (Верхний Лаузиц)	12—17	4—15	41—45	35—42	»	54,4	4,3	0,4	23,6	79	434	200—350
	богемские (открытой разработки)	28—35	5—15	27—32	28—33	»	42,08	3,79	0,67	11,89	90	282	600—900
	» (шахтной разработки)	22—26	3—12	32—37	32—36	»	52,6	4,30	0,95	15,05	82	286	400—600
	богемский смолистый уголь	10—14	5—8	34—40	40—48	Горючая масса	75,6	5,4	0,7	18,3	71	242	120—200
	альпийский блестящий уголь	7—15	7—18	32—38	38—45	Рабочее топливо	61,55	4,78	0,90	17,11	78	278	100—200
Каменные угли	пламенный уголь (саарский)	1—4	—	35—44	45—55	Горючая масса	84,9	5,3	0,6	9,2	62	108	—
	» (верхнесилезский)	—	—	—	—	»	82,6	5,0	1,0	11,4	61	138	—
	газовый уголь (саарский)	—	—	32—38	48—60	»	85,1	5,5	1,3	8,1	64	94	—
	» (вестфальский)	Мытые	—	—	—	»	85,9	5,5	1,6	7,0	64	81	20—100
	коксующийся уголь (нижнесилезский)	»	3—12	24—30	60—75	»	85,0	4,9	1,1	9,0	58	106	—
	» (вестфальский)	»	—	—	—	»	88,7	5,0	1,2	5,1	56	58	—
	тощий уголь (кузнечный)	3—8	—	15—22	—	»	91,4	4,6	1,0	3,1	50	34	—
Антрацит (лизбергский)		1—3	3—15	4—8	85—9	Горючая масса	95,3	1,9	0,5	2,3	20	24	20—40
Искусственные полимеры остатки	древесный уголь	—	—	—	—	Горючая масса	84,0	2,7	0,4	12,9	32	153	—
	торфяной кокс	—	—	—	—	»	90,9	2,1	1,3	5,7	23	63	—
	бурогольный кокс	1—10	6—15	—	—	»	94,5	2,5	0,5	2,4	26	25	20—100
	каумазит из богемского бурого угля	—	—	—	—	»	95,2	0,3	0,9	3,1	3	33	—
	газовый кокс	—	—	—	—	Рабочее топливо	86,94	0,62	0,95	0,85	7	10	—
	металлургический кокс	—	—	—	—	»	88,39	0,51	0,9	0,90	6	8	—

Примечание. Основные топлива СССР по относительному содержанию H_2 и O_2 примерно укладываются в группы, приводимые Фердинандом Фишером. Основные характеристики важнейших марок топлив всех стран приведены в „Technical Data on Fuel", 3-е изд. British National Committee, World Power Conference, стр. 302, табл. 210, 1932. Р е д.

Фиг. 1. Образование угля по Фишеру и Шрадеру.

люлоза — в результате деятельности бактерий она полностью перерабатывается и исчезает, переходя в углекислоту и воду. Этот процесс является идентичным с процессом истлевания дерева, что может быть показано при помощи характерной для лигнина метоксильной реакции, дающей действительно в обоих случаях отсутствие целлюлозы. Дальнейшее обращение торфа в бурый и каменный уголь должно заключаться в том, что при омылении получается фенолообразное вещество, представляющее не что иное, как гуминовую ки-

слоту. Из последней при полимеризации, вероятно, с выделением воды или путем окисления, получается нерастворимое в щелочах гумусовое вещество, так называемый гумин, переходящий в дальнейшем при отщеплении воды, углекислоты и метана, т. е. путем процесса обуглероживания [1], в бурый и каменный уголь, однако, с сохранением бензольного строения лигнина. Для доказательства правильности этой теории были уже проведены многочисленные исследования; она находится в теснейшем соответствии с воззрениями Потонье, разделяемыми большинством геологов и естествоиспытателей. Еще нет прочной доказанности только в отношении последнего члена ряда, хотя теория и в этом пункте является весьма вероятной, если принять во внимание являющееся чрезвычайно существенным различие исходного материала. Сходная теория предлагалась уже несколько ранее Маркуссоном [2] (Marcusson), выводящим образование отдельных членов ряда несколько иначе и даже вообще не принимающим за исходное вещество лигнин, но предполагающим также образование гуминовой кислоты и ее последующую полимеризацию в уголь. Он также характеризует уголь, так же как Уилер [3] и другие исследователи, как смесь двух главных составных частей, происходящих, с одной стороны, из смолистых, жировых и воскообразных веществ первоначального материала, и с другой стороны, из целлюлозы (по Фишеру и Шрадеру — из лигнина). Что именно продукты распада первой группы веществ обусловливают существенные различия получающихся сортов угля, например, различную спекаемость (коксующую способность), — это еще не является достаточно выясненным и подлежит освещению дальнейшими более глубокими исследованиями. Можно принять, что эти дальнейшие превращения происходят в условиях значительного давления горных пород и при повышенных температурах, вызывающих частичную дестилляцию вещества и полное его смятие. Микроструктура старых углей и их характерный раковистый излом, а также часто встречающийся стеклянный блеск их делают подобное объяснение чрезвычайно правдоподобным [4]. Именно на основе своих обширных исследований в области выявления причин спекаемости Донат пришел к своим выводам о процессах углеобразования (см. также стр. 22). Он нашел, что все углеводороды дают весьма рыхлый остаток, воски и парафины почти не дают остатка или дают совершенно незначительный сажеподобный остаток, и только белковые вещества образуют кóксовидный остаток;

[1] «Углефикации» — по терминологии Ю. А. Жемчужникова. Ред.

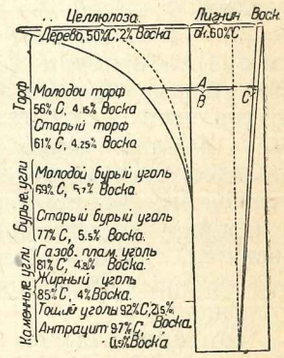
[2] Marcusson, Zur Kenntnis der Huminsäure «Z. f. a. Ch.», 1918, стр. 237; Erdöl und Steinkohle, «Z. f. a. Ch.», 1918, стр. 437; Asphalt und Kohle, «Z. f. a. Ch.», 1919, стр. 113.

[3] Wheeler, Die Zusammensetzung der Kohle, «J. Soc. Chem. Ind.», 1917, стр. 5 и 38 и др. раб.

[4] В цитированной выше работе проф. Н. А. Орлова и О. А. Радченко авторы, исходя из работы Гофмана и Енкнера по определению степени карбонификации в зависимости от отражательной способности угля, настаивают на необходимости расширения физических методов исследования угля, указывая на интереснейшие данные рентгенографии углей, приведшей к установлению для них тех же основных группировок атомов, что и для графита (конденсированные кольчатые системы типа пирена, бензофенантрена, коронена). Ред.

подобно последним ведут себя ароматические и каучуковые смолы, а также асфальт и пек. Поэтому для каменных углей он принимает первоначальным материалом жидкие соединения, возникшие из исходных тел при действии тепла и процесса дестилляции. Эти гидроароматические соединения затем с течением времени все более и более полимеризуются и при этом отвердевают [1].

Все эти наблюдения и исследования в основном нисколько не противоречат теории превращения и поэтому Фишер с полным правом применяет для сравнения старых углей характеристику их поведения при операциях, родственных описанным выше процессам, а именно при дестилляции при низких температурах и при окислении под давлением [2]. Экстрагируемый воск торфа, а также и бурого угля содержит монтановую кислоту, которая при осторожной дестилляции переходит в углеводород парафинового ряда, с 27 атомами С; первичный деготь из каменного угля также содержит твердый парафин с C_{27}. В соответствии с этими фактами Фишер предлагает представленную на фиг. 2 схему развивающегося процесса превращения [3].



Фиг. 2. Схема процессов углеобразования по Фишеру и Шредеру.

Новые взгляды Фишера и Шрадера на образование угля не остались, конечно, никем не оспариваемыми. Возражения [4] по поводу химического состава оказываются в общем и целом не столь существенными, тем более, что речь идет о гипотезе образования, которая еще не является полно проработанной во всех своих частях; представляется достаточно вероятным, что частично придется отступить от положения о различном составе исходного вещества и соответствующем процессе образования. Но достойным упоминания является возражение точки зрения геологии именно Р. Потонье [5], указавшего на основании тщательного изучения тонких шлифов, что анатомическое строение растений, из которых произошел уголь, оказывается еще вполне сохранившимся. Поэтому представляется невероятным, что соответствующие огромные массы целлюлозы, — которая ведь является главной составной частью живого растения, могли исчезнуть от одного действия бактерий. Он также указывает на хорошо сохранившиеся остатки целлюлозы в различных лигнитах и считает поэтому теорию образования угля из лигнина геолого-палеонтологической невозможностью. К этому необходимо добавить: процессу соб-

[1] См. Pictet и Ramseyer, цитированные у Доната и Лисснера, стр. 14.

[2] См. «Gesammelte Abhandlungen dur Kenntnis der Kohle», т. 1 — 4.

[3] Fischer, Was lehrt die Chemie über die Entstehung und die chemische Struktur der Kohle. «Die Naturwissenschaften», 1921, вып. 47.

[4] «Br.-Ch.» т. 2, стр. 213 и 298.

[5] «Braunkohle», 1922, стр. 365. Интересные данные об углеобразовании и деятельности бактерий см. в докладе Фишера на III Всемирной конференции по битуминозным углям в Питтсбурге, «Труды конференции». Ред.

ственно образования угля (обуглероживания) предшествует всегда истлевание и гниение. Несомненно, что при этих процессах огромные массы целлюлозы могут исчезать. С другой стороны, существует возможность, что остатки умерших растений попадали в слои, находившиеся под водой, и поэтому последние кроме образовавшегося из лигнина угля содержат остатки растений, превратившиеся в уголь иным путем и содержащие целлюлозу. Возражения Р. Потонье являются поэтому несущественными и, конечно, на основании геологических и палеонтологических путей нам не удастся никогда дать законченной теории по углеобразованию. Классификация ископаемых топлив, предложенная его отцом, как раз придает особое значение именно химическим факторам и хорошо согласуется с новейшими воззрениями Фишера и Шрадера. С исследованиями Доната и Маркуссона эти новые взгляды также вполне увязываются, получая в этих работах весьма ценное дополнение. Но особенно важным является следующее обстоятельство. Дело в том, что ни природа целлюлозы, ни природа лигнина не являются еще вполне разъясненными и представляется весьма возможным, что как при развитии растения, так и при его умирании имеют место процессы, в результате которых целлюлоза, по крайней мере частично, превращается в лигнин [1].

Это позволило бы дать гораздо более широкую базу лигниновой теории, дало бы удовлетворительное объяснение фактам образования мощных пластов, являющимся одним из трудных моментов при принятии полного уничтожения целлюлозы [2].

3. Классификация природных топлив и их свойства

Выше мы уже установили два основания для методики классификации природных топлив; но оба они требуют, с одной стороны, особых геологических обозначений и, с другой стороны, — предварительного химического исследования угля. Обычно, впрочем, оказывается достаточным и внешний вид топлива. Не говоря уже о торфе и дровах, вполне характеризующихся своими внешними отли-

[1] Marcusson, «Z. f. a. Ch.», 1923, стр. 165.

[2] В последующих работах Маркуссон определенно приписывает главную роль в углеобразовании оксицеллюлозе: см. «Z. f. a. Ch.», 1927, стр. 1103, 1234; Н. М. Караваев и И. Б. Рапопорт, Химические теории происхождения угля, «Изв. Теплотехн. ин-та» № 9/32, 1927.

В своем подытоживающем дискуссию докладе на III Международном конгрессе в Питтсбурге (1931 г.) Э. Террес признал основной образующей уголь растительной материей лигнин и, может быть, продукты распада целлюлозы, также воски и смолы и, наконец, продукты распада белка (последние являются главной основой битумов угля). См. «Beitrag. zum. Ursprung. von Kohle und Petroleum». «Br. Ch.» № 3, 1932. Интересные опыты получения каменного угля искусственным путем из целлюлозы, лигнина и древесины были проделаны Бейлем (см. E. Beil, A. Schmidt u. H. Koch, О происхождении угля, «Z. f. a. Ch.» т. 43, 1930, стр. 1018); уголь получался при нагревании упомянутых веществ с водой под давлением и при температуре до 350°; при этом уголь из целлюлозы в случае слабо щелочной реакции получается со спекающей способностью и дает кокс; лигнин ни при каких условиях не дает спекающихся углей. Ред.

чиями, легко могут быть также зафиксированы отличия бурых углей от каменных. Но объем этих категорий необходимо изменить, так как исследователи под термином «бурый уголь» понимают не только угли бурого цвета [1] и с бурой чертой, но также и те, которые при кипячении с едкими щелочами окрашивают жидкость в интенсивный желто-бурый цвет (в противном случае — жидкость остается бесцветной или слабо зеленоватой). Эта проба является необходимой, так как часто мы встречаем совершенно черные, блестящие угли, которые по их геологическому возрасту никак не могут быть каменными углями и которые действительно при описанном испытании дают бурые растворы.

Другой характеристикой угля является блеск, меняющийся в широких пределах от полного отсутствия блеска до светлого стеклянного. Обычно блеск является при классификации углей весьма характерным свойством. Но в большинстве случаев при этом применяют характер структуры топлива, как и показано в нижеприведенных классификациях.

Таблица 5

Виды торфа по Гаусу

	Вид	Залегание	Степень разложения	Цвет	Относительный удельный вес
1	Моховой, или волокнистый, торф	Молодые слои	Незначительное	Светлый	Легкий
2	Болотный, или разложившийся, торф	Глубокие слои	Хорошее	Коричневый	Тяжелый
3	Смолистый торф	Еще более глубокие слои	Глубокое	Темнокоричневый	Очень тяжелый
4	Печеночный торф	Самые нижние слои	Весьма глубокое	Смолисто-блестящий	Самый тяжелый

Торф. Наглядное сопоставление видов торфа по Гаусу [2] дает табл. 5. Строение растительных остатков может быть установлено еще в моховом (волокнистом) торфе и болотном (разложившемся) торфе. Более древние сорта торфа представляют собой совершенно изменившиеся аморфные массы. Во многих слоях встречаются остатки деревьев, большей частью главнейшие корневые элементы, сохранившиеся от разложения вследствие отсутствия воды, в то время как стволы при этом процессе разрушаются полностью. Во

[1] Часто и угли бурого цвета вовсе не являются «бурыми углями». Так, Шюринг не считает подмосковные угли «бурыми» ввиду их резкого отличия от германских бурых углей. См. «Изв. Теплотехн. ин-та» № 9/32, 1927, стр. 4. Ред.

[2] Haus, Rationeller Kohleneinkauf, стр. 15; Фрейберг, Грац и Герлах, 1913. (Новейшие классификации торфов и бурых углей см. у Fuchs, Chemie der Kohlen, и у Стадникова. Ред.)

Таблица 6

Виды бурых углей по Клейну [1]

	Вид	Цвет	Строение	Излом	Примечание
	I. Гумусовые угли				
1	Древоподобный бурый уголь-лигнит	Желтовато-бурый до черного	Ясно древообразный	Древообразный	Содержит часто включения землистого и даже смолистого или блестящего угля
2	Обычный бурый уголь	Светло- до черно-бурого	Плотный со следами древесной структуры	Плотный до землистого	Разновидности: швелевальный уголь, смолистый „, формовочный „, умбра-кельнская
3	Землистый бурый уголь	Темно- до черновато-бурого, буро-красный, несколько выцветающий	Землистый, спекшийся, аморфный, рассыпающийся, без растительной структуры	Пылевидный матовый	
4	Смолистый, или блестящий, уголь	Черно-бурый до смолисто-черного	Твердый	Раковистый	—
	II. Гнилоилистые (сапропелевые)				
1	Листоватый уголь [2]	Темно-блестящий	Тонкие пластинки, лежащие одна на другой	Листоватый	—
2	Болотный уголь	Черновато-бурый до черного	Плотный, рассекавшийся	Плоский, слегка блестящий до слабого жирного блеска	Широко распространен
3	Бумаговидный уголь	Серый, желтоватый, светло- до темно-бурого	То же	—	—
4	Гагат (джет)	Бархатно- до смолисто-черного	Плотный, твердый, способный к полировке	Раковистый с восковатым блеском	—

[1] Handbuch für den Deutschen Braunkohlenbergbau Bd. 1 des Werkes, „Die Deutsche Braunkohlenindustrie“, Галле, Кнапп.
[2] Пример — барзасские сапропелиты. Ред.

многих торфяных болотах эти остатки деревьев пропитываются водой и этим предотвращается их разложение, как, например, это можно установить по остаткам римских деревянных дорог (гатей) в торфяных болотах на Дюммерзее (Dummersee, — битва в Тевтобургском лесу, 9 год нашей эры). Подобное же сохранение коренных штоков наблюдалось также в залежах бурого угля в Нидерлаузиц, хотя последние гораздо старше.

Бурые угли. Эти топлива возникли в большинстве случаев из торфяников, преимущественно заросших первобытным лесом. Для многочисленных сортов этого рода топлива Клейн (Klein) предложил классификацию, представленную на табл. 6, причем он строго различает гумусовые угли от сапропелевых (гнилоилистных, болотных сапропелитов), тогда как в действительности существует много переходных видов. В качестве особых разновидностей выделены богатые воском сорта, являющиеся в большинстве случаев землистыми бурыми углями, обогащенными соответствующими составными частями. Сюда относятся швелевальные и смолистые угли; наиболее характерную форму первых, — светлобурый и еще более светлеющий на воздухе пирописсит — можно считать типичным липтобиолитом.

Каменные угли. Здесь различают блестящие угли (Glanzkohle), матовые угли (Mattkohle), волокнистые угли [1] (Faserkohle) и сланцы. Первые обладают глубоко-черным цветом, живым стеклянным блеском, обычно значительной хрупкостью и ясно выраженной спайностью в направлении, перпендикулярном поверхности пласта. Особыми разновидностями являются так называемые кольчатый уголь и затем сланцеватый с листоватой раздельностью, обычно кривослойной, вид, встречающийся между жирными углями. Антрацит является блестящим углем, отклоняющимся лишь в отношении своего химического состава.

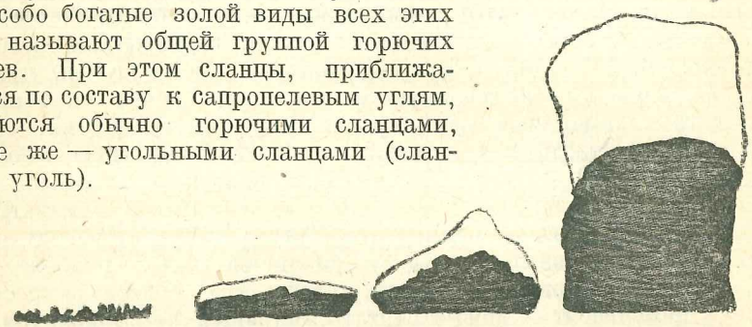
Матовые угли относятся к сапропелевым углям; наиболее известным сортом является кеннельский уголь (от «candle» — свеча, так как он легко зажигается и горит подобно горючим сланцам). Они имеют плоский — до плоскораковистого излом, мало хрупки, почти тягучи, способны к полированию, матового блеска, напоминающего черное дерево, и серо-черного до глубокочерного цвета. Другой разновидностью матовых углей являются листоватые угли, английские богхеды, а также встречающийся в горючих «масляных» сланцах гагат. Матовый уголь часто встречается как бы проросшим блестящим углем, поэтому этот сорт называют полосчатым углем. Обычно матовые угли имеют более высокую зольность, чем блестящие. Кроме матовых углей Мук (Muck) различает в вестфальских топливах еще псевдокеннельские угли, которые являются значительно более хрупкими, близки в химическом отношении к блестящим углям и дают вполне применимый обычно кокс, в то время как сапропелевые угли дают вспучивающийся, но мало пригодный кокс.

Третьим видом являются волокнистые угли, которые можно рассматривать как минеральный древесный уголь. Эти угли встречаются также

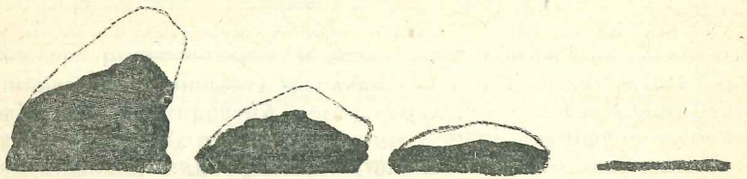
[1] По предложению M. Stopes основные структурные разновидности углей получили наименования: витрен (vitrain) или витрит, является основой блестящего угля, дюрен (durain), или дурит, — матового и фюзен (fusain), или фузит, — волокнистого. См. Ю. А. Жемчужников Введение в петрографию углей, 1932. Ред.

и в залежах бурых углей — лигнитов. Часто их вид указывает на определенные растительные остатки (стволы), но встречаются и порошковато-зернистые структуры. Обычно они образуют тонкие, не более 1 *см* толщины, прослойки между слоями блестящего угля, имеют шелковистый блеск, очень хрупки, выцветают, по своему химическому составу они являются тощими углями, дающими порошковатый кокс. Разновидностью волокнистого угля являются сажистые угли.

Особо богатые золой виды всех этих углей называют общей группой горючих сланцев. При этом сланцы, приближающиеся по составу к сапропелевым углям, именуются обычно горючими сланцами, прочие же — угольными сланцами (сланцевый уголь).



93 — рассыпающийся уголь. *90* — слабо спекающийся, но не сплавленный. *87* — тощий уголь. *80* — полужирный уголь, кузнечный уголь.



70 — жирный уголь, коксовый уголь. *65* — жирно-плавленный уголь. *60* — газовый уголь. *50* — газо-пламенный уголь, частично газо-песочный уголь.

Фиг. 3. Типы каменных углей по Муку:

Важнейшим видом угля являются блестящие угли (собственно каменный уголь и антрацит). Они имеют весьма сильно колеблющийся химический состав и в связи с этим весьма различную коксующую способность. Хотя спекаемость каменного угля и не имеет непосредственного решающего значения для газификации, однако это свойство весьма важно при выборе угля, так как спекающиеся угли не являются желательным топливом для газификации. Мук различает по характеру тигельной пробы восемь различных типов каменных углей, представленных на фиг. 3. Поставленные перед наименованиями топлива числа дают соответствующие округленные выхода кокса в весовых процентах. Для разделения углей по химическому составу обычно пользуются краткой схемой Зиммерсбаха по табл. 7.

Весьма важным фактором для поведения угля при коксовании является его битуминозность, в особенности содержание смол. Эти последние не могут перегоняться без разложения, они расплавляются и выделяют легкие компоненты, становясь при этом более труднолавкими. Если

Таблица 7

Классификация каменных углей по Зиммерсбаху [1]

Типы углей	Элементарный состав			$\frac{O_2+N_2}{H_2}$	Выход кокса	Внешний вид кокса
	C %	H_2 %	O_2+N_2 %	%	%	
I. Сухой каменный уголь с длинным пламенем (пламенный уголь)	75—80	5,5—4,5	19,5—15,0	4—3	55—60	Порошкообразный в высшей степени сплавленный
II. Жирные угли с длинным пламенем (газовые угли)	80—85	5,8—5,0	14,2—10,0	3—2	60—68	Сплавленный сильно трещиноватый
III. Собственно жирные угли (кузнечные угли)	84—89	5,0—5,5	11,0—5,5	2—1	60—74	Сплавленный до умеренно плотного
IV. Жирные угли с коротким пламенем (коксовые угли)	88—91	5,5—4,5	6,5—5,5	1	74—82	Сплавленный очень плотный, немного трещиноватый
V. Тощие или антрацитовые каменные угли	90—93	4,5—4,0	5,5—3,0	1	82—90	Сплавленный или порошковидный

флюсы вспениваются, то получается вспученный кокс, если же вещества плавятся спокойно, то кокс получается плотный. Если битум разлагается до его плавления, то кокса вообще не получается [2]. Причиной является

[1] См. O. Simmersbach, Kokschemie, 1914. Есть русский перевод, 1932. В основном — это лишь немного измененная схема Грюнера. Классификация топлив СССР в отношении углей Донбасса общеизвестна (стандарт ОСТ 2575а, 1931); в отношении углей Кузбасса — выполнена частично проф. Н. М. Караваевым, «Изв. Теплотехн. ин-та» № 8/51, 1929, углей Дальнего Востока — проф. Б. П. Пентеговым, Химия твердого топлива № 7, 1931. Вопросы естественной классификации топлив — см. у проф. Г. Л. Стадникова в его работах «Происхождение углей и нефти», 1931 г. и «Химия угля», 2-е изд., 1933 г., вышедших также и на немецком языке. Обзор важнейших заграничных классификаций см. в статье А. П. Шахно, Химия твердого топлива, № 11 — 12, 1931, в которой разобраны, кроме Грюнеровской, классификации Американского геологического комитета, Парра, Ашлея, Сейлера, Брукмана, Ральстона, Дрекли, Кэмпбелля, Уайта, Флека, Ауфхейзера, Блахера, XII Геологического конгресса. В связи с большим значением химических компонентов углей для их естественной классификации интересна работа W. A. Bone, Состав угля («Chemistry and Industry», 1931, май, стр. 407), дающего новый метод экстракции бензолом под давлением 25—30 *ат* и температуре до 280°. Между прочим классификация проф. Стадникова в значительной степени основана на результатах экстрагирования, характере битуменов, выходах первичной смолы и характере ее и газов.

Классификация Мука, несколько измененная, применяется в Вестфалии (см. Стадников, Химия угля, 2-е изд., 1933 г., стр. 265); она приложима к углям Донбасса, но сибирские угли (ленинские угли Кузбасса) не укладываются в нее. Ред.

[2] О плавкости углей и их компонентов и роли ее в коксообразовании см. статью проф. Г. Л. Стадникова в Химии твердого топлива и его доклад на III Питтсбургской конференции по битуминозным углям, 1932 г. («Химия твердого топлива», 1932 г.). Ред.

превращение битума, происходящее в пласте с течением времени под влиянием значительных давлений и температур. В последнюю группу именно и относятся тощие угли и антрациты, в то время как жирные угли содержат еще битум в мало разложившейся форме. С другой стороны, было бы вполне возможно получить хороший кокс также и из еще молодых пластов пламенного угля, если бы можно было как-либо воспроизвести процессы превращения битумов. Так как содержащиеся в молодых углях битумы в большей своей части перегоняются без разложения (ведут себя, следовательно, подобно антрацену, который плавится и при 330° — перегоняется неразложившимся), то в соответствии с этим газификация должна преимущественно базироваться на углях — пламенных и более молодых каменных.

В то время как от каменных углей мы получаем для большинства сортов твердый кокс, дестилляционные остатки более молодых топлив являются весьма различными. Большинство бурых углей дают тонкозернистый и рассыпающийся кокс, даже если употреблять большеразмерное топливо. В противоположность этому хороший машинный торф, т. е. сильно разложившийся, но уплотненный, более старый торф, дает применимый в металлургии кокс, который пригоден даже для работы небольших домен. Дерево сохраняет при коксовании свое строение, однако конечный продукт является значительно менее прочным; сходно с этим ведут себя многие лигниты, причем, однако, получающийся кокс часто бывает гораздо плотнее.

В отношении процесса горения глубокое влияние оказывают, конечно, и зольные загрязнения топлива. Зола получается не только из минеральных веществ растений, состав коих можно определить по живущим растениям, но, главным образом, из минеральных включений (детрит) и последующих инфильтраций. Последние имеют разнообразной состав и распространяются по слоям, частью же и в стоящих отвесно к поверхности слоя спайных трещинах (преимущественно шпаты). Для некоторых углей, в особенности сапропелевых, инфильтрация распределяет минеральное содержание гораздо равномернее. Зольность детрита обычно слишком незначительна, чтобы придать углю достаточную силу сопротивления в пламени. Но неравномерная инфильтрация вследствие ее местных накоплений является еще более нежелательной, так как часто она приводит к таким уплотнениям, что слой остается в огне целым и препятствует сгоранию угля, находящегося под ним.

Состав золы меняется весьма значительно. Главными составными частями являются SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3; и в незначительном количестве встречаются CaO и MgO; щелочи обычно отсутствуют или содержатся лишь их следы [1]. Наиболее легко образуют шлак золы, содержащие значительные количества окиси железа совместно с известью, при незначительном содержании кремнезема.

[1] Ввиду большого значения золы как строительного материала и химсырья (в особенности, в районах промышленных комбинатов) мы приводим здесь ориентировочные данные по важнейшим ингредиентам минеральной части топлив. В обычных каменных углях в состав золы входят:
SiO_2 — 1,70 — 60,23%; Al_2O_3 — 2,21 — 39,64%; Fe_2O_3 — 3,12 — 74,80%; CaO — 1,08 — 45,60%; MgO — 6,00 — 9,82%; K_2O — 0,07 — 2,38%; Na_2O — 0,08 — 1,86%; SO_3 — следы — 30,3%; P_2O_5 — 0,21 — 3,01%. Ред.

Высокое содержание щелочей также часто бывает причиной зашлаковывания, а например, в Средней Германии известны залежи бурых углей с содержанием до 20% Na_2SO_4 и NaCl и даже выше [1]. Важнейшую роль при этом играет сульфатная сера, о которой уже упоминалось выше. Влияние состава золы на плавкость происходит по тем же законам, как и в случае шлакообразования при процессах плавки (металлов); но так как состав золы колеблется в широчайших пределах, то каких-либо правил здесь дать не представляется возможным. Уже при проведении испытания на зольность (определения золы) обычно устанавливаются свойства последней, по меньшей мере большая или меньшая степень ее плавкости. Но так как при газификации представляют источник затруднений лишь температуры плавления ниже 1 300°, то обычно при определении золы нежелательный ее состав можно установить весьма просто.

Упомянутые ранее разнообразные механические свойства различных топлив имеют особенное значение при организации их добычи, так как хрупкие и легко расслаивающиеся сорта дают больше мелочи и пыли. Сырая смесь в том виде, как она получается из шахты, называется рядовым (шахтным) углем и содержит около 25% кусков при мягких, но способных к сопротивлению топливах, — часто и более. В соответствии с требованиями современной техники уголь почти всегда подвергается обогащению, проводимому или сухим путем — грохочение—или же мокрым путем — промывка. При этом стремятся получить топливо однородной структуры и, кроме того, в особенности при мокром процессе, отделить богатые части от более чистых, используя разницу их удельных весов. Получаемые в результате сорта топлива обозначаются весьма различно не только в связи с тем или иным применением оборудования, но и в связи с местными районными наименованиями. Чтобы дать представление об этих наименованиях, приводим наиболее употребительные из них в следующей таблице.

Таблица 8

Обозначение сортов топлива при механическом обогащении

1. Мелочь рядовая (шахтная)	около 10%	Кусков свыше 80 *мм*	
2. Рядовой уголь	» 25%		
3. Сортированный уголь	» 40%		
4. Сортированный высшего сорта уголь	» 50%		
5. Кусковой уголь I	отсев крупнее 80 *мм* (100 *мм*)		
6. » » II (коренной уголь)	50—80 *мм* (40—50 *мм*)		
7. Орех I	35—50 » (25—40 *мм*)		
8. » II (орешек)	15—35 »		
9. » III (мелочь I)	10—15 »		
10. » IV (мелочь II — семечко)	6—10 »		
11. Угольная мелочь	0— 6 »		
12. Угольный штыб	0—10 »	до 0—25 *мм*	
13. Мелочь — орех	0—30 »		

Особенно важным являются свойства топлив при их хранении, так как очевидно, что положение угля является при этом существенно иным, чем в залежи; к влиянию воздуха присоединятся при этом еще действие влажности, так как многие сорта углей обогащаются мокрым способом и, кроме того, обычно подвергаются действию дождя.

[1] Limberg, «Feuerungstechnik» № 22, Jg. 9 на стр. 44.

Уголь прибавился в весе на 4,62%, при дальнейшем пятичасовом нагреве он дал снова увеличение веса на 0,67%. Одновременно с присоединением кислорода происходит уменьшение содержания водорода, в результате которого даже самый хорошо спекающийся уголь делается после нагревания несплавляющимся углем (дает порошковатый кокс). Опыты показали, далее, что выделяются при этом CO_2 и H_2O, но никоим образом не углеводороды. Затем оказалось, что уголь поглощает кислород также и при обыкновенной температуре как из сухого, так и из влажного воздуха. Процесс при высоких температурах идет, конечно, быстрее, и, кроме того, дает в результате новое повышение температуры; при этом влажность не оказывает какого-либо заметного и определенного влияния. Иначе ведут себя угли, богатые колчеданной серой, так как окисление пирита происходит при действии влажности быстрее и полнее; в этом случае повышается и окисление вещества угля, так как топливо разогревается. Но кроме действительного присоединения кислорода имеет место также и предшествующая абсорпция кислорода и образующейся CO_2; это явление происходит тем сильнее, чем значительнее поверхность топлива, и так как уголь при промывке распадается, то описанные процессы могут привести в конце концов к значительному повышению температуры и даже самовозгоранию сложенного угля. Действительно, самовозгорание всегда начинается в тех пунктах, где имеются богатые штыбом гнезда, в которых присоединение кислорода не могло сопровождаться достаточным проветриванием и охлаждением. Основательное проветривание и является единственным предохранительным мероприятием, которое применяется на угольных складах. Хранения мелкозернистого или богатого штыбом угля, а также богатых серой углей необходимо по возможности избегать [1]. Это имеет особое значение для бурых углей, у которых замечается гораздо более сильное влияние влажности, в особенности дождевой воды, что можно отнести на содержание в ней озона. Во всяком случае является несомненным, что угли выветриваются и подвержены самовозгоранию летом сильнее, чем зимой; при этом сказывается и более высокая температура воздуха на открытых складах и влияние солнечной радиации. У бурых углей процесс выветривания начинается обычно тотчас после высушивания, сопряженного с механическим распадом и растрескиванием, вследствие чего возникают новые поверхности абсорпции; верно также и общее положение, что при более высоком содержании кислорода топлива легче загораются. При окислении бурых углей на влажном воздухе наблюдается также образование гуминовых кислот с предполагаемым отщеплением углеводородов. Само собой разумеется, конечно, что заключительное самовозгорание возможно только при наличии горючих газов (вероятно, метана). Прессованные угли менее изменяются при хранении, также ведут себя и кусковые угли.

Многочисленные опыты показали, что наилучшим способом предохранения угля от выветривания и самовозгорания является хранение его под водой. Топливо при этом вследствие своей гигроскопичности присоединяет небольшое количество воды, что является некоторым минусом, но зато окисление вообще не имеет места или происходит в ничтожной степени.

[1] Об отношении к окислению различных структурных ингредиентов углей см. W. Francis, R. V. Wheeler, Fuel, 11, 1932, стр. 356. Ред.

Так как присоединенная влажность при непродолжительном лежании угля без воды исчезает и распада зерен при всем этом не происходит, то такой способ является особенно ценным для сильно выветривающихся топлив некоторых сортов трещиноватого каменного угля и в особенности для бурых углей. В отношении опытов с каменными углями укажем на исчерпывающие работы Гейдеприма [1] (Heidepriem), Зейдля [2] (Seidl) и опыты Доббельштейна [3] (Dobbelstein). Опыты показали, например, что после 14-месячного хранения под водой теплопроизводительность угля совершенно не изменялась, так же как и прочие качества угля. Химический состав показывал, правда, некоторые отклонения, но последние не были ни закономерны, ни сколько-нибудь значительны. Особенно интересны опыты с чешскими бурыми углями, так как последние чрезвычайно легко и быстро выветриваются и должны обладать большой влагоемкостью. Соответствующие исследования Кенигсгофского металлургического завода показали, что присоединение воды было только поверхностным, едва на 0,5 *мм* глубины, что показывал уже излом. В результате некоторых опытов были получены, например, следующие данные:

	H_2O	Зола	Калорийность	Сорт
До хранения	27,60%	10,80%	4 248	Кусковой уголь II
После пятимесячного хранения	27,04%	11,50%	4 369	

Уголь во время морозов промерзал полностью.

	H_2O	Зола	Калорийность	Сорт
Перед хранением	26,74%	12,00%	4 346	Орех I
После трехмесячного хранения	34,78%	11,50%	3 806	
	35,37%	11,70%		

Уголь в течение лета постоянно находился на солнце, так как хранился в открытых бассейнах. Последние пробы показали после влажного хранения почти 8% повышение удельного веса при небольшом понижении зольности; но это явление имеет гораздо меньшее значение, чем наблюдаемое при хранении на воздухе выветривание, снижающее теплопроизводительность более чем на 10% и дающее 50% отход штыба. Поэтому хранение под водой необходимо особенно рекомендовать для так называемого «железного резерва» — (неприкосновенный запас). В ином случае такие запасы необходимо каждые 3—4 мес. заменять другими, чтобы иметь возможность вообще использовать уголь, а это ведет к значительным потерям. При хранении же под водой замена является совершенно ненужной, и самовозгорание предотвращается полностью.

4. Теплотворная способность топлива

Теплопроизводительность, или теплотворная способность топлив, т. е. то количество тепла, которое освобождается при их полном сгорании, зависит, с одной стороны, от содержания C и H_2 и с другой — от количества баластных веществ. Она определяется или путем расчета по данным ана-

[1] «Z. f. Dampfkessel u. Maschinenbetrieb» (теперь «Die Wärme») 1912, стр. 49.

[2] «Glückauf», 1909, стр. 37.

[3] См. работу Гейдеприма.

лиза или экспериментальным путем — сжиганием в так называемой калориметрической бомбе. Этот метод, введенный в практику впервые Бертело (Berthelot), и затем совершенствованный Малером (Mahler), Крекером (Kroker), Гемпелем (Hempel), Фишером, Лангбейном (Langbein) и др., — состоит в сожигании определенной навески топлива в сдавленном кислороде при приблизительно 25 *ат* давления в никелированном стальном сосуде с плотно привинчиваемой крышкой, находящемся в специальном калориметрическом сосуде, наполненном водой объемом около 2 *л*; последний в свою очередь помещен в изолированном сосуде, обычно с двойными стенками, также наполненном водой комнатной температуры. В калориметрическом сосуде имеется специальное устройство для перемешивания, обеспечивающее равномерное нагревание всей массы воды, и термометр с делениями в 0,01°. Топливо спрессовывается в маленький брикет, через который пропускается железная проволока в 6 *см* длиной; эта проволока соединяется с платиновыми полюсами зажигательного устройства, и брикет помещается в платиновый или из кварцевого стекла тигель, вводимый в сосуд через крышку. После введения вещества, впуска и прессования кислорода и установления постоянной температуры в калориметрическом сосуде и после включения в работу мешалки производят зажигание простым замыканием контакта. Температура воды калориметра повышается и должна отсчитываться достаточно длительно, чтобы правильно установить максимум. Путем умножения этого повышения температуры на водное содержание калориметрического сосуда и водяной эквивалент бомбы мы получаем количество освободившегося при сгорании тепла, которое, однако, должно быть корректировано для учета различных факторов, а именно: на теплоту сгорания употребленной железной проволоки, на образование азотной и серной кислот из азота и серы топлива и на теплоотдачу путем радиации в окружающую среду. Методика внесения этих поправок излагается подробно в прилагаемых всегда к калориметрам правилах и в специальных руководствах, куда мы и отсылаем читателя, так как приведение этого материала здесь завело бы слишком далеко [1].

Таким образом полученная теплота сгорания, отнесенная к 1 *кг* топлива, является так называемой высшей теплопроизводительностью топлива; при охлаждении бомбы обратившаяся при сжигании в пар влага топлива снова конденсируется в воду совместно с водяным паром, получившимся в результате самого сгорания, чего в естественном процессе сжигания топлива не наблюдается. В силу этого необходимо получившуюся теплопроизводительность 1 *кг* топлива уменьшить на теплоту испарения содержащейся в топливе влажности F и образовавшейся воды $9H_2$, в общем на 600 $(F + 9H_2)$. Таким путем мы получаем так называемую низшую теплопроизводительность, обычно именуемую просто теплопроизводительностью и являющуюся основным мерилом достоинства топлива. Делавшиеся часто предложения (например, Лангбейна) применять в качестве измерителя для оценки топлива высшую теплопроизводительность топлива, т. е. теплоту сгорания, дали бы возможность существенного упрощения,

[1] См. Muck, Chemie der Kohlen; O. Langbein, Auswahl der Kohlen, Leipzig, Barth, 1905, Fuchs, Generator-Kraftgas und Dampf kesselbetrieb, Berlin, Julius Springer; на русском языке: проф. А. Н. Щукарев, Испытание теплотворной способности топлив методом сжигания их в сдавленном кислороде, 1928. Ред.

так как в этом случае не нужно делать определения водорода, что необходимо для вычисления низшей теплопроизводительности; теоретические рассуждения при этом расчете являются чрезвычайно простыми, так как ведь H_2 при полном сгорании действительно всегда дает H_2O. Однако характеристика топлива по их поведению при иных процессах, например, газификации, является уже иной, так как при этом поведение водорода является изменчивым и имеет весьма существенное значение. Лучше всего нам в этой работе воспользоваться вычислением теплопроизводительности по формулам. При этом можно будет взять, например, так называемую союзную (Verband) формулу:

$$Q_n = 81\,C + 290\left(H - \frac{O}{8}\right) + 25\,S - 6\,F.$$

Эта формула, предложенная первоначально Дюлонгом и Пти (Dulong et Petit), вначале была несколько другого характера:

$$Q_n = 80{,}8\,C + 346{,}0\left(H - \frac{O}{8}\right).$$

В настоящее время она снова является предметом широкого изучения и исследования.

Различные авторы предлагали изменения формулы, в особенности в отношении учета содержания летучих в топливе и соответственно потребления топливом кислорода при сожигании по Бертье [1] (Berthie), но так как наряду с количеством газа имеет значение и его состав, то и эти формулы не достигают цели, что и является основанием применения более простой союзной формулы.

Для ее критической оценки необходимо отметить следующее.

Формула построена для определения низшей теплопроизводительности, почему и все теплопроизводительности элементов даны в своих низших размерах. При этом принимается, что из водорода топлива соединено с кислородом топлива в водяной пар именно столько, сколько для этого необходимо; в ином случае мы не должны были бы вычитать содержащийся в топливе кислород, так как ведь при всяком горении безразлично, откуда происходит потребляемый O_2. Однако связь в виде прямого H_2O невероятна; скорее можно говорить о присутствии гидроксильных групп (OH). Далее, значительная часть кислорода отщепляется в виде CO и CO_2 при дестилляции. Это обстоятельство в формуле никак не учтено, а между тем кислород, связанный таким путем, меньше понижает теплопроизводительность горючего, чем принятый по расчету в составе H_2O. Поэтому для топлив, богатых летучими или кислородом, нужно ожидать по формуле несколько низших значений, чем истинное; это согласуется и с опытными данными. Однако сложность строения топлива делает бесцельными попытки дать на основании таких соображений новую формулу, — она заранее должна быть признана неприменимой на практике. Кроме того, необходимо принять во внимание, что мы при анализе не определяем O_2 непосредственно,

[1] Blacher, Feuerungstechnisches, Riga, Kymmel 1909; Jüptner, Versuchsweise und rechnerische Bestimmung der Brennwerte, Feuerungstechnik, № 7 и 8, 1913; Strache Journal für Gasbeleuchtung, 1912, стр. 833. О применении формулы Бертье — см. Интересные данные у инж. С. Я. Корницкого, «Изв. Теплотехн. ин-та» № 11—12, 1931. Ред.

Сухая перегонка при низкой температуре

	Топливо	Состав первоначальной горючей массы						При перегонке 1 *кг* получается			
		C^z	H_2^z	N_2^z	S^z	O_2^z	Летучие $Л^z$	H_2O *г*	смола *г*	газ *л*	остаток (полукокс) *г*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Сосновые дрова воздушно-сухие	50,42	6,70	0,65	0,08	42,15	—	366,0	81,8	116,6	—
2	Волокнистый торф воздушно-сухой	58,32	5,54	3,06	0,32	32,76	—	168,8	43,3	94,2	—
3	Среднегерманский бурый уголь (Блиц около Герцборна)	55,11	4,23	0,94	3,22	36,49	—	212,9	20,5	48,8	—
4	Чешский бурый уголь . .	69,53	5,49	0,90	0,49	23,59	—	232,1	44,1	59,5	—
5	Верхнесилезский жирный пламенный уголь (Гогенцоллерн)	80,99	4,67	1,13	0,95	12,26	37,57	69,4	81,9	28,6	828,5
6	Нижнесилезский газовый уголь (Глюкхильф) . .	86,70	5,35	0,81	1,56	5,58	29,23	23,4	60,4	30,5	878,9
7	Вестфальский газовый уголь (Цольферейн I, II) . .	85,09	4,82	1,08	1,06	7,95	32,63	43,0	75,3	23,4	842,8
8	Вестфальский газовый пламенный уголь (Бисмарк)	84,90	4,44	0,98	1,55	8,13	36,51	47,8	95,8	17,6	815,8
9	Вестфальский жирно-пламенный уголь (Блументаль)	86,04	5,18	0,88	1,65	6,25	28,60	31,8	42,3	14,4	914,5
10	Вестфальский пламенный уголь (Новый Эссен) .	82,87	5,06	0,70	1,73	9,64	30,21	43,8	52,3	13,1	875,0
11	Вестфальский жирный уголь (Шамрок I, II)	88,02	5,20	0,93	1,06	4,79	23,00	16,9	29,8	16,7	929,0
12	Вестфальский жирный уголь (Альтендорф)	89,25	4,46	0,95	2,28	3,06	16,91	14,7	9,0	8,2	959,5

Таблица 9

(450°) различных топлив (Бернштейн)

Состав остатка (горючей массы)					Смола		Состав смолы					Свойства остатка
C	H	N	S	O	удельный вес	содержание парафина	C	H	N	S	O	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
92,13	3,88	0,39	—	3,60	1,106	—	68,61	8,13	1,84	—	21,42	—
75,19	4,21	3,49	0,32	16,88	1,02	6,37	75,35	10,34	5,14	0,27	8,90	—
83,96	4,31	0,97	4,60	6,16	1,009	12,24	78,95	9,98	4,53	1,51	5,03	—
84,32	3,97	1,35	0,73	9,63	0,97	5,04	73,47	9,58	1,94	0,26	14,75	—
87,84	3,69	0,94	0,97	6,56	0,96	1,7	81,78	9,20	1,35	0,62	7,05	Слабо трещиноватый, хрупкий
87,97	4,43	1,17	1,36	5,06	0,97	0,5	84,60	8,25	1,03	0,55	4,97	Сильно пористый, вспученный, легко истирающийся
87,74	3,83	1,07	1,07	6,28	0,96	1,5	84,91	9,65	1,60	0,34	3,50	Сильно трещиноватый, очень хрупкий
87,60	3,95	1,15	0,81	6,49	0,95	2,1	84,01	9,81	0,94	0,88	4,36	Слабо вспученный кокс, частью сплавленный
87,45	4,29	1,05	1,47	5,74	0,97	1,2	84,56	9,43	0,81	0,72	4,48	Очень мягкий и истирающийся, по внешности — коксоподобный
86,82	4,09	0,33	1,40	7,36	0,98	1,4	84,02	9,34	0,94	0,71	4,99	Сильно вспученный и истирающийся, неоднородный
89,97	4,57	1,15	1,35	2,96	0,97	0,3	86,25	9,25	1,27	0,56	2,67	Сильно пенистый, вспученный
90,21	4,44	1,08	1,53	2,74	1,03	—	88,32	7,84	1,04	0,59	2,21	Слабо вспученный, слоистый (крошащийся)

а вычисляем его из остатка, суммируя при этом все ошибки. Выражение $(H - \frac{O}{8}) = H_c$ может быть обозначено как свободный (располагаемый) водород. Для формулы теплопроизводительности эта величина дает простой расчет, но он-то, к сожалению, и порождает часто недоразумения и неправильности. Из сказанного выше ясно, что, конечно, нельзя принимать этот свободный водород как самостоятельную характеристику топлива, как это делает Ауфгейзер [1]. Для родственных топлив это еще возможно, но не для таких различных горючих, как дрова и кокс, которые, однако, оказываются в этой классификации рядом, хотя практически они чрезвычайно расходятся между собой в основных качествах. Этот наглядный пример должен быть учтен при рассмотрении материала следующего отдела, дающего анализы дестилляционных газов.

Другие авторы пытались при расчете теплопроизводительности исходить в основном из содержания золы и влаги [2], чтобы получить сравнимые цифры, более соответствующие практическим отношениям топлив. Но эти попытки оказались безрезультатными, так как ведь и практические эквиваленты зависят не только от содержания баласта, но и от применяемых при сжигании устройств. Топливо, которое не подходит для определенных топок, может быть сожжено на других их конструкциях с высоким к. п. д. и обратно. Кроме того, эквиваленты должны быть обязательно ориентированы по методам использования топлива, так как ценность топлива при его сжигании, газификации, дестилляции и т. п., конечно, может быть совершенно различна. В соответствии с этим представляется наиболее целесообразным сохранить ранее столь оспаривавшуюся союзную формулу, принимая, конечно, во внимание все ее недостатки. Чтобы иметь полную уверенность, лучше всего принимать всегда во внимание сравнительные определения теплопроизводительности путем сжигания в калориметре [3].

5. Поведение топлив при сухой перегонке

Под сухой перегонкой мы понимаем дестилляцию топлив при отсутствии доступа воздуха. Происходящие при этом процессы вкратце могут быть характеризованы следующим образом.

Природная влажность начинает удаляться около 100°, но существуют топлива, которые эту отдачу влаги заканчивают только при 250°. Химические изменения начинаются при 150—200° Ц выделением воды, образующейся из водорода и кислорода топлива; при 250—300° начинается значительное выделение газа и смолы, и притом таким образом, что сначала выделяются углекислота CO_2 и окись углерода CO, затем метан CH_4 тяжелые углеводороды CH и водород H_2. Одновременно с отделением газообразных углеводородов происходит и образование смолы. В общем, следовательно, мы наблюдаем и здесь совершенно так же, как и в естественных процессах в залежах угля, в первую очередь выделение кислорода как связанного с водородом, так частично и с углеродом, остаток же в

[1] «Z. d. V. d. I.», 1917, стр. 266 (см. также Ауфгейзер, Топливо и его горение, перевод, под редакцией М. К. Гродзовского, 1933. Ред.).

[2] Dr. Gmelin, «Z. f. E. u. H.», 1886, стр. 365.

[3] См. также в разделе VII — 2 («Химическое исследование топлива»). Ред.

Таблица 10

Состав различных дестилляционных газов

	Состав газа					Выход $м^3/т$
	CO_2	CO	CH_4	C_nH_m	H_2	
Коксовый газ (рурский уголь)	2,0	8,0	29,0	4,0	50,0	320
Дестилляция при 820° . .	3,0	9,0	32,0	7,0	49,0	270
Коалитовый процесс 550° (хороший газовый уголь)	2,5	7,3	48,0	13,1	27,5	85—140
Дестилляция при 450° (рурский уголь) . . .	6,0	4,0	48,0	8,0	34,0	24

Таблица 11

Изменение состава коксового газа в зависимости от длительности процесса

	Часы по наполнении	Состав полученного газа							Осветительная способность
		C_nH_m	CH_4	H_2	CO	CO_2	O_2	N_2	
Избыточный газ в течение одного периода (14 ч. 46 м.)	1	5,8	40,3	34,3	6,8	3,9	0,2	8,7	18,4
	2	5,8	40,7	34,0	6,8	3,8	0,2	8,7	18,4
	3	5,8	41,0	34,0	6,7	3,8	0,2	8,5	18,4
	4	5,8	41,1	34,1	6,6	3,9	0,3	8,2	17,9
	5	5,8	41,2	34,2	6,4	3,9	0,3	8,2	17,4
	6	5,7	41,1	34,5	6,3	3,9	0,3	8,2	16,8
	7	5,6	40,9	35,0	6,2	3,9	0,3	8,1	16,4
	8	5,6	40,6	35,4	6,2	3,8	0,3	8,1	16,2
	9	5,5	40,2	36,1	6,2	3,7	0,3	8,0	15,8
	10	5,5	39,8	36,6	6,1	3,7	0,3	8,0	15,6
	11	5,4	39,4	37,2	6,1	3,7	0,3	7,9	15,4
	12	5,4	39,3	37,5	6,1	3,7	0,3	7,7	15,2
	13	5,3	39,1	37,9	6,1	3,6	0,3	7,7	15,0
	14	5,3	38,8	38,2	6,1	3,6	0,3	7,7	14,8
		5,2	38,4	6,1	3,6	0,3	7,7	14,7	14,7
Отопительный газ в течение второго периода (19 ч. 10 м.)	15	5,2	38.6	38.5	6,1	3,6	0,3	7,7	14,6
	16	5,1	38,4	38,7	6,2	3,5	0,3	7,8	14,4
	17	5,1	38,1	39,0	6,2	3,5	0,3	7,8	14,3
	18	4,8	37,9	39,4	6,2	3,5	0,3	7,9	14,2
	19	4,9	37,8	39,3	6,3	3,5	0,3	7,9	14,0
	20	4,8	37,7	39,6	6,2	3,5	0,3	7,9	13,9
	21	4,7	37,6	39,9	6,2	3,4	0,3	7,9	13,7
	22	4,7	37,4	40,1	6,2	3,4	0,3	7,9	13,6
	23	4,5	37,0	40,7	6,2	3,3	0,4	7,9	13,4
	24	4,4	36,8	41,2	6,2	3,2	0,3	7,9	13,1
	25	4,3	36,5	41,5	6,2	3,2	0,3	8,0	12,9
	26	4,2	36,0	42,0	6,2	3,1	0,3	8,2	12,8
	27	4,1	35,6	42,7	6,1	3,1	0,3	8,1	12,5
	28	4,0	35,1	43,2	6,2	3,0	0,4	8,1	12,3
	29	4,0	34,8	43,6	6,2	3,0	0,3	8,1	12,2
	30	3,9	34,5	43,9	6,2	3,0	0,3	8,2	11,9
	31	3,9	34,2	44,2	6,2	2,9	0,3	8,3	11,9
	32	3,9	33,9	44,4	6,2	2,9	0,3	8,4	11,8
	33	3,8	33,9	44,5	6,2	2,9	0,3	8,4	11,8
	34	2,4	29,2	50,5	6,3	2,2	0,3	9,1	9,0

соответствии с этим обогащается углеродом при одновременном снижении содержания водорода и кислорода и соответствующем повышении процентного содержания золы (табл. 4). При 300—350° начинается сильнейшее образование смолы. При этой температуре происходит также частичное выделение серы и азота в форме сернистого ангидрида SO_2, сероводорода H_2S и аммиака NH_3. При 450° образование смолы почти заканчивается, газообразование же до этой температуры еще весьма ограничено. Общая сумма процесса при осторожной дестилляции до 450° (см. также стр. 250), выявленных по опытам Бернштейна [1], сведены для наглядности в табл. 9.

При дальнейшем повышении температуры продолжается более энергичное газообразование. В начале выделяются метан CH_4, этан C_2H_6 и другие углеводороды C_nH_m, позднее же почти чистый водород H_2. Если температуру поднять до 1 000° и выше, как это имеет место в коксовых печах, то при газовых углях мы можем получить почти десятикратное количество газа по сравнению с дестилляцией до 450°.

Чтобы дать представление о характере этого дальнейшего газообразования, мы приводим в табл. 10 состав дестилляционных газов для различных топлив и процессов; хотя при этом нам приходится сопоставлять данные различных авторов и относящиеся к различным исходным материалам, все же влияние повышения температуры можно установить вполне отчетливо. Для сравнения мы даем на табл. 11 ход процесса коксования по Шнивиндту [2] (Schniewindt).

Эта таблица показывает, как меняется газ в течение всего процесса дестилляции, причем в начале преобладает CH_4, в конце же — H_2; содержание CO_2 и C_nH_m также постепенно и равномерно снижается в течение всего процесса.

Нужно принять во внимание, что при этом опыте уголь вводится непосредственно в горячую печь, так что медленное нагревание здесь не имеет места, почему степень влияния температуры понижается. Нужно ожидать, что содержание CO и CO_2 в газе при топливах, богатых кислородом, будет значительнее, и что их выделение должно наблюдаться в особенности в начале дестилляции. Это явление можно хорошо установить на материале уже упомянутых опытов Бернштейна, где оно особенно типично. Таков,

Таблица 12

Состав дестилляционных газов (Бернштейн)

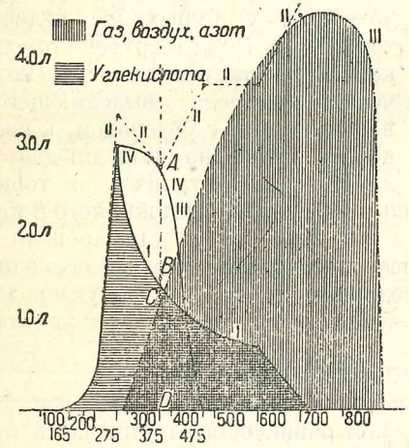
Состав газов при	300°	350°	400°	450°
Ингредиенты	Проценты			
CO_2	92,7	91,0	55,1	27,7
C_nH_m	0,1	0,2	4,9	2,4
CO	1,2	4,7	18,9	11,6
H_2	0,5	0,6	2,2	15,0
CH_4	5,5	3,4	16,0	38,6
C_2H_6	—	—	2,9	4,7

[1] Börnstein, «Über die Zersetzung fester Brennstoffe bei langsam gesteigerter Temperatur», J. f. Gasbel., 1906, стр. 652 и сл.

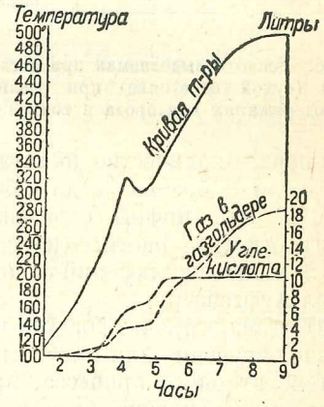
[2] «S и E», 1900, стр. 258.

например, состав газа при перегонке чешского бурого угля (табл. 9) в различных температурных интервалах, сопоставленных в нижеследующей табл. 12. К сожалению, эти опыты не были распространены на более высокие температуры, что дало бы возможность более наглядного графического представления всего процесса сухой перегонки. Такую картину дает проф. Дольх [1] (Dolch) для процесса переработки торфа, при котором температура медленно и равномерно повышалась, количество выделявшегося в определенных интервалах газа замерялось и газ анализировался.

Фиг. 4 представляет полученную в результате диаграмму: линия *II* дает количество газа, полученное за отдельные промежутки времени,



Фиг. 4. Процесс сухой перегонки торфа по Дольху.



Фиг. 5. Сухая перегонка целлюлозы по Бантлину.

линия *II* — содержащуюся в нем CO_2, линия *III* — количество содержащихся в нем горючих составных частей. Линия *I* дает около 300° отчетливый максимум, в то время как *III* при этой температуре только начинается, чтобы в свою очередь достичь максимума при 700—800°. Общая суммарная линия *II* имеет значительные колебания, что является отражением освобождения или, наоборот, связывания тепла.

Значительное образование CO_2 должно, конечно, сопровождаться освобождением теплоты, как это и можно ожидать в соответствии с диаграммой. Очень наглядно дает это и фиг. 5 — по результатам опытов д-ра Бантлина [2] (Dr. Bantlin).

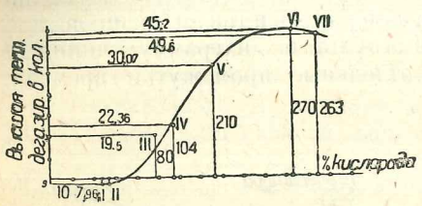
В случае более молодых горючих можно ожидать в соответствии с этими данными, что начатый процесс перегонки при температуре около 300° может продолжаться без дальнейшего подведения тепла, после же исчерпания запаса, освобождающегося в начале процесса тепла, необходимость в его подводе опять возникает. В настоящее время это понятие

[1] Dolch, Die Wärmetechnische Verwendung des Torfes, «Bergbau und Hütte» № 3, 1920.

[2] Dr-Ing. G. Bantlin, Pyrogene Zersetzung von Zellülose, Stärke Zucker und Sulfitzellülose Ablange, J. f. Gasbel., 1914 г., стр. 32.

о так называемой теплоте дегазирования [1] изучается более детально [2], причем была уже установлена непосредственная зависимость ее от содержания кислорода в топливе, как это видно из фиг. 6.

Для дальнейшего рассмотрения технического материала необходимо дать здесь представление о характере и количестве дестилляционных газов, которые можно ожидать при переработке различных топлив; эти данные сведены в табл. 13. Из последней мы видим, что соединенные с углеродом количества кислорода достигают у антрацита около 16—40%, у каменных углей — 35—50%, у бурых же углей и торфа — до 75%; с другой стороны, колеблется также отношение количества водорода, выделяющегося в соединении с углеродом, к количеству свободно выделяющегося, причем для антрацита и тощего угля первое количество достигает лишь 40% второго, для жирного и газового угля — 50—55%, для бурого угля — 60—65%, для дров от 70 до 80%. Эти цифры с очевидностью показывают, что на основании одного относительного содержания водорода (по сравнению с углеродом) нельзя делать заключений о способности к газообразованию, как это предложил Ауфгейзер.



фиг. 6. Теплота выделяемая при дегазировании (сухой перегонке) при различных содержаниях кислорода в топливе.

Поведение прочих составных частей топлива при сухой перегонке имеет большое значение для коксовых установок и газовых заводов, но не для газогенераторного процесса, при котором зависящая от них часть газа всегда очень невелика. Однако для полноты изложения и в связи с вопросами, подлежащими рассмотрению в дальнейшем, мы здесь должны вкратце их коснуться. Азот частично выделяется, частью же остается в коксе. На количественные отношения при этом также оказывают влияние как природа топлива и температура процесса, так и длительность нагревания (стр. 283).

В то время как аммиак образуется в значительных количествах, лишь начиная с температуры в 500° и выше, причем оптимальной температурой процесса является температура в 800°, сероводород, наоборот, образуется преимущественно при низких температурах, следовательно, в начале процесса. Содержание этого газа, конечно, весьма сильно меняется вместе с содержанием серы в топливе, но в общем практика показала, что в среднем в дестилляционных газах содержится вначале около 1,4 — 1,5% сероводорода, тогда как уже через 2 часа содержание падает до 1,0%, через 4 часа до 0,4 и в конце часто лишь немного выше 0,1%.

Распределение серы в результате обширных исследований газовых углей Исследовательским институтом в Карлсруэ оказалось примерно

[1] Термин Юптнера: Generatorstudien, «Chem. Z.», 1887; см. Горючие технические газы», Лейпциг, Феликс, 1920, стр. 24.

[2] Dr. Grau, Bestimmung der Entgasungswärmen, «Br.-Ch.», т. 2, № 7, стр. 97 (см. также интересную работу H. Brüchner и W. Ludewig, Die Nachverkokungswärme von Koks und eine neue Methode zu ihrer Bestimmung, «Br.-Ch.» № 5, 1932. Кроме того, Koch, Ueber thermische Reaktionen bei der Engasung der Steinnohle, «Teer» № 19, 1926. Ред.

Таблица 13

Выход и состав дестилляционных газов при высоких и низких температурах

Топливо	% горючей массы	$м^3$ газа из 100 кг рабочего топлива	Состав газа							
			H_2S	CO_2	C_nH_m	O_2	CO	H_2	CH_4	N_2
Высокие температуры										
1. Вестфальский уголь (шахта Плутон)	90,33	29,4	—	0,8	1,7	0,3	6,5	59,9	27,0	3,8
2. Вестфальский уголь (шахта Мон-Сени)	88,66	30,5	—	1,8	3,4	0,4	8,6	56,0	25,0	4,8
3. Саарский уголь (шахта Дельбрюк)	85,38	34,8	—	2,0	3,3	0,5	9,4	51,5	27,7	5,7
4. Саарский уголь (шахта Клейн-Россельн)	90,48	32,0	—	2,9	5,3	0,5	8,9	44,2	32,3	5,9
5. Верхнесилезский уголь (шахта Бранденбург)	93,67	32,8	—	2,4	3,9	0,1	11,6	50,7	29,7	1,6
6. Верхнесилезский уголь (шахта Эмма)	90,29	31,6	—	2,5	2,9	0,9	12,4	49,4	26,0	5,9
7. Нижнесилезский уголь (шахта Фукс)	91,79	31,2	—	2,1	3,0	0,2	8,9	49,4	33,2	3,2
8. Саксонский каменный уголь (шахта Бовка-Гонсфдорф)	85,56	30,3	—	2,4	3,0	0,4	9,6	51,7	28,9	4,0
9. Саксонский каменный уголь (шахта Паукароде)	80,16	29,5	—	2,3	2,0	0,4	9,1	53,1	30,6	2,5
10. Чешский каменный уголь (Литтиц)	87,51	28,5	—	3,0	4,4	—	10,0	45,2	33,0	4,4
11. Чешский слоистый уголь	82,24	30,4	—	3,2	9,9	—	8,3	39,6	37,1	1,9
12. Семиградский каменный уголь (шахта Петротени)	77,18	18,0	—	9,4	2,1	0,8	13,8	43,5	26,5	3,9
13. Альпийский блестящий бурый уголь	76,66	17,0	—	11,8	2,4	0,3	15,5	37,4	31,3	1,6
14. Венгерский бурый уголь (Пилис-Вересвар)	76,66	14,3	5,6	18,4	3,5	0,6	11,0	36,5	31,4	3,1
15. Рейнский буроугольный брикет	78,34	20,5	—	34,7	1,9	0,5	19,5	22,0	19,0	2,4
16. Рейнский бурый уголь	49,70	15,0	—	32,1	1,8	0,8	14,6	31,0	15,0	4,7
17. Торф (старый) из Бухшейдена	76,78	20,6	—	30,4	2,4	1,0	12,0	36,0	13,0	5,2
18. Торф (молодой из Адмента)	59,10	12,5	—	29,6	2,2	0,9	16,1	28,0	17,5	5,7

Продолжение табл. 13

Топливо	% золы	м³ газа из 100 кг сухого угля	Состав газа							
			H_2S	CO_2	Ненасыщ. углеводороды	C_2H_6	CO	H_2	CH_4	N_2
19. Лигнит	75,50	14,4	—	17,3	3,2	0,3	12,3	30,8	34,0	2,1
20. Целлюлоза [1]	92,03	13,2	—	47,8	3,7	1,0	29,0	3,0	10,0	5,5
При температурах до 550° Д [2]										
21. Жирный уголь (Рейнские провинции)	1,6	6,36	4,8	0,5	3,0	11,0	0,7	22,5	56,1	4,3
22. Газопламенный уголь (Лоберг)	11,0	6,90	4,4	7,0	5,2	10,1	6,2	16,7	47,3	3,1
23. Кеннельский уголь (Лоберг)	15,4	7,26	4,3	16,7	5,5	10,1	2,7	23,9	35,6	2,8
24. Баварский смолистый уголь	14,1	8,55	18,0	20,7	4,1	6,5	11,1	6,5	29,1	4,0
25. Чешский бурый уголь (Брюкс)	2,6	10,87	2,6	33,7	4,6	5,4	15,9	7,6	28,7	4,1
26. Саксонский смолистый уголь (Рибек)	4,5	12,00	11,0	37,9	6,3	5,1	8,1	6,6	21,1	3,8
27. Лаузицкий лигнит (Ильзе)	2,3	15,05	2,9	48,0	2,8	2,9	14,6	7,8	15,1	5,8
28. Рейнский буроугольн. брикет	2,5	13,92	2,3	55,0	2,9	2,6	13,9	6,9	14,4	2,0
29. Верхнебаварский торф	1,8	12,12	0,8	54,5	2,8	1,8	20,0	3,3	14,5	2,3
30. Западнофрисландский торф (Меппен)	0,6	12,34	1,2	58,5	2,8	1,6	21,0	2,0	10,5	2,4

Примечание. Первые девять анализов получены Газовым институтом в Карлсруэ, два следующих — Биндером и Фишером (Fischers Jahresbericht, 1897, стр. 95), обозначенный цифрой [1], вычислен по опытам Бантлина. Обозначенные цифрой [2], полученные в отличие от предыдущих при низких температурах, взяты из обширной работы Фриче (Fritzsche Br. Ch., т. 3, стр. 25).

таким, что 52—84% ее остается в коксе, 16—46%—выделяется в виде сероводорода, остаток приходится на смолу, сероуглерод и сернистую кислоту [1].

[1] Количество серы в генераторном газе зависит от способа газификации; так, по Маркграфу (Markgraf, Stahl u. Eisen, 1918, 704) при сухом дутье в самодувном газере на коксе было получено 0,35 *г/м*³ серы, а в газере Вюрта тоже на сухом дутье, но с подачей пара в верхнюю часть шахты, на том же коксе было получено уже 1,39 *г/м*³. По Булле (Stahl u. Eisen, 1929, 49) в среднем генераторный газ из каменного угля содержит 1—2 *г/м*³, из бурого — 3—4 *г/м*³. Мулерт (F. Muhlert «Der Kohlenschwefel», есть русский перевод под ред. проф. Н. М. Караваева, 1932) дает следующую формулу для содержания серы в генераторном газе:

$$H_2S = 12 \cdot \frac{S}{C},$$

где H_2S — объемные проценты сероводорода в газе,
S — содержание серы в угле,
C — содержание углерода в угле.

Ред.

Приведенные цифры ясно показывают чрезвычайно малое значение этих второстепенных составляющих, не играющих поэтому никакой роли в газогенераторном процессе.

6. Искусственные топлива

В заключение необходимо здесь напомнить также и об искусственных горючих. Собственно резкой границы между естественными и искусственными топливами провести невозможно, так как уже при выполнении различных обогатительных работ применяются различнейшие искусственные способы для получения высокоценных облагороженных или специально требующихся сортов топлива. Процесс обогащения топлива, однако, не вносит каких-либо изменений в его вещество, или его состояние; его целью является такое раздробление крупных кусков, которое бы обеспечивало отделение мертвой породы. Обогащение может производиться по сухому или по мокрому способу и дает в результате определение сорта горючего по возможности однородной крупности. Поэтому при обогащении всегда получаются бóльшие или меньшие количества пылеобразных отходов — в виде или сухого штыба или шлама. Есть, однако, топлива, которые встречаются в природе в форме, не пригодной для непосредственного применения и подвергаемые поэтому процессу так называемого облагораживания, дающего в результате «искусственные топлива».

Здесь мы можем различать две группы процессов:

1. Облагораживание изменением формы.
2. Облагораживание путем сухой перегонки или других химических методов.

Иначе эти процессы можно обозначить:

1. Механическое облагораживание.
2. Химическое облагораживание [1].

Процессы первого рода применяются преимущественно в отношении упомянутых выше малоценных отбросных топлив, не только получающихся при обогащении или других способах переработки углей, но встречающихся в значительных количествах в природе. Механические образования, приготовляемые из мелкозернистых топлив, вообще обозначаются термином «брикеты», которые и делятся по сырью на следующие основные виды: а) каменноугольные брикеты, б) буроугольные брикеты, в) брикеты из отходов.

Каменноугольные брикеты приготовляются исключительно из тощих углей, так как мелочь жирных углей идет на коксование. При этом все более распространяется применение предварительного размола крупнокусковых углей перед коксованием, чтобы получить по возможности равномерный хороший кокс. Мелочь тощих углей, однако, не может итти на коксование и должна быть использована как-либо иначе. Для приготовления брикетов угольная мелочь высушивается, смешивается с жидким подогретым пеком и под довольно значительным давлением прессуется в различной формы камни.

Сходный способ применяется частично и для бурых углей, но в особенности употребителен этот процесс для различных топливных отходов —

[1] В нашей терминологии — «термическое» облагораживание, так как процессы, как правило, сопровождаются нагревом. Ред.

коксовая мелочь (коксик), угольные отсевы и т. п. Для германских бурых углей применяется впрочем иной способ брикетирования, так как это топливо вследствие высокого содержания битумов может брикетироваться без применения связующего материала. Землистые мелкозернистые бурые угли высушиваются перед брикетированием до 15% влажности и затем прессуются в брикеты с помощью чрезвычайно высокого давления — около 1 500 *ат*.

При брикетировании само вещество топлива не претерпевает какого-либо изменения. Происходит только обычно присоединение другого горючего, именно связующего вещества. Для целей газификации каменноугольные брикеты весьма мало пригодны. Дело в том, что связывающее средство обычно сравнительно очень легко и быстро отгоняется, топливо распадается в мелочь и создает в газогенераторе сильнейшее сопротивление. Наоборот буроугольные брикеты представляют одно из лучших топлив для газогенераторов. Однако и среди буроугольных брикетов есть отдельные сорта, распадающиеся в огне. Это относится особенно к углям, бедным битумами, или таким, у которых битумы очень быстро выделяются. Все же большинство сортов этих брикетов сохраняет свою форму при газификации достаточно долго.

Анализы буроугольных брикетов приведены были уже в табл. 4. Впрочем состав любого брикета может быть получен по расчету из состава его исходного продукта, с принятием поправки на удаление влажности. Вещество само по себе не изменяется и поэтому в брикете повышается не только содержание горючего, но и содержание золы, серы и т. д.

Специальный случай брикетирования, о котором необходимо здесь также упомянуть, — это мокрое прессование бурых углей. При этом угли увлажняются до состояния пластической массы и прессуются в прямоугольные кирпичи, нарезаемые любой длины и высушиваемые затем на воздухе. Наиболее употребительные мокропрессованные угли имеют форму строительных кирпичей и остаточную влажность после сушки около 25%. Конечный продукт поэтому является не столь ценным, как настоящие брикеты, но в отношении газификации весьма сходным с ними, если, однако, он не делается слишком трещиноватым при сушке. Так как приготовление мокропрессованных брикетов вследствие устранения искусственной сушки требует значительно меньшей затраты тепла, чем приготовление настоящих брикетов, то для целей газификации мокрое прессование является весьма удобной подготовкой топлива, если учесть возможность получения камней меньших размеров. Для буроугольных брикетов также приготовляются кроме обычного формата в $^1/_2$ *кг* весом также и более мелкие форматы, как брикет-семечко, полукамень, индустриальный брикет и т. д., что и делает получаемое топливо более применимым для промышленного использования и, в особенности, для целей газификации; мокропрессованный брикет малых размеров не распадается ни при высушивании, ни позднее при газификации.

Тем же способом, как мокропрессованные брикеты, получается машинно-формовочный торф, однако, последний обычно рассматривается не как искусственное топливо, а как натуральное, так как при ручной формовке торфа получаются такие же дерновины, тех же размеров, как и при машинном изготовлении. Различие заключается единственно в том, что при машинном формовании торф из различных пластов хорошо перемешивается и поэтому машинноформовочные торфины гораздо ровнее и однообразнее, чем полученные при ручной формовке. Искусственными топливами, получаемыми из торфа, являются опять-таки брикеты, получаемые без связывающих средств, если торф высушен в достаточной степени. Вообще возможно полное высушивание является основным условием при брикетировании, так как иначе брикеты при дальнейшей досушке при хранении очень легко распадаются. Брикеты без связывающих веществ получаются, далее, из опилок, стружек, и других растительных веществ, являющихся отбросами или отходами производства [1].

Вторую группу облагороженных горючих представляют искусственные топлива, получаемые путем сухой перегонки. Они уже только в редких случаях являются материалом для газификации, так как уже при самом процессе дестилляции все газообразные продукты перегонки удаляются из угля. Остатки от сухой перегонки — кокс, полукокс, торфяной кокс и т. п. применяются, как правило, для специальных целей. Только в исключительных случаях можно использовать эти горючие как вспомогательное топливо, и в этих случаях они оказываются вполне удобными для газификации, так как предшествующий термический процесс уже сделал их устойчивыми к жару. Но при газификации таких топлив нельзя ожидать образования углеводородов — ни газообразных, ни жидких. Кокс поэтому часто подменялся как исходный материал для приготовления силового газа (установка со всасыванием газа) до тех пор, пока не нашли удовлетворительного способа использования для этой цели природных содержащих смолу топлив. При получении теплового газа чаще всего избегают пользоваться дестилляционными остатками, так как отсутствие углеводородов делает полученный газ значительно слабее.

Возможно, что остатки процесса сухой перегонки (табл. 9) могли бы иметь значение как исходный материал для газификации в том случае, если бы имело место большее развитие процесса швелевания с предшествующим выделением смолы. Относящиеся сюда предложения и проекты выполнялись многократно, и этот способ для некоторых топлив обещает экономические преимущества.

Получаемый таким путем полукокс является пригодным для газогенераторных установок подобно прочим остаткам сухой перегонки, так как процесс газификации при применении этих горючих идет весьма равномерно и медленно. Поэтому при газификации кокса или полукокса можно применять газогенераторы очень крупных диаметров. Благоприятно влияет также и однородный состав этого рода искусственных топлив.

Третьим родом также до некоторой степени искусственных горючих можно считать топлива, облагороженные специальным значительным высушиванием, без какого-либо изменения формы. В последнее время было сделано много попыток высушивания крупнокускового угля по возможности на месте добычи до его отправки и дальнейшего промышленного применения. Эти опыты кажутся чрезвычайно ценными; необходимо, однако, путем обширного промышленного его испытания установить, со-

[1] Брикетирование древесных отходов включено в план Союзлеспромтяжа, но в основном направлено на получение брикетов (без добавки биндеров), имеющих высокие механические качества и могущих быть использованными как ценный поделочный материал (аналогично заграничным видам лигностона). Р е д.

хранят ли высушенное топливо достаточную прочность и может ли оно газифицироваться без предварительного распада. Если это будет установлено, то, конечно, мы могли бы применять для газификации высушенные топлива, что явилось бы значительным преимуществом, так как это не только повысило бы производительность газогенератора, но и дало бы существенно лучший состав газа.

К этим опытам мы будем еще иметь случай возвратиться (см. гл. IV, 3, б).

II. Химические основы газификации

1. Общие данные

Как уже было детально показано ранее, при процессе газификации именно кислород обычно является элементом, практически действующим на углерод и переводящим его в горючий газ. Эта роль может принадлежать и другим газам, как, например, водороду, но вследствие совершенно незначительной применимости все прочие методы отступают далеко назад, причем тем более, чем меньше они дают газообразных углеводородов по сравнению с жидкими.

Соединения углерода с кислородом — это CO_2 и CO; первая не имеет уже никакой теплотворной способности и образования ее надлежит по возможности избегать; другими словами, необходимо препятствовать полному сгоранию, почему этот процесс и называют «неполным горением». Это мало удачное выражение может привести к ошибочным заключениям, если его понимать буквально. Все же из него ясно, что между сгоранием и газификацией существует тесная зависимость. Первое можно всегда обратить во вторую, ограничив подвод воздуха и увеличив массу входящего в реакцию топлива.

Возможные химические процессы при взаимодействии углерода и кислорода могут быть представлены следующими уравнениями:

$$C + O_2 = CO_2 + 97{,}64 \text{ кг/кал}^1 \quad (1)$$

$$C + {}^1/_2 O_2 = CO + 29{,}44 \text{ »} \quad (2)$$

$$C + CO_2 = 2CO - 38{,}76 \text{ »} \quad (3)$$

$$CO + {}^1/_2 O_2 = CO_2 + 68{,}2 \text{ »} \quad (4)$$

Уравнение (2) может быть получено из (1) и (3). Уравнение (4) имеет значение уже при последующем процессе сгорания газа.

При всех процессах, за исключением (3), освобождается тепло. Температура поэтому должна длительно повышаться, что не только вызывает нагревание окружающих предметов, но и повышает количество физического тепла в получающемся газе.

Сходство процесса газификации с процессом сгорания вытекает из допущения последовательного образования сначала CO_2, которая затем

---

[1] Все тепловые данные отличаются от обычно приводимых в руководствах, причем по предложению Гофмана («F. T.», 1916, № 3 и 4) для газообразных компонентов принят настоящий молекулярный объем — 22,412, молекулярные веса — по международной таблице атомных весов 1912 г.; теплопроизводительности — по таблицам Ландольта-Бернштейна-Рота, изд. 4, 1912 г. См. также табл. 70 (см. P. Haber, Thermodynamik der technischer Gasreaktionen, München, 1915. Партингтон и Раковский, Химическая термодинамика, Москва, 1932. Ред.).

по уравнению (3) восстанавливается в CO. Ауфгейзер [1], напротив, в согласии с другими исследователями в области теории горения принимает, что в начале процесса образуется CO, которая в дальнейшем сгорает в CO_2. При газогенераторном процессе вторая реакция отпадает и образовавшаяся CO остается целой.

Допущение Ауфгейзера имеет значительную долю вероятности, и многие авторы утверждают, что сначала возникает CO; однако по меньшей мере столько же имеется и защитников противоположного взгляда. Так, опыты Вендта (Wendt)[2], Неймана [3] (Neumann) и др. показали, что уже в самых нижних слоях образуются значительные количества окиси углерода, но решительного ответа на вопрос не дали.

Хотя это обстоятельство и является с точки зрения практики газификации более или менее безразличным, но все же оно не лишено значения, так как только разрешение этой проблемы может дать нам указание, надлежит ли еще ожидать в будущем основных изменений и возможных улучшений процесса газификации.

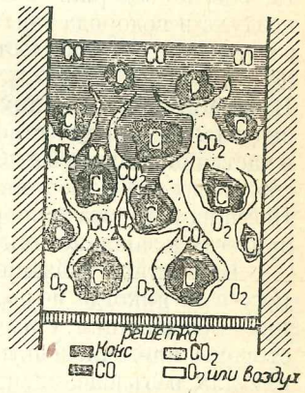
Образование окиси углерода освобождает по уравнению (2), по сравнению с процессом сгорания, меньшее количество тепла и этим противодействует условию своего собственного равновесия, а именно повышению температуры [4].

Но это как раз соответствует закону Ле-Шателье, согласно которому каждое изменение какого-либо отдельного фактора равновесия влечет за собой превращение системы в направлении, могущем изменить соответствующий фактор в противоположном духе [5]. Однако этот закон не дает нам конечного решения, и для объяснения процесса мы должны найти другие вспомогательные теории. В данном случае особенно подходящим является «ступенчатый» закон Вильгельма Оствальда, гласящий, что при определенных условиях реагирования образуются в первую очередь такие соединения, которые, вообще говоря, не являются постоянными, но все же постояннее, чем первоначальное вещество. Мы должны, следовательно, выявить специальные условия реагирования при процессе газификации; можно в основном их представить таким образом, что мы имеем при реакции в избытке раскаленный углерод; из закона тогда следует, что вначале должна образовываться углекислота, так как она при высоких температурах в присутствии углерода является менее постоянной, чем окись углерода. Но все данные исследований в газогенераторах дают на самом деле, что в самых нижних слоях всегда имеется значительный избыток кислорода воздуха. При этом условии, наоборот, менее постоянным соединением является окись углерода; это заставляет принять принцип первоначального образования окиси углерода. Процесс в топливном слое должен протекать в соответствии с этим таким путем: встречающие угольную поверхность частицы воздуха образуют сначала окись углерода по уравнению (2), последняя сгорает затем в избытке воздуха частично в углекислоту по уравнению (4) и при прохождении через верхние слои топлива по уравнению (3) восстанавливается снова до окиси углерода в соответствии с условиями равновесия.

[1] «Z. d. V. d. I.», 1917, стр. 266.
[2] «Forschungsarbeiten», № 31.
[3] «Forschungsarbeiten» № 140.
[4] См. Aufhäuser, цитированная работа.
[5] См. Jüptner, Beitrage zur Feuerungstechnik, стр. 142, Лейпциг, Артур Феликс, 1920 (Юптнер является определенным сторонником мнения о первичном образовании CO_2 прямым присоединением молекулы кислорода. См. «Technik und Reaktionsgeschwindigkeit», «F. T.», 1924. Ред.).

Отсюда определенно вытекают те условия, которые необходимы для поддержания газификации: ограниченный приток воздуха и увеличение высоты слоя. Сами по себе процессы сгорания и газификации вначале являются аналогичными, и только значительное преобладание превращения по уравнению (3) при создании соответствующих условий характеризует процесс газификации. Различие между сгоранием и газификацией является поэтому только условным, и мы имеем полное право сказать, что в большинстве случаев горению препятствует газификация.

Поэтому я не вполне разделяю воззрения Ауфгейзера, хотя я также полагаю, что в газогенераторе и соответственно на колосниковой решетке образуется в начале CO, которая, однако, при существующем избытке воздуха так быстро сгорает в CO_2, что анализ всегда показывает одновременное присутствие обеих составных частей [1]. В газогенераторе образование CO_2 всегда ограничивается, так как избыток воздуха весьма быстро истощается и, далее, вступает в реакцию уже избыток углерода, восстанавливающего образовавшуюся CO_2 в CO. Иначе идет процесс при горении, при котором избыток воздуха имеет место во время прохождения всего слоя, что и способствует быстрому сгоранию CO в CO_2. Пока имеется избыток кислорода, содержание CO_2 увеличивается, и только после этого начинается процесс восстановления ее в CO.



Фиг. 7. Ход процесса в газогенераторе по Штрахе.

Это может быть весьма отчетливо прослежено по результатам анализов в опытах Вендта и Неймана, а также по опытам Виландта (W. Wilandt) [2], результаты которых сведены в табл. 14. Для иллюстрации этого процесса Штрахе [3] предложил весьма наглядную схему (фиг. 7) процесса работ газогенератора, в которой он, однако, присоединяет не вполне безупречное объяснение [4].

[1] По Будуару существует постоянное соотношение между концентрациями CO и CO_2 в зоне реакции при различных температурах, а именно:

при	450° — на	97,8	объемных %	CO_2	приходится	2,2% CO
»	650° — »	60,2	» %	CO_2	»	39,8% CO
»	800° — »	12,4	» %	CO_2	»	87,6% CO
»	900° — »	2,9	» %	CO_2	»	97,1% CO
»	1 000° — »	0,9	» %	CO_2	»	99,1% CO

(см. Journal f. Gasbeleuchtung, 1909, стр. 311). Ред.

[2] «Journal für Gasbel.», 1903, стр. 201 (см. также Dela Condomine «Исследования равновесия в газогенераторах» Chaleur et Industrie 1926, № 74. Ред.).
[3] «Handbuch der Gastechnik», т. 9, стр. 98.
[4] Д-р Кореваар (Дельфт) выработал свою теорию газогенераторного процесса, исходя в основном из работ Le Chatelier («Le Chauflage Industriel», Париж, 1920), Langmuir (Journ. Amer. Chem. Soc. 1916) и Johnson («The Principles, Operation and Products of the Blast Furnace», N.Y. 1918); он учиты-

2. Воздушный газ

Приведенные в разделе 1 этой главы уравнения реакций характеризуют основные процессы при так называемой воздушной газификации — получения воздушного газа. Воздух, применяемый при этом для газификации, содержит лишь незначительное количество влажности, не оказывающее заметного влияния на процесс. Вступающий в реакцию O_2 берется преимущественно из воздуха, поэтому образующаяся CO всегда сопровождается азотом. В идеальном случае — при полном отсутствии воды — получается на основании стехиометрических законов, дающих на 16 *кг* O_2 и соответствующее количество азота $16 \cdot 3{,}31 = 52{,}96$ *кг*, следующий состав газа: 34,60%CO и 65,40% N_2.

Такое содержание CO является наивысшим возможным. На практике газ обычно содержит водород в количестве около 2 и до 5% (из влажности воздуха и водорода топлива), так что даже при наиболее полном процессе содержание CO едва достигает 30—32%. Кроме того, получается в среднем не менее 20%CO_2, даже при безупречной работе газогенератора. Нужно принять во внимание, что реакция по уравнению (2) освобождает значительное количество тепла, отводимое частично получающимся газом и частично уходящее в потери газогенератора (путем излучения), но все же создающее высокую температуру реагирующего топлива, по данным Вендта, Неймана и др. эта температура достигает 1 400 — 1 600°, что может легко привести к зашлакованию, нарушающему ход процесса.

Вследствие указанных неприятных особенностей получение воздушного газа никогда не пользовалось значительным распространением в технике газификации. Ранее этот процесс детально исследовался с химической стороны многочисленными авторами, что имело существеннейшее значение для разъяснения процессов в газогенераторах. В особенности здесь надлежит упомянуть об опытах Будуара [1] (Boudouard), Наумана и Эрнста [2] (Naumann u. Ernst), и Мейер и Якоби [3] (Meyer u. Jacoby) и Клемент [4] (Clement), привести здесь которые не позволяет объем работы. Для практических целей достаточные для применения основные данные мы приводим в табл. 14 результаты опытов Виландта (Wielandt), показывающие, что образование CO растет при повышающейся температуре и увеличивающемся времени реагирования (при меньших скоростях прохождения). Опыты Клемента показали далее, что различные сорта и виды угля ведут себя при процессе различно; лучше всего ведет себя древесный уголь, хуже всего — кокс.

Далее, мы предполагаем что образование CO увеличивается вследствие процесса диссоциации. По установленным Нернстом и Вартенбергом [1] (Nernst u. Wartenberg) точным данным это увеличение, однако, настолько незначительно, что при общем рассмотрении газогенераторного процесса оно может не приниматься во внимание.

В заключение необходимо еще упомянуть, что уравнение (3) является обратным; при этом реверсия эта наступает не только при высокой, как это обычно принимается, но и при более низких температурах, так как реакция идет с выделением тепла; присутствие различных окислов, металлов и т. п. усиливает эту реверсию. Для самого газогенератора, впрочем, это обращение не имеет большого значения, но оно весьма значительно в путях дальнейшей обработки газа. В пылеотделителях и газопроводах неоднократно наблюдаются выделения сажи [2], которые считают именно результатом этого разложения CO (аналогично тому же процессу в доменных печах). Однако еще нельзя признать твердо установленным, происходит ли это именно таким образом, или же имеет место разложение углеводородов; последнее даже является более вероятным.

Таблица 14

Результаты опытов Виландта

Опыт		I	II		III		IV		V		VI	
Величина кусков, *мм*		12	12		12		15		15		25	
Состав газа	CO_2% (объемн.)	14,14	13,42	12,80	11,17	16,0	7,6	19,54	17,16	12,29	18,97	12,55	13,59	15,99	17,45
	O_2%	—	—	—	—	—	—	0,23	0,23	8,16	0,59	1,17	6,98	3,91	0,08
	CO%	10,21	9,56	12,71	15,42	6,3	21,0	1.26	5,78	0,03	0,93	11,06	—	0,08	0,26
Отношение $\frac{CO \cdot CO}{CO_2}$		7.37	6,81	12,62	21,3	2,48	58,0	0,08	1,96	—	0,05	9,74	—	—	—
Подводимое количество воздуха, *л/мин*		17	—	25	—	62		42	48	—	52	—	—	50	—
Скорость его, *см/сек*		3,0	—	4,4	—	10,9		7,4	8,4	—	9,1	—	—	8,7	—
Высота слоя, *см*		11	3,5	9,5	15,5	3,5	9	5,5	10,5	1,5	4,5	9	14,5	17	19,5
Время соприкосновен. секунды		13	3,80	2,17	3,54	0,32	0,83	0,75	1,25	0,16	0,49	0,99	1,66	1,94	2,23
Температура, °Ц		3,70	Ниже 1 700			1 770				Не определялась, но очень высокая					
		1 550													

Примечания: 1. Пробы брались по средней линии одновременно на различных высотах.
2. Пробы брались сверху, одна за другой, после разгорания.

вает при расчетах следующие факторы процесса: 1) активность угля, 2) пористость угля, 3) размерность угля, 4) зольность угля, 5) скорость воздуха (газовой фазы), 6) температуру газовой фазы, 7) содержание водяного пара в дутье, 8) теплопроводность стенок шахты, 9) диаметр газера в зоне реагирования. Одним из интересных его выводов является «закон теплоплотности», по которому «уплотнение» зоны реакции и, следовательно, достижение наиболее высоких температур возможно при применении угля большей активности, большей пористости, меньшей размерности и меньшей зольности. См. pr.-doz. A. Korevaar, Verbrennung im Gaserzenger und im Hochofen (пер. с англ. I. Gwosdz), 1927 (см. также у Э. Сент-Клер-Девиля, Manuel de chimie gaziere, Париж, 1933, стр. 238; I. Partington a. Shiling, the water-gas equilibrium», «Chem. a. Ind.» № 9, 1932, стр. 82. Ред.

[1] «Ann. de Ch. et Phyc», 1902, 24, 5.

[2] Z. f. ang. Ch, 1893, стр. 525.

[3] J. f. Gasb., 1909, стр. 282.

[4] Journ. Chem. Society, 1899, стр. 630.

[1] Z. d. V. d. I, 1905, стр. 1426.

[2] Van Vloten: St. u. E., 1909, стр. 217.

Воздушный газ за последние годы нашел новое применение при развитии конструкций газогенераторов с плавлением шлака; в этом случае желателен газ с весьма низким содержанием водорода, что имеет определенные преимущества для некоторых целей его использования, в особенности, для химического применения. Так, например, в газогенераторах системы Георг-Мариенхютте [1] при газификации кокса получается газ следующего состава:

0,6% CO_2	0,5% CH_4
33,4% CO	64,6% N_2
0,9% H_2	

и с низшей теплопроизводительностью в 1 085 *кал*.

Температура газа при выходе из газогенератора 800°. Так как температура шлака в среднем достигает около 1 400°, то можно принять, что, несмотря на сильный отвод тепла газом температура перед фурмами достигает по меньшей мере 1 600°. Здесь необходимо попытаться на конкретном примере провести расчет этой высшей температуры процесса, так как она имеет решающее значение в отношении применимости процесса получения воздушного газа.

Так как в газогенераторе должно иметь место состояние равновесия температуры, то при расчете можно принять, что топливо вступает в реакцию именно при этой температуре, в то время как воздух должен быть очень быстро нагрет за счет тепла реакционной зоны. Если при этом не происходит чрезмерное охлаждение этой зоны и процесс не дает перерывов, то такое подогревание воздуха может быть допущено; в таком случае действительно температуру воздуха перед фурмами мы можем принять для расчета в 55° Ц. По данным Маркграфа (Markgraf) и по балансам при испытаниях мы имеем:

Потеря с уносом 1,2%	Потеря с охлаждающей водой . 3,8%
Потеря тепла с шлаком и чугуном . . . 1,5%	Потеря с излучением (остаточный член) 3,1%

Можно принять, что последний фактор имеет значение для верхней части шахты, в то время как водное охлаждение должно быть принято в расчет для основания установки; потери с уносом здесь не должны быть приняты во внимание, так как это тепло отнимается из самой реакционной зоны. Тепло для расплавления шлака частично получается уже из верхней части шахты. В среднем можно поэтому для реакции перед фурмами считаться с потерей около 5%. По уравнению (2) в реакцию вступают:

12 *кг* C + 16 *кг* O_2 + 52,96 *кг* N_2 = 28 *кг* CO + 52,96 *кг* N_2 + 29 440 *кал*.

12 *кг* C при средней теплоемкости между 0 и 1 600° в 0,45 вносят следующее количество тепла:

$$1\,600 \cdot 0{,}45 \cdot 12 = 8\,640 \text{ кал}.$$

Кроме того, вместе с 12 *кг* C в реакционную зону вносится около 1 *кг* золы с средней теплоемкостью 0,2 *кал/кг* °Ц:

$$1\,600 \cdot 0{,}2 \cdot 1 = 320 \text{ кал}.$$

[1] Markgraf, St. u. E., 1919, стр. 649.

Так как по приведенному уравнению с углеродом вступают в реакцию

$$12 \cdot 8\,100 \text{ кал} = 97\,200 \text{ кал},$$

то потери достигают:

$$0{,}05 \cdot 12 \cdot 8\,100 = 4\,960 \text{ кал}.$$

Температуру мы принимаем предварительно в 1 600°, так как ее определение можно было произвести только на основании приблизительных данных. Теплоемкость 1 *кг* CO_2, а также N_2 в интервале между 0 и 1 600° равна 0,279; на этом основании температура может быть определена следующим образом:

$$\frac{29\,440 + 8\,640 + 6\,320 - 4\,960}{0{,}279\,(28 + 52{,}96)} = 1\,690°.$$

Эта вычисленная температура хорошо согласуется с наблюдениями и почти совпадает с данными Ле-Шателье [1] (1 630°) и Ричардса [2] (1 681°).

Так как газы покидают газогенератор при температуре в 800°, и при этой температуре средняя теплоемкость обеих составных частей равна 0,260, то шахте отдается:

$$(0{,}279 - 800 \cdot 0{,}260) \cdot (28 + 52{,}96) = 18\,520 \text{ кал}.$$

Это количество тепла затрачивается частично на подогрев топлива и его золы, на что идет

$$8\,640 + 320 = 8\,960 \text{ кал}.$$

Далее, из него идет на потери, за исключением потери с уносом 5 — 1,6 = 3,4%, или около 3 300 *кал*.

Наконец, тепло потребляется также для испарения и перегрева влаги кокса; если кокс с 82% C содержит — 12,3% H_2O, что соответствует средним данным, то для 12 *кг* C нужно будет испарить 1,8 *кг* H_2O и перегреть их до 800°; на это пойдет приблизительно $1{,}8 \cdot 600 + 1{,}8 \cdot 700 \times 0{,}48 = 1\,685$ *кал*.

Всего получаем поэтому:

$$8\,960 + 3\,300 + 1\,685 = 13\,945 \text{ ,или около } 14\,000 \text{ кал}.$$

Из расчета выпали, следовательно, около 4 500 *кал*, или около 4%, пошедшие на другую работу. Что эта последняя должна иметь место, доказывает уже содержание 0,5% CH_4. Кокс всегда содержит еще незначительные количества летучих, для дестилляции которых требуется затрата тепла. Кроме того, нужно отметить, что теплоемкости твердых тел при высоких температурах точно не известны и могут быть выше, чем мы принимаем. Наконец, остаточный член баланса является собирательным пунктом для всех ошибок определения. С учетом всех этих обстоятельств результаты нашего расчета могут быть признаны достаточно удовлетворительными.

На самом деле температуры должны быть еще выше, так как имеется небольшое содержание CO_2, и, несомненно, что перед фурмами CO_2 обра-

[1] Le Chatelier, Le Chauffage industriel, Paris, 1920. Немецкий перевод д-ра Финкельштейна, Akadem. Verlagsges, Leipzig, 1922; см. также Brandes, Fenerungstechnische Theoreme aus Le Chatelier «F. t.» Jg. 3, № 12.

[2] J. W. Richards, «F. T.», Jg. 3, № 1.

зуется в существенно больших количествах, впоследствии снова редуцируемых. Оба процесса дают одинаковые по абсолютной величине тепловые эффекты, так как уравнение (2) может быть выведено из (1) и (3). Но так как обе реакции, конечно, следуют по необходимости одна за другой, то действительная температура будет выше, почему и надлежит также рассчитать для сравнения высшую температуру, получаемую при образовании CO_2.

При этом вступают в реакцию:

$$12\ кг\ C + 32\ кг\ O_2 + 105{,}92\ кг\ N_2 = 44\ кг\ CO_2 + 105{,}92\ кг\ N_2 + 97\ 640\ кал.$$

Принимая приближенно искомую температуру в 2 400°, получаем внесенное с углеродом физическое тепло:

$$2\ 400 \cdot 0{,}45 \cdot 12 = 12\ 960\ кал$$

и то же для зольных элементов:

$$2\ 400 \cdot 0{,}2 \cdot 1 = 480\ кал.$$

Потери вследствие более высокой температуры будут соответственно абсолютно выше, но относительно могут быть выражены в размере 5%, т. е. в том же размере, что и в первом случае. Средняя теплоемкость при 2 400° для азота — равна 0,290, для CO_2 — 0,572. Тогда температура получится:

$$\frac{97\ 640 + 12\ 960 + 480 - 4\ 960}{0{,}290 \cdot 105{,}92 + 0\ 572 \cdot 44} = 2\ 550°.$$

Для этой же реакции Ле-Шателье получил по расчету температуру только 2 260° и Ричардс — 2 194°, главным образом, вследствие принятия других значений теплоемкостей.

Для нас же важны здесь собственно не абсолютные размеры температуры, но возможность доказать, что как при образовании CO, так и еще более при частичном образовании CO_2 температуры поднимаются так высоко, что даже самые тугоплавкие золы должны расплавиться и даже обмуровка обычных газогенераторов не может долго выдержать. Это является, далее, доказательством, правильности описанных выше (стр. 49—50) и представленных на фиг. 7 реакций. Так как в действительности золы с точкой плавления выше 1500° без затруднений удерживаются в газогенераторах, то как первоначальные образования CO, так и сгорание ее в CO_2, а также снова наступающая редукция последней в CO — происходят в отношении времени последовательно, а в отношении пространства — в соседних последовательных зонах.

В качестве значительнейших примеров получения воздушного газа здесь надлежит назвать процессы, имеющие место в шахтных печах, особенно в тех случаях, когда дело идет не о чистом сжигании или сплавлении (например, известковые печи, металлоплавильные и т. п.), но о восстанавливающем плавлении (доменные печи). Чем обширней происходящий при этом процесс редуцирования, тем сильнее в тепловом отношении получающиеся газы. В то время как, например, для купольных печей мы получаем газ едва с 10—14% CO, — его содержание в газах медных шахтных печей достигает 20—25%, а для черного металла — доменных печей, мы имеем уже содержание 25—30%. Поэтому часто оказывается предпочтительным присоединить доменную печь к газогенератору, хотя бы за

счет необходимого улучшения качества применяемого топлива; тогда получаемый ценный газ может быть со значительными выгодами применен в заводском производстве.

Доменный газ имеет также колеблющийся в широких границах состав, зависящий от объема восстановительного процесса, происходящего в руде; кроме того, оказывает влияние добавление CO_2 из присутствующих карбонатов (как в руде, так и в известковых флюсах).

По Юптнеру [1] границами содержания отдельных составных частей доменного газа являются:

CO_2	5 — 16%	в среднем	12%
CO	20 — 32%	»	24%
H_2	0,1 — 4,5%	»	2%
CH_4	0,2 — 2,5%	»	2%
N_2	56 — 63%	»	60%
Теплопроизводительность:	700 — 1 050 *кал*	»	900%

3. Полуводяной газ (полугаз), смешанный газ (генераторный газ)

Приведенные нами выше полученные расчетом высокие температуры реакций, связанные с значительными производственными трудностями, уже в самом начале развития газогенераторного дела вызвали изменение процесса путем примешивания охлаждающего средства к воздуху, подаваемому для газификации. Прежде всего применяли для этого воду, или вернее, так как речь идет о газовых реакциях — водяной пар. Содержащийся в водяном паре кислород также реагирует с C с освобождением водорода, причем имеют место следующие реакции:

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2 - 17{,}8\ (38{,}52)\ кг/кал \qquad (5)^2$$

$$C + H_2O = CO + H_2 - 27{,}92\ (38{,}64)\ » \qquad (6)$$

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 - 10{,}84\ (0{,}0)\ » \qquad (7)$$

$$H_2 + {}^1/_2O_2 = H_2O + 57{,}36\ (68{,}08)\ » \qquad (8)$$

Как мы видим, все три возможных процесса по (5), (6) и (7) поглощают тепло, что и приводит к понижению температуры в газогенераторе. Уравнение (8) является уравнением реакции сгорания образовавшегося водорода. Теперь мы считаем необходимым регулировать процесс газификации таким образом, чтобы ни связывания, ни освобождения тепла не происходило. Но и этот процесс газификации при помощи паровоздушной смеси имел весьма большое значение в развитии техники газификации.

К подводимому воздуху прибавляют при этом процессе столько пара, сколько только позволяет топливо и состав получаемого газа, и предотвра-

[1] Jüptner, Heizgase der Technik, стр. 190, Лейпциг, Феликс, 1920.

[2] Величины в скобках получаются при применении жидкой воды вместо водяного пара и представляют, следовательно, в случае уравнения (8) — при сжигании образовавшегося водорода — так называемую высшую теплопроизводительность. Образование жидкой воды при сгорании, конечно, никогда не имеет места, за исключением специальных искусственных условий, как, например, сжигание в калориметрической бомбе. Как правило, расчеты производят по низшей теплопроизводительности, почему и являются основными цифровые величины, поставленные первыми (см. R. F. Halsam, R. F. Mackie и F. H. Reed, Reactions in the fuel bed of a gas producer, «Ind. and Engin. Chem.», 1927, № 1. Ред.).

щают этим путем зашлакование и связанные с ним потери в остатках, понижают чрезмерные количества физического тепла в газе и потери лучеиспусканием, как это показывает сопоставление опытов, проведенных Вендтом[1], в табл. 15:

Таблица 15

Опыты д-ра Вендта

Перешло	При получении воздушного газа, %	При получении смешанного газа, %
На колосники парового котла	0,31	4,78
В полезное тепло, содержащееся в очищенном газе	71,40	74,80
В полезное тепло, содержащееся в смоле	5,70	6,08
В полезное тепло сажи	0,32	0,05
В физическое тепло неочищенного газа	12,54	9,92
В физическое тепло провала	1,15	0,08
В потерю с лучистой теплотой	8,58	4,29
Итого	100,0	100,0

В табл. 16[2] сопоставлены все основные процессы, о которых шла речь, с указанием их особенностей, применяемых конструкций газогенераторов и получаемого состава газа, причем взяты случаи переработки бедного летучими топлива (кокс) и газификации обычного более или менее богатого летучими топлива (обычный уголь). В последнем случае имеет место практически соединение процесса газификации с дестилляцией или сухой перегонкой. Вполне естественно, что между всеми представленными процессами существует тесная зависимость и переходы, подобно тому как и свойства самих топлив колеблются в широких пределах.

Старейший практический опыт прибавления пара был сделан Эбельменом (Ebelmen, 1841), который получил на своем первом газогенераторе с плавлением золы следующие результаты, приведенные в табл. 17.

Описанные выше реакции неоднократно подвергались глубокому исследованию. В особенности здесь надлежит упомянуть опыты Гарриса[3] (Harries), относящиеся преимущественно к реакции 6; результаты их приведены в табл. 18.

Уже при этих опытах оказалось, что вместе с CO образуется и CO_2, и что, следовательно, реакции (5) и (6) имеют место одновременно и все газообразные продукты процесса вступают во взаимодействие по уравнению (7). Последнее уравнение относится к обратимой реакции и выражает собой так называемое равновесие водяного газа. Наступление состояния равновесия зависит от количества взаимно реагирующих веществ, почему мы и даем в графе 7 отношения количеств $(CO \cdot H_2O)$ к $(CO_2 \cdot H_2)$ в духе уравнения реакции. На основании этих отношений Люггин (Luggin) позже вычислил значения константы равновесия (графа 8), которые были независимо опре-

[1] «Forschungsarbeiten» H. 31.
[2] По Тренклеру, Химия топлива, Лейпциг, Шпамер.
[3] «I. f. G.», 1894, стр. 82.

Таблица 16

Основные процессы газификации

Кислород для газификации доставляется	Воздухом		Воздухом и паром		Паром	
Процесс идет	С выделением тепла		Приблизительно в тепловом равновесии		С поглощением тепла	
Топливо	Большое физическое тепло газа		Незначительное физическое тепло газа. Добавление пара в соответствии с сортом горючего	При повышенном (максимальн.) подводе пара необходим подогрев паро-воздушной смеси физическим теплом газа	Или необходим внешний подогрев (практически не выполняется) или прерывистый процесс с переменным горячим воздушным дутьем (газы горячего дутья или теряются или собираются отдельно и используются)	
Бедное летучими — кокс	Вид газа	Воздушный газ, горячий газ	Полуводяной газ, газ всасывающ. генератора		Водяной газ	
	Обычный газогенератор	Простой шахтный газогенератор. Газогенератор с плавлением золы.	Всасывающий газогенератор	См. ниже	Генератор водяного газа	
	Состав газа	2% CO_2, 32% CO, 2—5% H_2	7% CO_2, 22% CO, 18% H_2		5% CO_2, 42% CO, 46% H_2	
	Особенности	Темпер. газа 700—800 °. Ранее мало применялся, пошел в ход лишь после введения газогенераторов с плавлением золы	Температуры и состав газа колеблются в широких пределах (выше для состава с макс. H_2	Мало применим, так как дает малый выход побочных продуктов	Высокая теплопроизводительность газа, может заменить светильный. Малый тепловой к. п. д., если газы горячего дутья не используются в газовых машинах)	
Богатое летучими — уголь	Вид газа	Возд. газ Си ене	Полугаз, смешанный газ	Полугаз Монда	Двойной газ, тройной газ и т. д.	
	Обычный газогенератор	Простой шахтный газогенератор	Новые шахтные газогенераторы. Газогенераторы с вращающейся решеткой	Газогенератор Монда	Газогенератор водяного газа с швельшахтой, генератор двойного газа и т. д.	
	Состав газа	5% CO_2, 23% CO, 6% H_2, 3% CH_4	3% CO_2, 2·% CO, 12% H_2 3% CH_4	16% CO_2, 13% CO, 25% H_2 4% CH_4	7% CO_2, 28% CO, 45% H_2, 8% CH_4	
	Особенности	Теперь мало применяется	Наиболее употребительный вид газа для нагревательных печей. Состав сильно зависит от количества добавляемого пара	Температура газа низка. Состав почти одинаков при всех топливах	Высокая калорийность, использование тепла топлива посредственное. Идеальная замена светального газа, так как получается из всех топлив	

Таблица 17

Опыты Эбельмена, 1841

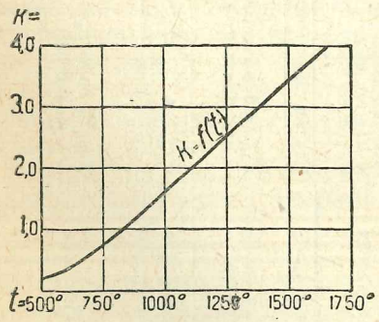
Объемные проценты	При подводе только воздуха 1	При подводе воздуха с водяным паром 2	При подводе воздуха с водяным паром 3	Среднее из 2 и 3
CO_2	33,04	27,62	26,70	27,2
CO	4,43	14,29	13,65	14,0
H_2	0,41	5,65	5,49	5,5
N_2	62,12	52,44	54,16	53,3

Таблица 18

Опыты Гарриса

Температура °Ц	Мощность газового потока, *л/мин*	H_2O %	CO %	H_2 %	CO_2 %	$\frac{(CO)\cdot(H_2O)}{(CO_2)\cdot(H_2)}$	*K* вычислено по Люггину
1	2	3	4	5	6	7	8
674	0,9	87,12	0,63	8,41	3,84	1,70	0,49
758	1,8	65,82	2,67	22,28	9,23	0,85	0,70
838	3,28	47,15	7,96	32,77	12,11	0,94	0,98
861	5,3	39,18	11,01	36,48	13,33	0,89	1,07
954	6,3	17,21	32,70	44,43	5,66	2,25	1,41
1 010	6,15	3,02	48,20	47,30	1,45	2,12	1,65
1 060	9,8	3,68	46,31	48,84	1,25	2,78	1,88
1 125	11,3	0,30	48,34	50,73	0,60	0,48	2,11

делены также Ганом [1] (Hahn) с построением графика их изменения с температурой (фиг. 8). Подобные же опыты были проведены позднее Клементом (Clement) и Адамсом [2] (Adams), а также Гвоздем [3] (Gwosdz), с различными сортами углей для установления возможности путем каких-либо каталитических воздействий осуществить преобладание одной из реакций (5) или (6). Оказалось, что скорость разложения водяного пара при пористых углях (например, при древесном угле) является максимальной, и что, с другой стороны, зольные составные части природных углей обусловливают повышение содержания CO_2.



Фиг. 8. Константы равновесия водяного газа по Гану.

Практической проработкой этого вопроса путем постановки опытов на газогенераторах выявили существо происходящих взаимоотношений в своих

[1] «Z. f. Phys. Ch.», 1903, стр. 385.
[2] «U. S. Bureau of Mines», Bull. 7.
[3] Gwosdz, Uber die Zersetzung von Wasserdampf an glühender Kohle, Dess, Berlin 1917; см. также «Glückauf», 1918, стр. 357.

работах Бон и Уилер [1] (Bone и Wheeler) и К. Нейман [2] (Dr-Ing. K. Neumann). Первые исследовали условия работы газогенератора Монда и получили данные, представленные на табл. 19. При этом перерабатывался северобританский каменный уголь с 48% C, 5,4% H_2, 1,0% S, 1,4% N_2, 10,0% O_2, 4,2% золы и 36% летучих. Вследствие примешивания дестилляционных составных частей эти данные менее пригодны для теоретических выводов, что не следует упускать из виду. Но во всяком случае можно из них установить быстрое понижение относительного количества

Таблица 19

Опыты Бона и Уилера

	Группа опытов 2					Группа опытов 1				
Средняя высота слоя топлива, *м*	1,06					2,13				
Средняя производительность, *кг/час*	1 120					574				
Температура насыщения пара подводимого воздуха, °Ц	45	50	55	60	70	60	65	70	75	80
Состав газа: CO_2	2,35	2,50	4,40	5,10	9,25	5,25	6,95	9,15	11,65	13,25
CO	31,60	30,60	28,10	27,30	20,85	27,30	25,40	21,70	18,35	16,05
H_2	11,60	12,35	15,45	15,50	19,75	16,60	18,30	19,65	21,80	22,65
CH_4	3,05	3,00	3,00	3,05	3,45	3,35	3,40	3,40	3,35	3,50
N_2	51,40	51,55	49,05	49,05	46,70	47,50	45,90	46,10	44,85	44,55
Горючих составных частей, %	46,25	45,95	46,45	45,85	44,05	47,25	47,10	44,75	43,30	42,2
Теплопроизводительность газа при 0° Ц и 760 *мм*:										
высшая	1 600	1 590	1 610	1 500	1 570	1 670	1 669	1 598	1 549	1 526
низшая	1 520	1 500	1 510	1 490	1 480	1 557	1 547	1 469	1 416	1 382
Выход газа, отнесенный к 0° Ц и 760 *мм*, в $м^3/т$ угля	3 790	3 750	3 760	3 820	—	3 810	3 704	3 898	4 012	4 065
Количество пара на 1 *кг* газифицированного угля, *кг*	0,20	0,21	0,32	0,45	0,80	0,45	0,55	0,80	1,10	1,55
Разложение паров, %	100	100	100	76	—	87	80	61	52	40
Термический к. п. д., включая пар для дутьевого аппарата	0,73	0,718	0,722	0,725	—	0,778	0,750	0,727	0,701	0,665
Содержание аммиака в газе, отнесенного к сульфату аммония, на 1 *т* угля, *кг*	—	—	—	—	—	17,7	19,97	22,9	29,15	32,8

[1] «Engineer», 1907, стр. 639, 1908, стр. 837 и 874.
[2] «Forschungsarbeiten, № 140; см. также «Z. d. V. d. I.», 1911, стр. 892.

разлагающегося водяного пара с повышением его подачи. Несмотря на это, газ имеет очень высокое содержание H_2, так что он чрезвычайно сильно отклоняется по составу от обычного смешанного газа; газ этот имеет для всех различных топлив почти постоянный, только лишь немного колеблющийся, состав, почему и носит даже специальное название — по имени изобретателя, проведшего также процесс в практику, — Людвига Монда (Ludwig Mond) — вполне теперь общепринятое, — «газ Монда».

Так как процесс Монда является вполне определенным и, кроме того, известны также и другие сходные способы получения газа, мало отклоняющиеся в общем от основного, то все эти газы мы и объединяем в группу паровых газов. Химические основания их получения совершенно аналогичны полугазу, почему мы их здесь и сопоставляем вместе. К процессу Монда мы еще вернемся позднее для более детального рассмотрения.

Опыты Неймана напротив были поставлены именно в порядке основных исследований процесса и поэтому его работа «Процессы в газогенераторе в зависимости от второго закона термодинамики» [1] имеет исключительное значение для анализа процесса образования полугаза. Опыты его велись с коксом в газогенераторе диаметром 0,47 *м* при варьировании примешивания пара к изменяющимся количествам воздушного дутья. Газы отбирались из пяти различных уровней топливной колонны и из газового пространства. Наиболее отвечающие средним производственным возможностям опыты сведены в табл. 20, позволяющую проследить полностью развитие процесса. Сопоставление свойств газов, полученных при всех 17 опытах при весьма разнообразных условиях, приведено на табл. 21. Анализ полученных данных для выявления условий равновесия процесса получения водяного газа показывает, что при среднем содержании пара в дутье (около 0,4 *кг* на 1 *кг* угля) устойчивое равновесие достигается уже в самом нижнем слое топлива над решеткой (причем температуры получаются между 1 300 и 1 400°). Если увеличить приток пара, т. е. начальную концентрацию водяного пара (парциальное давление водяного пара в паровоздушной смеси), то необходимо снизить скорость дутья, чтобы рост притока водяного пара компенсировать увеличением длительности реакции. Газификация твердого углерода не заканчивается в нижнем слое. При всех опытах неизменно оказывалось, что разложение пара, восстановление образовавшейся CO_2 до CO и самостоятельное образование окиси углерода имели место и в остальных зонах топливного слоя. Поэтому значительная высота засыпки топлива не только благоприятствует восстановлению CO_2, но и повышает содержание в газе CO и H_2, одновременно снижая остаток неразложившегося водяного пара, который вообще всегда оказывает вредное влияние на термические свойства газа. Однако для получения сильного газа его состав в нижних слоях является решающим, т. е. изменения, которые газовый поток претерпевает в выше лежащих слоях, являются лишь дополняющими основной состав. Это же обстоятельство подчеркивает важность реакции образования водяного газа для процесса газификации вообще, так как она в главной части протекает именно в нижнем слое.

[1] «Die Vorgänge im Gasgenerator auf Grund des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik», «Forschungsarbeiten», H. 140.

Таблица 20

Опыты Курта Неймана

№ опыта		7	8	9	10	11	12
Содержание водяного пара в паро-воздушной смеси на одну объемную часть, *м³/час*		0,335	0,244	0,184	0,140	0,137	0,117
Подведенное количество воздуха (15°,1 *ат*), *м³/час*		36,8	56,3	81,9	113,4	128,0	147,3
Состав газа в нижнем слое	CO_2 объемный %	8,81	8,39	6,88	5,26	4,73	4,11
	CO » %	11,68	16,10	20,22	24,02	23,35	25,84
	H_2 » %	12,12	11,39	10,31	9,49	9,09	9,19
	CH_4 » %	0,23	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29
	H_2O » %	22,60	14,35	9,16	5,99	5,28	4,15
	N_2 » %	44,56	49,51	52,86	54,96	55,27	56,42
Температура, °Ц		1 120	1 180	1 220	1 260	1 280	1 290
Константа равновесия K		2,05	2,27	2,42	2,57	2,64	2,68
$K' = \frac{(CO)\ (H_2O)}{(CO_2)\cdot(H_2)}$		2,47	2,42	2,70	2,88	3,12	2,84
Низшая теплопроизводительность, *кал/м³*		720	863	919	978	1 000	1 005
Количество газифицированного углерода, *кг/час*		7,00	11,36	17,69	25,35	28,60	33,00
Потребление водяного пара на 1 *кг* углерода, *кг*		1,820	1,105	0,708	0,495	0,459	0,379

Мы должны, однако, не только стремиться к достижению равновесия — равномерности процесса, — но и подобрать его факторы таким образом, чтобы из двух возможных реакций (5) и (6) преобладала последняя. Это возможно лишь при правильном и тщательном замере подводимого с дутьем водяного пара. Так как из всех составляющих газа теплопроизводительностью обладают лишь CO и H_2, то необходимо при практическом газодобывании так подбирать внешние условия, чтобы всемерно увеличить содержание CO и H_2. Это может быть достигнуто только правильным подбором паро-воздушной смеси, так как одна высокая температура, как это ясно показывает, например, опыт 7, даже при достижении равновесия вовсе не исключает значительного образования CO_2 и водяного пара. Вредное влияние избытка подводимого пара на состав газа сказывается тем сильнее, чем меньше высота засыпки топлива, так как в этом случае образовавшийся в нижнем слое газ не имеет достаточной возможности перевести избыток водяного пара и CO_2 в водород и окись углерода.

Наилучший газ, как показывают опыты, получается при подводе около 0,4 *кг* водяного пара на 1 *кг* угля. В производственной практике часто приходится по разным причинам подводить больше водяного пара, чем это требуется оптимальным режимом, чтобы уменьшить влияние нежелательных составных частей, получающихся при применении некоторых топлив. В этом случае получается всегда газ с меньшей теплопроизводи-

Таблица 21

Опыты газификации Курта Неймана

№ опыта	Полная влажность 15° П, $м^3/час$	Пар, $м^3/час$: из воздуха	Пар, $м^3/час$: Дутье	Пар, $м^3/час$: Сумма	Состав полученного сухого газа: CO_2	O_2	CO	H_2	CH_4	N_2	Температура, °П	Выход сухого газа 15°, $м^3/час$	Содержание H_2O пара в газе 15°, $м^3/час$	Содержание H_2O в сыром газе, %	Количество газифицированного С: кг/час	Количество газифицированного С: $кг/м^3 час$	Выход H_2O-пара в г на 1 $м^3$ сухого воздуха	Температура насыщенного водяного пара, °П	Расход H_2O-пара, кг/кг С
1	59,6	0,84	24,60	25,44	12,1	—	16,0	16,0	0,6	55,3	420	86,3	24,2	21,97	12,18	70	451	74	2,09
2	81,2	0,91	24,30	25,21	11,8	—	18,0	16,4	0,4	53,4	450	116,9	22,8	16,40	17,37	101	327	69	1,45
3	101,0	1,21	24,20	25,41	8,8	—	21,2	15,1	0,7	54,2	460	144,8	20,3	12,3[illegible]	21,82	126	265	65	1,22
4	122,1	1,47	24,20	25,67	7,4	—	23,5	14,2	0,6	34,3	530	174,1	18,1	9,40	26,99	156	211	61	0,95
5	140,7	1,55	24,10	25,65	6,5	—	23,9	13,1	0,5	56,0	490	199,8	16,3	7,52	30,38	175	192	60	0,85
6	148,9	1,64	23,20	24,84	6,9	—	25,2	12,1	0,2	55,6	500	211,2	12,7	5,56	33,59	194	175	58	0,74
7	36,8	0,62	12,75	13,37	13,3	—	13,4	14,3	0,2	58,8	350	49,8	14,7	22,40	6,58	38	383	71	2,03
8	56,3	0,65	12,55	13,20	10,4	—	18,0	11,5	1,0	59,1	410	76,6	11,6	13,18	11,08	64	247	64	1,19
9	81,9	0,90	12,50	13,40	6,6	—	24,9	11,6	0,8	56,1	480	112,6	9,6	7,88	17,90	103	173	58	0,75
10	113,4	0,94	12,55	13,49	5,2	—	27,3	10,0	0,5	57,0	510	156,8	8,8	5,49	25,45	147	125	52	0,53
11	128,0	1,57	13,10	14,67	3,9	—	29,3	10,8	0,1	55,9	500	175,9	8,7	4,76	28,82	167	120	51	0,51
12	147,3	1,68	12,50	14,18	3,8	—	27,6	9,5	0,2	58,9	530	201,9	11,4	5,43	31,40	182	101	48	0,45
13	58,5	0,57	—	0,57	3,8	—	23,8	1,9	0,1	68,4	360	67,1	1,8	2,62	9,80	57	10,3	10	0,058
14	75,8	0,83	—	0,83	5,5	—	24,4	2,9	0,7	66,5	430	88,4	2,2	2,45	13,30	77	11,5	12	0,062
15	98,2	1,13	—	1,13	3,0	—	29,0	2,8	0,3	64,9	440	116,0	2,3	2,02	18,42	106	12,1	13	0,061
16	121,8	1,18	—	1,18	3,0	—	28,1	2,8	1,1	65,0	520	146,0	2,2	1,65	23,10	134	10,1	10	0,051
17	152,0	1,46	—	1,46	2,5	—	29,7	3,6	0,4	63,8	550	184,1	1,2	0,82	29,55	171	10,0	10	0,049

тельностью, чем нормальный и необходимо по возможности избегать такого изменения процесса, так как осуществление правильного режима газогенератора само по себе гораздо ценнее, чем даже достижение лучшей степени использования топлива.

Поэтому для достижения равновесия в реакции получения водяного газа непосредственно над решеткой генератора необходимо всегда выполнение двух условий: длительность реакции и каталитическое воздействие углерода должны быть достаточны, чтобы обеспечить равновесие газов, получающихся при газификации углерода и разложении водяного пара. Эти условия имеют значение не только для кокса, но и для других сортов горючего, так как топливо в нижнем слое каждого газогенератора, вступающее в зону газификации, всегда более или менее приближается к чистому углероду. При этом температура не имеет особого значения, так как в самом нижнем слое она всегда достаточно высока. В проведенных опытах она никогда не опускалась ниже 1 220°.

Равновесие между твердым топливом и газом по уравнению (3) имеет меньшее значение при газификации, чем равновесие реакции водяного газа по уравнению (7), так как несмотря на сильное каталитическое воздействие угля, длительность реагирования всегда недостаточна, чтобы осуществить действительное равновесие между газом и топливом. Данные, полученные различными авторами при исследовании равновесия системы углекислота-окись углерода, не могут быть непосредственно распространены на процессы в газогенераторе, как как установление равновесия зависит не только от давления и температуры, но и от длительности реакции, обусловливаемой в свою очередь действием имеющихся катализаторов. В большинстве случаев время реагирования в газогенераторе гораздо короче, чем при подобных опытах [1].

Исследования Неймана касались также изменения газа при выходе его из слоя топлива. При этом во всех случаях наблюдалось существенное ухудшение в границах от 10 до 27%. Можно утверждать, что реагирование в газе еще имеет место не только в самом верхнем слое топлива, но и при выходе из него, причем взаимодействие составных частей при постоянном

---

[1] О значении времени реагирования и оптимальных практических длительностях контакта для превращения CO_2 в CO см. интересную работу Уокера, давшего кроме практических выводов о необходимости повышения времени контакта в газогенераторах примерно до 4 сек. (вместо 1—2 сек.) еще и ценные формулы для подсчета потери на радиацию и теплопроводность, для расчета высоты зоны горения и производительности газера; анализ по этим формулам опытных данных Бона и Уилера, а также Гибсона и Гвайтера (Gibson u. Gwyther) дает согласованность высокой производительности газера с низкими значениями этих потерь. В опытах Олькотта, однако, эта зависимость не нашла подтверждения, что Уокер объясняет малыми размерами опытного агрегата (диаметр 250 *мм*) и отсутствием подогрева дутья. См. W. I. Walker, A New Method of Analysis of the Time Factor in Gas-Producer and Blast Furnace Operation, «Selected Engineering Paper» № 129, 1932.

О влиянии катализаторов (в первую очередь зольных элементов на течение реакции) в особенности для водяного газа: $CO + H_2O = CO_2 + H_2$ см. I. Gwosdz, U. die Zersetzung v. Wasserdampf an glühenden Kohlenstoff, Berlin, 1917; англ. «Gas Journal», 27/IX 1926, с. 882. Действие катализаторов на образование метана и C_nH_m — см. К. А. Hofmann u. Groll, «Z. f. angew. Chemie», т. 40, 1927, с. 282. См. также у Ауфгейзера, Топливо и его горение, перевод под редакцией М. К. Гродзовского, 1933. Ред.

объеме должно повлечь, как это установил Ле-Шателье [1], значительное выделение сажи. Весьма вероятно, хотя это и отрицает Нейман, что важной причиной ухудшения газа является влияние рантового газа (по стенам генератора), богатого углекислотой.

В остальном с выводами д-ра Неймана вполне можно согласиться, не упуская только из виду, что эти выводы относятся исключительно к газификации с небольшим сравнительно подводом пара — в 0,4 *кг* на 1 *кг* С топлива. Это соответствует примерно (для кокса) подводу пара в количестве 0,10 до 0,12 *кг* на 1 $м^3$ воздуха, что в большинстве случаев на практике оказывается недостаточным [2]. При повышенном же подводе пара так называемое равновесие водяного газа не может быть достигнуто и соответственно доля неразложившегося пара будет выше, чем при равновесии.

Отсюда следует логически, что характер реакции для случая твердого С можно предвидеть на достаточно далеких ее стадиях, вплоть до установления состояния равновесия водяного газа между образующимися составляющими. Если подвод пара не является чрезмерным, это состояние наступает весьма быстро. В противном случае ухудшенное разложение водяного пара приводит к более низким температурам, как это показывают опыты, хотя на первый взгляд при этом уменьшается роль реакции разложения водяного пара, идущей с небольшим поглощением тепла. Закономерности первичной реакции не выявлены также и этими опытами; однако из опытов 1—6 усматриваем, что намечаются возможности равновесия при 1 100—1 200°, чему, впрочем, препятствует вообще прекращение реагирования ниже этой температуры. Можно считать установленным, что при этом происходит образование CO из CO_2, а также образование H_2 из H_2O, причем последнее превращение преобладает. Другими словами можно следующим образом характеризовать процессы при повышенном подводе пара: в нижних слоях, где температура около 1 100°, образуются с одной стороны, CO по уравнению (2) [соответственно также (2), (4), (3)] и, с другой стороны, CO_2 и H_2 по уравнению (5); получающаяся CO_2 вновь восстанавливается по уравнению (3), каковая реакция при понижении температуры идет все слабее и примерно при 800° совершенно останавливается. Процесс же по уравнению (5) идет и при более низких температурах, что может частично объяснить более высокое содержание углекислоты в конечном газе. Во всяком случае реакции с твердым С нельзя оставлять в стороне при рассмотрении процесса. Для получения по возможности полного разложения пара и хорошего состава газа, температуры в нижнем слое должны быть выше 1 100°, вообще же результаты будут существенно лучше, если эту температуру держать не ниже 1 300°.

Попытаемся, далее, вычислить температуру реакции образования полугаза (генераторного газа). Для этого случая следует взять 10-й опыт Неймана. Состав получаемого газа: 5,2% CO_2, 27,3% CO, 10,0% H_2, 0,5% CH_4, 57,09 N_2, теплопроизводительность газа 1 132 *кал* и температура 510°. Разложение пара доведено до 88%; наиболее высокая температура была 1 340°.

[1] «St. u. E.», 1913, стр. 1485.
[2] В эксплоатационном отношении. Ред.

Реакции протекают по следующим уравнениям:

$$12\ кг\ C + 32\ кг\ O_2 + 105{,}92\ кг\ N_2 = 44\ кг\ CO_2 + 105{,}92\ кг\ N_2 + 97\ 640\ кал, \quad (1)$$

$$12\ кг\ C + 16\ кг\ O_2 + 52{,}96\ кг\ N_2 = 28\ кг\ CO + 52{,}96\ кг\ N_2 + 29\ 440\ кал, \quad (2)$$

$$12\ кг\ C + 35\ кг\ H_2O = 44\ кг\ CO_2 + 4\ кг\ H_2 - 17\ 800\ кал. \quad (5)$$

По уравнению (1) на 1 *кг* CO_2 приходится всегда — 2,41 *кг* N_2
» » (2) » 1 *кг* CO » » — 1,89 *кг* N_2
» » (5) » 1 *кг* H_2 » » — 11,0 *кг* CO_2

По составу газа мы определяем веса составляющих в 1 $м^3$:

102 *г* CO_2; 341 *г* CO; 9,00 *г* H_2; 3,6 *г* CH_4; 717 *г* N_2.

По уравнению (2) на 341 *г* образующейся CO приходится 644 *г* N_2, следовательно, 73 *г* N_2 получается по уравнению (1), вследствие чего по нему должны получиться 30 *г* CO_2. Остальные 72 *г* CO_2 получаются по реакции (5) и соответствуют поэтому 6,55 *г* H_2. Остальные 2,45 *г* водорода, так же как 3,6 *г* CH_4, являются продуктами дестилляционного характера; так как их образование не имеет влияния на характер процесса, то они могут быть при расчете опущены.

В соответствии с этим для образования 1 $м^3$ газа указанного выше состава уравнение (1) должно участвовать в реакции 0,122 раза, уравнение (2) — 0,0068 раза и уравнение (5) — 0,0164 раза.

Поэтому при реакциях произойдет следующее выделение тепла:

По уравнению	(1)	+ 360 *кал*
» »	(2)	+ 65 »
» »	(5)	— 29 »
Итого		+ 396 *кал*

Эти же данные можно получить гораздо проще по предложению Дихмана [1] (Dichmann), если согласно уравнениям (1)—(8) взять количества тепла, выделяемые на 1 *кг* образующихся газов:

1 *кг* CO_2	выделяет при образовании	2 220 *кал*
1 *кг* CO	» » »	1 050 »
1 *кг* H_2	поглощает » »	28 680 »

причем безразлично, каким путем произошло образование вещества Тогда для предыдущего случая мы просто получаем для наших весовых количеств:

Для CO_2	+ 226 *кал*
» CO	+ 358 »
» H_2	— 188 »
Итого	+ 396 *кал*

[1] Dichmann, Der basische Herdofenprozess, Berlin, Julius Springer, 1910.

Дальнейшие расчеты ведем следующим образом: принимаем ориентировочно искомую температуру за 1 200°, так как для образования 1 $м^3$ газа требуется 176,68 *г* С, то это количество принесет

$$0{,}1767 \cdot 1\,200 \cdot 0{,}45 = 95 \text{ } кал$$

и соответствующие зольные элементы примерно

$$0{,}018 \cdot 1\,200 \cdot 0{,}2 = 4 \text{ } кал.$$

Так как зола не отводится в жидком виде, то она нагревает подводимый воздух до начала реакции; однако можно считать, что тепло вносимое таким образом воздухом, одновременно отводится с остатками, так что в общем приход тепла не имеет места. Потери можно определить на основании расчетов опытов Неймана, а также и других авторов (например, Вендта), в 5% на излучение и теплопроводность, так что для зоны реакции можно принять 3%. Это соответствует

$$0{,}03 \cdot 1\,767 \cdot 8\,100 = 43 \text{ } кал$$

для вошедших в расчет 176,68 *г* С. Средняя теплоемкость 1 $м^3$ газа указанного выше состава при 1 200° равна 0,345. В соответствии с этим температура определяется в:

$$\frac{396 + 95 + 4 - 43}{1 \cdot 0{,}345} = 1\,300°,$$

что хорошо согласуется с наблюдением. В действительности температура несколько ниже, так как теплоотдача паро-воздушной смеси недостаточно полна и так как состав газа в нижнем слое несколько отклоняется от принятого.

Во всяком случае этот расчет дает ясное понятие о существе различий с приведенными ранее и о способе выполнения контрольных расчетов.

4. Регенеративный газ

Вместо пара можно применять в качестве охлаждающего средства также CO_2, так как реакция по уравнению (3) также идет с поглощением тепла подобно (5) и (6), и притом даже в большей степени, считая на 1 моль углерода. Для этого прежде всего могут быть применены содержащие CO_2 отходящие газы, получающиеся при горении горючего газа. Однако они были применены сравнительно поздно и не по указанным только что основаниям, но с намерением осуществить химическую регенерацию отходящих газов. Сименс (Simens) в своем D. R. P. 69651 (1881 г.) предложил для экономии топлива отводить дестилляционные газы из швель-шахты, сжигать их в камере и получившиеся продукты горения подводить снизу в шахту газогенератора вместе с паровым дутьем (газопаровая смесь). Дальнейшее развитие идеи химической регенерации сделано в D. R. P. 72891 (1892 г.) и 72899, дающих способ более общего использования отходящих газов промышленных печей, причем соответствующие установки уже нашли применение в производстве. Само собой разумеется, что нельзя получить генераторный газ непосредственно из отходящих газов, так как для этого потребовался бы подвод к газогенератору со стороны слишком

больших количеств тепла. Фердинанд Фишер [1] при детальном изучении вопроса пришел к выводу, что можно подводить лишь 1 часть CO_2 на 4 части кислорода, что соответствует, вероятно, суммарному процессу по уравнению

$$5C + 2O_2 + CO_2 = 6CO,$$

причем при условии применения чистой CO_2 должен по расчету получиться теоретический состав газа с 44,3% CO и 55,7% N_2. Но в действительности вследствие значительного разбавления отходящих газов азотом мы не можем достичь полного их разложения без подогрева, почему мы и получаем фактически лишь состав газа с 34,4% CO и 65,6% N_2.

При этом использование топлива определяется лишь в 78%, что необходимо признать недостаточным. Так как Сименс подводит, кроме того, также и пар, то Фишер принимает при температуре отходящих газов в в 1 200° величину теплопроизводительности получаемого газа в 1 295 *кал* и приходит к выводу, что процесс регенерации отходящих газов является менее выгодным, чем получение полуводяного газа, тем более, что круговорот больших количеств азота с газом влечет неизбежные потери. Поэтому он оспаривает возможность заявленной 50% экономии топлива. Этот вывод Фишера является господствующим; подобное же утверждение мы находим, например, у Штрахе [2] (Strache). К этому же приходит и Гвоздь [3] (Gwosdz) в своем возражении на статью Эссиха [4] (Essich), причем он ставит под сомнение возможность пониженного потребления топлива при получении газа и ожидает некоторого преимущества в этом отношении лишь при высоких температурах отходящих газов.

Однако это старое, но от повторений не сделавшееся более истинным, убеждение требует детального разъяснения. Отходящие газы содержат столько же азота, как и воздух, только вместо 21 части O_2 мы имеем частично или полностью 21 часть CO_2. Так как, далее, по уравнению (2) или (3) на 1 часть С вступает в реакцию также 1 часть O_2 или соответственно CO_2, то никакое разбавление, никакое обогащение не наступят и не должны ожидаться. Газ должен теоретически всегда иметь состав, сходный с воздушным газом (см. стр. 61; см. также расчеты Фишера в упомянутой работе). Однако различие заключается в том, что по уравнению (2) мы получаем лишь 1 молекулу CO, тогда как по уравнению (3) — 2 молекулы CO, вследствие чего получается возможность получения того же количества газа с меньшей затратой топлива. Это имеет силу даже в случае искусственного подвода тепла, пока к. п. д. такого процесса держится в определенных обычных границах. Так как затрата тепла по уравнению (3) на дополнительную молекулу CO равна 38,76 *кал*, в то время как теплопроизводительность ее по уравнению (4) достигает 68,2 *кал*, то экономия в топливе возможна в том случае, если к. п. д. процесса выше чем 38,76 : 68,2 = = 57%, что может быть принято почти для всех мыслимых случаев.

Значительно лучше складываются условия при процессе газификации. При этом теплота реакции является избыточной и должна быть по произ-

[1] Fischers, Jahresberichte, 1890, стр. 190; см. также Fischer, Chem. Technologie des Brennstoffe, т. 2, Брауншвейг, Vieweg.
[2] «Handbuch der Gastechnik», Bd. 2, стр. 201.
[3] «F. T.», Jg., 9, H. 9.
[4] «F. T.», Jg., 8, H. 22.

водственным основаниям отведена или уничтожена. Ограничением при этом является невозможность слишком понизить температуру реакции, так как в этом случае может значительно пострадать полнота процесса. Если в согласии с вышесказанным принять низшую температуру реакции в размере 1 300°, что является обычным по многочисленным данным и соответствует условиям возможно полного восстановления CO_2, то примешиваемые количества отходящих газов определяются следующим образом. На стр. 75 уже были вычислены количества тепла, освобождающиеся при реакции по уравнению (2). Если проделать такой же расчет, но с принятием более низкой температуры, потери только в 3%, так как теплота плавления шлака отпадает, и подогрева воздуха до 1 300°, то получим 36 200 *кал*, с образованием 80,96 $м^3$ газа. К этому уравнению присоединяется уравнение (3), которое мы можем написать так:

$$12\ кг\ C + 44\ кг\ CO_2 + 105{,}92\ кг\ N_2 = 56\ кг\ CO + 105{,}94\ кг\ N_2 - 38\,760\ кал.$$

Тогда мы можем написать следующее равенство, предположив, что реакция (3) протекает x раз за то время, пока реакция по уравнению (2) протекает 1 раз:

$$\frac{36\,200 + x \cdot 38\,760}{0{,}268 \cdot (80{,}96 + x \cdot 149{,}92)} = 1\,300,$$

$$x = 0{,}089$$

При этом мы получим из 13,068 *кг* C суммарно 32,99 *кг* CO и 62,39 *кг* N_2 или 26,4 $м^3$ CO и 49,6 $м^3$ N_2, в общем 76,0 $м^3$ газа.

Состав этот довольно точно соответствует теоретическому. Но так как на 1 *кг* C образуется 76,0 : 13,068 = 5,81 $м^3$, в то время как по уравнению (2) должно получиться лишь 5,36 $м^3$, то мы получаем в результате возможную экономию в топливе без применения подогрева порядка 8%. Примешивание отходящих газов достигает 16,25% общего количества или соответственно 19,4% от подводимого воздуха.

Мы можем, однако, применить гораздо большую примесь отходящих газов и соответственно бо́льшую экономию топлива, если ввести подогрев, отходящих газов, относительно которого Гудлер [1] (Hudler) указывает, что на основании различных сравнительных расчетов он выявил возможность экономии, превышающую 10%, которая в основном должна возвращаться в виде физического тепла отходящим газам. Согласно ранее изложенному мы можем, однако, ожидать получения экономии также и без подогрева, с превращением CO_2 в полезную CO, причем углекислота играет роль передатчика кислорода.

Труднее провести сравнение с процессом получения полуводяного газа: как это показывает пример, приведенный на стр. 74, в этом случае течение реакций происходит значительно сложнее. Однако и в этом случае нужно ожидать экономии горючего, как это показывают следующие расчеты. Коэфициент полезного действия газогенераторов независимо от их конструкций и различия процессов довольно устойчив, так как практически потери в зоне реагирования являются только потерями на излучение (исключая генераторы с плавлением золы). Различны лишь температуры процесса и физическое тепло выдаваемого газа. Но при одинаковых температурах, а их получение является целью, можно с достаточной точностью считать к. п. д. одинаковыми для обоих сравниваемых рабочих процессов. Именно здесь, между прочим, делает ошибку Штрахе [1], который при расчетах с полуводяным газом состава 37,4% CO и 8,5% H_2 определил его к. п. д. в 83,8% (по отношению к холодному газу), в то время как для регенеративного газа он дает только 73,7%. Этот способ является, как будет показано далее, неправильным. Нет никакого сомнения в том, что вместо пара можно подводить отходящие газы, что дает ту же температуру и в результате и тот же к. п. д. Основным фактором сравнения должно явиться количество газа или соответственно его суммарная теплопроизводительность, получаемая из 1 *кг* угля. Если мы выберем основой для сравнения кокс, так как он является наиболее простым случаем, и применим случай уже вычисленных ранее примеров, которые со средними данными практики в общем согласуются, то получим для газа с дутьем на отходящих газах выход в 5,81 $м^3$; по составу газа, приведенному на стр. 61 — с незначительным содержанием H_2 и CH_4 — получаем теплопроизводительность газа в 1 080 *кал*. Следовательно, на 1 *кг* C приходится примерно около 6 280 *кал* в пересчете на холодный и чистый газ. При получении полуводяного газа по опыту 10 (стр. 72) на 1 *кг* C приходится 5,66 $м^3$ газа с калорийностью в 1 130 *кал*, это составляет в общем 6 410 *кал* по расчету на холодный и чистый газ. Но для этого процесса кроме подвергаемого газификации углерода необходимо разложить 59 *г* водяного пара на каждый куб. метр газа. Если принять в соответствии с опытными данными степень разложения пара в 88% и к. п. д. парообразования — включая паропроводы — в 66%, то соответствующее увеличение потребления углерода будет

$$\frac{5{,}66 \cdot 0{,}059 \cdot 60}{0{,}88 \cdot 0{,}66 \cdot 8\,110} = 0{,}0425\ кг.$$

Следовательно, в общем на 5,66 $м^3$ газа пойдет 1,0425 *кг* C, и тепловой выход из 1 *кг* C составит около 6 150 *кал*.

Таким образом вычисляемая разница оказывается лишь незначительной, около 7%; она делается больше, если применить отходящие газы с более высокой температурой. Но главное преимущество заключается в устранении пароснабжения, влекущего за собой кроме расходов на топливо также и другие затраты. Кроме того, отходящие газы и сами всегда содержат водяные пары, так что охлаждающее действие получается еще более значительным. Практически это обстоятельство используется в несколько модифицированном виде в специальном испарителе Бендера и Фрембса (Bender u. Frambs), специально повышающим содержание водяного пара в отходящих газах. Многочисленные опыты в этом направлении велись также и другими способами. Нужно только быть осторожным, чтобы не слишком снизить чересчур большим добавлением CO_2 температуру реакции, так как при этом всегда снижается полнота разложения. В этом случае достигнутое охлаждение ведет к ухудшению состава газа; при употреблении водяного пара, напротив, нужно иметь в виду, как это уже указано на стр. 74, что восстановление CO_2 с падением температуры протекает весьма слабо и при 800° вообще прекращается, в то время как разложение избыточного пара еще происходит. Во всяком

[1] I. f. g., 1921, стр. 475.

[1] «Handbuch der Gastechnik».

случае при правильном ходе работы снижение температуры реакции при помощи отходящих газов весьма легко осуществимо и дает во всех случаях экономию топлива; особенностью способа является его дешевизна в отношении производственных расходов и его независимость от каких-либо добавочных питательных устройств.

Восстановление CO_2 имеет собый интерес для улучшения бедных газов с содержанием значительного количества CO_2, как, например, доменных газов. Это рекомендовалось особенно Ю. Эренвертом [1] (J. Von Ehrenwerth). Фредерик Фишер предсказывал и для этого способа отсутствие серьезных результатов, но детальные работы Ф. Лермана младшего[2] (F. Lürmann Jun.) показали, что преимущества способа все же весьма значительны. Если принять, что доменный газ будет вводиться в более высокую зону, чем воздух, и что в этой зоне температура достигает не менее 1 100°, и если принять, далее, переменную температуру колошниковых газов от 100 до 1 000°, то регенерируемая часть подводимой массы доменного газа достигнет, согласно расчету, от 1,13 до 3,56 *кг* на каждые 5,6 *кг* воздуха, тепловой же эффект на 1 *кг* газового угля поднимается с 6 680 до 7 178 *кал*; состав газа также улучшается немного с поднятием температуры. Экономия в топливе достигает поэтому при температуре газа в 1 000° почти 18%, что является уже ценным достижением. Поэтому регенерированию бедных газов, например, от плавильных печей, часто отходящих при высоких температурах, должно быть уделено больше внимания.

Другой областью применения регенерации являются газы известково-обжигательных печей. Вследствие выделения известняком при обжиге значительных количеств CO_2 эти газы беднее азотом, чем обычные отходящие газы. Их состав в наилучшем — идеальном — случае может иметь до 40,2% CO_2, на практике содержание ее колеблется между 28—32%. В связи с этим азотный баласт при вычислении температуры реакции имеет меньшее значение, возможный процент добавления известкового газа выше чем для отходящих газов и состав генераторного газа лучше, чем даже для идеального воздушного газа. Поэтому этот способ особенно должен применяться в тех случаях, когда возникает вопрос о присоединении газогенераторных установок к известковообжигательным печам.

5. Водяной газ

Подобно тому, как при повышении температуры отходящих газов мы можем увеличить подводимое количество CO_2, мы можем также вести реакцию углерода с одним паром (без подвода воздуха) по уравнению (6), если как показано в табл. 16 подводить одновременно количество тепла, соответствующее потребляемому при реагировании. Получаемый таким способом газ называется водяным газом и должен иметь теоретический состав 50% CO и 50% H_2, так как азотный баласт отсутствует. Потребный подвод тепла возможно осуществить путем наружного подогрева, но предполагавшиеся в этом направлении проекты не были практически осуществлены. Процесс возможно вести также другим путем, разогревая газогенератор предварительно при помощи сжигания с подводом воздуха и затем пропуская пар, т. е. с установлением прерывистого производства. Образующиеся при горячей продувке газы являются потерянными для основного процесса, что приводит к значительным тепловым потерям, так как эти газы всегда кроме углекислоты содержат также и окись углерода и другие составные части газа. Остается единственная возможность некоторой рационализации процесса — использовать газы горячей продувки с производственной целью, например, в газовых машинах и т. д. [1].

[1] Fischers Jahresberichte, 1884, стр. 1300; см. также «St. u. E.», 1884, стр. 146; 1893, стр. 640; 1896, стр. 706, 869, 891 и 911.

[2] «St. u. E.», 1903, стр. 433 и 515.

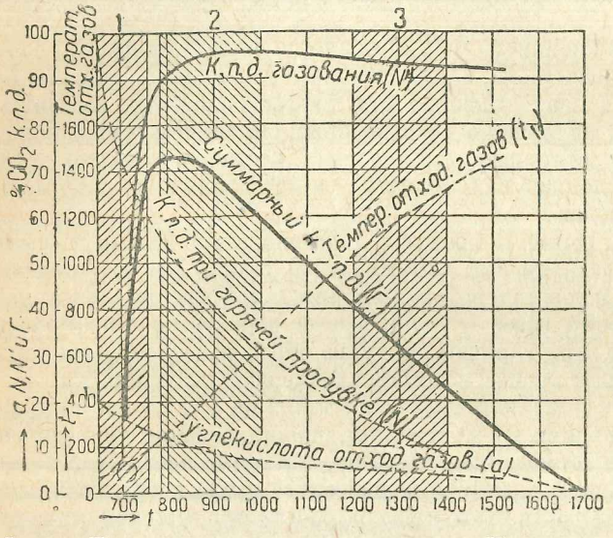
Процесс получения водяного газа не является чистым процессом газификации в духе вышесказанного, но представляет в основном специальный случай газификации с искусственным отделением баластных составных частей — CO_2 и азота, являющихся неизбежным спутником теплодающей части процесса, — от основных теплоценных составных частей — CO и H_2; при этом баласт должен захватывать при отделении возможно меньшую часть полезных газов.

С другой стороны, горячую продувку газогенератора можно рассматривать до некоторой степени как аккумуляцию тепла. Мы уже видели, что при применяемых в газогенераторах значительной высоте слоя и длительном соприкосновении газов с углем всегда образуется преимущественно CO; между тем, при горячей продувке образование CO_2 является более желательным и дает лучшее в данном случае использование топлива, так как по уравнению (1) мы получаем более тепла на 1 *кг* C, чем по уравнению (2). Комбинирование обоих реакций, однако, связано с определенной температурой: чем горячее слой топлива, тем легче идет образование CO, но тем и выше, конечно, потери физического тепла с продувочными газами. В начале применения этого способа работали с высокой температурой, отходящие газы были поэтому богаты CO, и их приходилось обязательно использовать хотя бы путем сжигания под паровыми котлами для процесса. Позднее Дельвиком (Dellwik) был предложен (D. R. P. 105511) способ, обеспечивавший получение при горячей продувке только CO_2 — путем повышения скорости дутья с достижением полного сгорания C. Можно с достаточной уверенностью сказать, что, даже несмотря на более высокие скорости дутья, достижение этого будет весьма затруднительно при высоких засыпках, как указывали также Штрахе и Ягода [2] (Jahoda), и что более высокого содержания CO_2 можно достигнуть только при работе с низкой температурой, следовательно, при условии сокращения периодов горячей продувки. Штрахе дает к этому диаграмму, представленную на фиг. 9, где заштрихованные поля относятся к отдельным основным опытам: *1* — к опыту Дельвика, *2* — к опыту Штрахе, *3* — к более старым способам, применяющимся еще и теперь при получении карбюрированного водяного газа.

[1] Значительный интерес для районов с дешевой электроэнергией представляют «электрические газеры», в которых при помощи нагрева шахты током поддерживают необходимую для реакции водяного газа температуру без применения горячей продувки (Швеция); электрогазер дает чистый водяной газ (баласт продувки не загрязняет шахты) и притом — из самых низкосортных топлив (например, из торфа). Электрогазогенератор Стассано (Италия) дал расход энергии 1,6 *квтч* на 1 $м^3$ газа, что, конечно, очень удорожает газ. Ред.

[2] «J. f. G.», 1900, стр. 354.

Из диаграммы мы видим, что общий к. п. д. T зависит от двух частных к. п. д. N и N'; первый делается равным 100%, если нам удастся провести горячую продувку с одной CO_2 и понижается очень быстро; последний при температурах выше 800° весьма велик — выше 90%, при более низких температурах понижается скачком почти до 0. Можно представить себе, что при длительном изменении температуры, имеющем место при этом процессе, так как слой топлива при воздушном дутье делается горячее, при газировании же — опять холоднее, потребуется очень точное наблюдение и весьма частая регулировка. В действительности отдельные периоды бывают всего лишь в 2 — 5 мин., и регулирование может быть осуществлено специальным парорегулятором (Штрахе), предотвращающим получение при газификации слишком низких температур, так как в этом случае огромная часть пара пройдет без разложения. Мы видим, далее, что кривая к. п. д. имеет весьма характерную форму и обещает удовлетворительный эффект лишь для области температур от 750 до 1 000°; необходимо, однако, заметить, что к. п. д., взятые при построении диаграммы, были вычислены без принятия во внимание расхода тепла на парообразование для процесса, так что практически на производстве мы должны ожидать значительно меньшие к. п. д. В действительности распределение температур в газогенераторе не бывает равномерным вследствие меняющегося, и обычно очень резко, горячего дутья; генераторы водяного газа уже известны на практике своими частыми зашлакованиями. Этого пытаются избежать и достичь одновременно лучшей степени разложения водяного пара, применяя различнейшие способы подвода дутья, например, горячее дутье снизу, газовое дутье сверху; или горячее дутье снизу, газовое же попеременно снизу и сверху; поперечное дутье и т. п. Опыты в этой области давали весьма разнообразные результаты, в особенности в зависимости от высоты слоя горючего. Средний состав водяного газа колеблется поэтому в довольно широких пределах, а именно:



Фиг. 9. Характеристика и к. п. д. различных процессов получения водяного газа.

50 — 65% H_2	0,1% CH_4
29 — 42% CO	0,1% O_2
2 — 6% CO_2	3,5% N_2

Теплопроизводительность в среднем около 2 600 *кал*/$м^3$.

Выход газа считают в среднем в 1 $м^3$ на 1 *кг* кокса, причем на это количество газа требуется почти такое же количество пара — 0,6 *кг*; для больших установок можно достичь, естественно, более удовлетворительных цифр.

Так как этот газ часто применяется для замены светильного, то его калорийность слишком низка. Поэтому его карбюрируют путем обогащения нефтяными парами по различным способам, получая таким образом газ любой калорийности; в других случаях его смешивают со светильным газом, особенно в случае необходимости покрытия недостатка светильного газа.

В чистом виде он идет преимущественно для сварки; вообще же он мало применяется для промышленных целей [1].

После всего вышесказанного неудивительно, что этот газ, объявленный когда-то «топливом будущего», не получил еще большого распространения. Коэфициент полезного действия газификации на водяной газ невелик даже в том случае, если отбросное тепло горячей продувки используется для парообразования или перегрева.

Газ с более высокой теплотворной способностью, чем воздушный газ или полугаз, нашел бы более широкое распространение, если бы были удовлетворены два условия:

а) применение кроме кокса натуральных по возможности низкосортных топлив;

б) непрерывный процесс.

Применение кокса диктуется тем обстоятельством, что в случае топлива, богатого летучими, дестилляционные газы при горячем дутье будут теряться в весьма значительном количестве, что чрезмерно понизит к. п. д. В этом отношении, однако, уже давно систематически предлагались

[1] Водяной газ в настоящее время имеет весьма большое промышленное значение, правда, преимущественно не в качестве топлива, а как источник водорода для азотной и жировой промышленностей. Присутствие обогащающего в тепловом отношении газ метана в этом случае уже является вредным, так как делает необходимым удаление последнего часто довольно дорогими способами (методом глубокого охлаждения и т. п.). Поэтому для новых химкомбинатов намечается путь получения безметанистого водяного газа, что легче всего может быть достигнуто обращением рабочего хода (паровое дутье — сверху); при этом захваченные паром остатки метанистых газов горячей продувки будут проведены через весь раскаленный слой ококсованного топлива, что, конечно, даст почти полное разложение метана. Интересно при этом отметить, что шунгиты (карельские антрациты) при опытах их газификации на водяной газ дали чрезвычайно низкий процент метана (около 0,7%), что является весьма ценным для химического использования (доклады проф. Б. К. Климова и инж. А. Б. Чернышева на пленуме Всесоюзного энергетического комитета, 1932 г., март).

Основным источником водорода для химпромышленности пока остается, однако, коксовая установка; поэтому наиболее серьезной задачей является в настоящее время выделение чистого водорода из коксового газа (см. например, патент В. П. Федорова № 52647 прямой отбор H_2 из коксовой печи с применением пористых огнеупоров, Вестник композиза № 10, 1931, метод глубокого охлаждения — Горловская коксовая установка и др.).

О Роттердамской установке для получения водяного газа в коксовых печах (метод «Steaming») см. Ш. Бертело, Genie Civil № 26, 1930, стр.643. Полный обзор методов получения водорода см. у De Grahl, «Erzeugung und Verwendung von Wasserstoff», Asphalt und Teer, 1929, № 18). Высокая калорийность водяного газа делает целесообразным подмешивание его в дестил-

новые способы, которые, наконец, в последние годы привели практически, к разрешению вопроса, которое и будет изложено в соответствующем месте (получение двойного газа, гл. VI, b).

Второе препятствие является особенно актуальным в условиях промышленного использования. Поэтому и в этой области уже давно работали исследователи. Особенно следует указать здесь на работы д-ра Клауса [1] (Clauss), получившего многочисленные патенты и установившего примерно следующую схему процесса:

Сильно перегретый пар в смеси с угольной или коксовой пылью или же жидкими горючими засасывают при помощи струи пара в замкнутую камеру, в которой он подвергается воздействию раскаленных поверхностей, нагреваемых снаружи. Для этого обогревания используется часть получаемого водяного газа. Труднейшим вопросом вначале был выбор материала для реакционной камеры, так как последняя при незначительной толщине стен должна иметь большую прочность, значительную огнеупорность — до 1 700° — и успешно противостоять действию водяного пара при этой температуре. Несомненно, что попытки Клауса потерпели неудачу в вопросе подбора соответствующего материала,

---

ляционные газы для получения кондиционного городского газа. Как изменяется соотношение цен различных технических газов при их транспортировании, можно видеть из следующей таблицы:

Сравнительная стоимость технических газов в Германии

По Мюллеру („Technische Gase", 1928. См. также A. Kemper, Gasfernversorgung, 1930).

Род газа	Калорийность *кал/м³*	Стоимость 1 000 *кал* в пфеннигах			
		на заводе	в 40 *км* от завода	в 100 *км* от завода	в 200 *км* от завода
Технический ацетилен	13 500	7,40	7,43	7,47	7,52
Нефтяной газ . . .	9 000	2,22	2,25	2,31	2,36
Каменноугольный газ (светильный дестиллат) . . .	5 500	0,91	0,96	1,04	1,18
Водяной газ . . .	2 900	0,69	0,79	0,95	1,21
Генераторный газ .	1 200	0,58	0,83	1,21	1,83

Как известно, дальнее газоснабжение Москвы (из рудников Московского бассейна) намечается именно по линии передачи двойного водяного газа из подмосковного угля с теплопроизводительностью от 2 500 до 2 800 *кал/м³*, доходящей после карбюрации до 3 000—4 000 *кал/м³*. См. С. Е. Рокотян, Проблемы газоснабжения Москвы и области, «Московская промышленность» № 1 — 2, 1930; П. А. Солодовников, Газоснабжение на подмосковном угле, 1930; И. З. Миттельман, Проблема газоснабжения московских ТЭЦ, «Тепло и сила» № 10, 1932. В ближайшее время выходят в свет материалы Мосхимэнергостроя по шахтам Московского бассейна под редакцией инж. Г. М. Чиликина. Технико-экономический расчет дальнего газоснабжения для Ленинграда сделан Ленинградским филиалом Инсторфа (на 117 *км*).

О реактивах для одоризации водяного газа при его передаче по трубам (для обнаружения утечек) и при его коммунальном применении (водяной газ ядовит) см. «Br. Ch.», 1932, стр. 275. Ред.

[1] Wassergaserzeugung im kontinuierlichen Betrieb, Berlin, Krayn, 1900.

который он думал разрешить применением графитированного асбеста с электролитическим его платинированием. В действительности практически необходимая температура стенки достигает (по расчету) примерно 2 200°, следовательно, выше, чем рассчитывает Клаус, и мы лишены возможности как прежде, так и теперь найти соответствующий материал; поэтому нисколько не удивителен тот факт, что попытки эти не были проведены в практику, точно так же как и сконструированные на тех же принципах нагреваемые газогенераторы Креша (Kresz, D. R. P. 269349 и 284702, 1913) и др., в которых поглощаемое реакцией тепло подводится путем нагревания реакционного пространства или ограничивающих его поверхностей.

Кроме приведенных способов имеется еще возможность так сильно подогреть необходимый для процесса водяной пар, чтобы вместе с тем ввести в реакцию все потребное количество тепла. Расчет показывает, что здесь приходится иметь дело с температурами порядка по меньшей мере 2 500°, и так как при этих температурах необходимо ожидать, по крайней мере, в небольшой степени, наступления диссоциации, то и этот путь не дает практического разрешения вопроса, так как нам неизвестны материалы, которые могли бы длительно выдерживать воздействие водяного пара выше 2 000°.

В заключение остается третье решение — подогревать уголь до такой температуры, чтобы покрыть его физическим теплом всю потребность эндотермической реакции. Но эта возможность имеется лишь для дегазированных топлив (с отогнанными летучими), что уже сильно ограничивает использование процесса; кроме того, этот способ технически весьма труден, так как вообще горючие тела почти невозможно или возможно лишь при особых условиях нагреть до потребной температуры — выше 1 200° [1].

Гораздо более ценным практически является способ К. М. Баллея [2] (K. M. Balley, Прага), объединяющий все три метода и работающий поэтому с легко достижимыми температурами. Он состоит в том, что угольный штыб распыливают струей высоко перегретого водяного пара и направляют на нагретые до 1 600° тела, как, например, кокс, специальную насадку (решетчатую футеровку) и т. п., причем вдуваемая пыль не только перегоняется, но и газифицируется полностью с водяным паром в водяной газ.

Пар нагревается до 1 200 — 1 400°, реакционная поверхность— до 1 400 — 1 600°. Процесс ведется таким образом, что в реакционную камеру вдувают избыток угольной пыли, так что часть ее оседает в форме коксового штыба на заполняющие камеру кокс или футеровочные камни.

---

[1] Исследование влияния различных состояний углерода на процесс образования водяного газа было проведено B. Neumann, C. Kröger и E. Fingas (Бреславль); испытаны древесный уголь, графит, активированный уголь и сажа — в присутствии различных катализаторов (особенно благоприятно оказалось воздействие окиси железа), G. W. F., 1931, № 24. Тщательное исследование процесса образования водяного газа из кокса произведено было в 1930 и 1931 гг. М. Дольхом и Э. Дитцелем, выявившими значение молекулярной структуры кокса и показавшими, что при этом процессе имеет место не простая реакция углерода с кислородом, а окисление высокомолекулярных сложных соединений углерода «Braunkohle» № 24, 1931. Ред.).

[2] «Ch. Ztg.», 1921, стр. 789.

Во второй стадии процесса этот избыточный коксовый штыб сжигают струей подогретого воздуха — для нагревания реакционной камеры. Тепло отходящих газов используется при этом для получения пара и для обогревания рекуператора, в котором подогревается воздух для сжигания. Физическое тепло водяного газа используется также для получения пара. Процесс является, таким образом, прерывистым, в связи с чем Баллей применяет для него сразу две камеры по принципу регенераторов; это является известным недостатком, так как приходится иметь переключающие устройства для четырех подающих путей: угля, пара, воздуха и отходящих газов, что очень усложняет обслуживание. Но так как изобретателю способа удалось уже при первых опытах в 1906 г. получить из 1 *кг* каменного угля с теплопроизводительностью в 7 650 *кал* до 1,65 $м^3$ газа с теплопроизводительностью в 4 100 *кал*,—что дает к. п. д. около 88%, то продолжение опытов [1] является весьма желательным [2].

Другим примером проведения метода является применение одновременной газификации угольной пыли с водяным паром в одной камере и сжигание угольной пыли в струе воздуха — в другой. Отходящие газы второй камеры направляются через следующую камеру, служащую для подогрева воздуха и перегрева пара. Вся система состоит поэтому из шести камер, снабженных соединительными линиями и переключающими устройствами, а также и всеми вспомогательными аппаратами,

[1] Одним из наиболее интересных патентов последнего времени в этой области является способ Винклера получения водяного газа из коксовой мелочи буроугольного кокса, просто землистых бурых углей и тому подобных низкосортных или отбросных топлив, разработанный J. G. Farbenindustrie A. G. (D. R. P. 437970): значительным повышением давления дутья («сверхдутье») достигают энергичного перемешивания всего слоя, сопровождающегося обильным газованием по всей массе (CO—43%, H_2—45%); зола уносится полностью в пылеотделитель; реагирующая масса подобна жидкости — брошенное полено плавает на ней, как на воде; производительность весьма высока как для получения водяного газа, так и генераторного (примерно 750 *кг* на 12 $м^2$ сечения в сутки). См. I. Gwosdz, Wassergas aus Steinkohlen, G. W. F. № 52, 1931; также H. Z. Ramsay, The Industrial Chemist and Chemical Manufacturer, L. 1929, стр. 156. Коэфициент полезного действия процесса, однако, невысок (около 42%). Поэтому Руде предложил для повышения к. п. д. пропускать получающийся горячий газ, заключающий много пыли, через второй газер — кусковой, работающий периодическим процессом. В своем дополнительном патенте Винклер дожигает эту пыль вторичным воздухом в газопроводе после пылеуловителя, причем образуется не CO_2, а CO (патент D. R. P. 443445). Так как процесс неэкономичен — сильная струя пара не успевает разложиться и уносит много тепла, выходящего вообще из зоны реакции, то Гвоздь не считает процесс Винклера решением задачи. В последнее время газеры Винклера переведены на кислородное дутье. Ред.

[2] Трудно присоединиться к этому оптимистическому взгляду Тренклера: мы не имеем таких огнеупоров, которые, не будучи слишком дороги для подобной установки, могли бы долго выдержать при указанных температурах химическое действие шлаков топлива; уже работа пылеугольных топок показывает, как разрушительно действуют расплавленные капли шлака на стенки топки из высококачественных огнеупоров. Насадки же будут страдать еще более, подвергаясь прямому воздействию пламени. Уже в карбюраторных камерах американских заводов приходится считаться с весьма неприятными разрушениями насадок, хотя температуры в них едва превосходят 1 000 — 1 100°. Баллей вообще не дает способа шлакоудаления, имеющего решающее значение для установки высокой производительности. Те же возражения можно привести и против установки Ледебера и Жамотта (Ledeboer und Jamott — D. R. P. 431137. См. Gwosdz, Kohlenwassergas). Ред.

т. е. паровым котлом, вентилятором, скруббером и т. п., она является поэтому еще более громоздкой и может быть использована преимущественно для газификации низкосортных штыбов.

Несмотря на несколько сложную конструкцию установки и способ эксплоатации, которые, возможно, будут упрощены различными целесообразными усовершенствованиями, этот процесс характеризуется вполне практически осуществимыми устройствами и поэтому является пригодным для производственного выполнения и применения. Это решение вопроса является, кроме того, особенно интересным именно в настоящее время по двум причинам. Во-первых, оно использует для приготовления водяного газа уголь вместо кокса, что является разрешением первого из поставленных выше требований; далее, процесс является практически непрерывным, что соответствует второму требованию. Наконец, топливо применяется при этом в виде штыба, что дает возможность одновременно разрешить вопрос о газификации пыли. Часто высказывался взгляд, что пылевидное топливо может быть полностью сожжено лишь в порошковых топках и что газификация тонко размолотого угля невозможна. Взгляд этот поддерживался в особенности теми товарищами, которые считали доказанным первичное образование CO_2. Оказывается, однако, что можно с теми же техническими средствами и соответственно при тех же самых условиях осуществить и процесс газификации, ограничив подвод воздуха; с другой стороны, конечно, реакционная способность топлива повышается вследствие присутствия водяного пара [1].

6. Оксигазы (парокислородное дутье)

При всех процессах в газогенераторах, как мы уже видели, температура является основным фактором, а она в свою очередь ограничивается тем обстоятельством, что экзотермическая реакция получения воздушного газа, дающая необходимый избыток тепла, всегда сопровождается внесением больших количеств азотного баласта. Если наряду с получением

[1] Непрерывное производство водяного газа из пылевидного топлива по способу Освальда Геллера поставлено в качестве опыта на Берлинском газовом заводе (Berlin-Tegel) д-ром Тау: подобный барабану реактор имеет внутренние обогревательные элементы, нагреваемые генераторным газом (передающие стенки в 60 *мм*, ширина рабочего канала — 350 *мм*; затрата генераторного газа — от 134 до 188 $м^3$ на 100 $м^3$ водяного газа); в рабочие каналы вдувается смесь угольной пыли и пара; температура реакции 1 200°; время реакции 18—29 сек; получающийся водяной газ отдает свое физическое тепло в рекуператоре генераторному газу, идущему на подогрев камер (фиг. 112а). Производительность опытной установки — 1,7 *м* в сутки, что дает 4 550 $м^3$ водяного газа с теплотворной способностью в 2 700 *кал*/$м^3$ (2,67 $м^3$/*кг*). Состав водяного газа: H_2 — 53,2%; CO — 31,4%; CO_2 — 7,0%, CH_4 — 1,4%; H_2S — 1,2%; O_2 — 0,2%; N_2 — 5,66%. Термический к. п. д. — 61% (для крупной установки — будет выше). Возможно применение низкосортных и отбросных топлив. Карбюрация очень проста (впрыскивание смолы или нефти). Работа продолжается. A. Thau, «Gas. World», 1931, 2443; «Gas. Journal», 1931, № 3550; также — доклад его на III Международной конференции по битуминозным углям в Питтсбурге, 1931: «Erzeugung von Wassergas aus Kohlenstaub nach dem Heller Verfahren», способ А. Лебедева (D. R. P. 511658, 1929) газификации пылетоплива также основан на применении многокамерного процесса. О соответствующих опытах Теплотехнического института см. В. П. Федоров, Газификация штыбов, «Бюлл. нов. техн.» № 75, 1932 Ред.

воздушного газа ставить производство и других экзотермических реакций, что всегда связано с теплотехническими преимуществами, то очень большим преимуществом явилось бы ограничение или даже вообще исключение из состава газа масс азота. Это имеет значение как при получении смешанного газа, так и при получении регенеративных газов. Когда поэтому К. Линде (C. Linde) ввел в практику свой способ получения жидкого воздуха, многие авторы занялись этой проблемой. Так Гемпель [1] показал, что при обогащенном воздухе с 50% кислорода, что стоит на 1 $м^3$ 1,2 пфеннига, вместо обычного смешанного газа можно получить газ примерно в 2 600 *кал* с непрерывной подачей, следовательно, почти достигающий теплопроизводительности водяного газа; он особенно рекомендует этот способ для низкосортных топлив.

Чрезвычайно детально проработал это предложение Лерман младший в своей ценной работе: «Термические процессы в газогенераторе» [2], причем он произвел вычисления в отношении применения процесса и необходимого количества водяного пара для регенерирования доменного газа. Он получил в первом же случае средний состав газа с теплопроизводительностью в 2 500 *кал* (при 13—16% N_2, 33—34% CO и 30—34% H_2); работы с изменением температуры воздушного дутья и пара показали, что этим путем не может быть достигнуто какое-либо значительное дальнейшее улучшение процесса, так как незначительная экономия топлива сопровождалась на практике поглощавшим ее увеличением расхода тепла на подогрев; кроме того, это значительно усложнило бы производство.

Но особенно интересен случай при регенерировании. Из доменного газа с калорийностью едва 850 *кал* мы получаем при этом газ в среднем в 2 200 *кал* теплопроизводительностью, с 44—45% CO, 32—34% N_2 и 11—12% H_2, т. е. газ, чрезвычайно подходящий для металлургических целей. Также и в этом случае изменение состава при повышении температуры незначительно и поэтому обычно подогрев не вводят, если нет необходимости в получении основного продукта с более высокой температурой. Насколько мне известно, этот способ никогда не был испробован на практике в большом масштабе, что, конечно, объясняется нежеланием усложнять газогенераторную установку вспомогательными устройствами или соединением с другими производствами и значительным накладным расходом на производство — стоимостью обогащенного воздуха. Однако в настоящее время существует много установок, в которых кислород или обогащенный воздух являются отходами производства, и поэтому нужно признать совершенно непонятным, почему никто не пытался использовать этот способ, тем более, что получаемый при этом газ вследствие своей высокой калорийности может применятся как вместо водяного газа, для подмешивания к светильному, так и для всех индустриальных целей. Именно этот путь кажется мне искомым решением проблемы получения полноценного газа с калорийностью выше 2 000 *кал* — непрерывным способом, напрасно отыскивавшимся различными другими путями [3].

[1] «Chem. Ind.», 1899, стр. 1.

[2] «St. u. E.», 1903, стр. 433 и 515.

[3] Правильность мнения Г. Тренклера показали в дальнейшем опыты проф. Драве (Drawe), первого применившего в Германии чистый кислород для целей газификации бурого угля; им был получен газ с теплопроизводительностью в 2 983 *кал*/$м^3$. См. «G. W. F.», 1927, стр. 904. Обзор работ с применением кислорода см. у д-ра I. Gwosdz, Ueber neue Bestrebungen zur industriellen Auswertung der Brennstoffvergasung mittels Sauerstoff, «Chem. Z.» 1930, стр. 529 и 550. См. также Cerasoli, Die Vergasung der Brennstoffe mittels Sauerstoff und Dampf, G. W. F. № 22, 1927. Wislicenus, Dampf, Abgase und Hochofengas als Zusatz zur Vergasungsluft des Gaserzeugers, «Arch. f. Wärmewirtschaft» № 10, 1928. Вандовер, Применение кислорода в производстве водяного газа, «Уголь и железо» № 16, 1927.

Опыты «Bureau of Mines» (САСШ) дали следующую зависимость состава генераторного газа от содержания O_2 в дутье:

O_2 в дутье %	CO в газе %	N в газе %	Теплопроизводительность газа *кал*/$м^3$
21	34,7	65,3	1 050
26	43,8	56,2	1 330
40	57,1	42,9	1 732
50	66,7	33,3	2 023
75	85,7	14,3	2 600
100	100	0	3 043

Высокое содержание O_2 в дутье ведет, к сожалению, к большому повышению температуры процесса (до 3 000°), разрушающему футеровку; это может быть предотвращено подачей смеси O_2 (60%) с CO_2 (40%), что снижает температуру до 1 300°, или же смеси O_2 с паром. Наиболее выгодно применение кислорода по данным «Bureau of Mines» для получения водяного газа с установлением непрерывного процесса (25—30% экономии на капитальных затратах (по акад. П. Чекину). Интересный пример установки высокого давления на кислородном дутье дает д-р Дэль (Dr. Dell, см. статью Н. И. Ювенальева в «Русско-германском вестнике науки и техники» № 4, 1933): по его данным газогенератор фирмы Лурги в Гиршфельде работает бесперебойно с конца 1932 г. на буроугольных брикетах с парокислородным дутьем, давлением 20 *ат* и перегревом до 500°, с температурой процесса 1 100—1 200° (периодический); газ получается с давлением в 20 *ат*, 20° С. Кислород дает специальная машина Линде. Ред.

7. Нефтяные газы, чистые газы и т. п. [1]

Все до сего времени рассматривавшиеся виды газов получались из твердых топлив; можно, однако, с некоторыми оговорками называть газификацией и перевод жидких горючих в газовую форму, почему мы кратко упомянем об относящихся сюда процессах.

Жидкие горючие — безразлично минерального или растительного происхождения, получаются ли они из нефти или из смол, всегда представляют собой углеводороды с незначительным количеством кислородных соединений, причем в сырых продуктах обычно встречается примесь твердого углерода в суспендированной форме, т. е. подобно приготовлявшимся в последнее время для применения в топках полужидким или так называемым коллоидальным топливам, представляющим собой при высоких температурах еще жидкую смесь твердых и жидких горючих. Жидкие топлива при медленном и осторожном подогревании могут перегоняться более или менее неразложившимися, но всегда в незначительной степени получаются и газообразные продукты разложения; если пары углеводородов нагревать далее, то они расщепляются почти полностью, причем получаются газообразные углеводороды. Получаемый

[1] См. к этому отделу «Handbuch d. Gastechnik», т. 9. Ред.

таким способом газ называется нефтяным газом и содержит преимущественно тяжелые углеводороды (этилен и т. п.), за исключением метана, и в небольших количествах H_2, CO и CO_2. Он имеет теплопроизводительность в 9 000—12 000 *кал*, почему и предпочитают такие исходные продукты, которые дают много тяжелых углеводородов с возможно малым количеством H_2 и окисленных соединений. Поэтому при разгонке нефти, а также перегонке бурых углей и горючих сланцев обычно выделяется специальный погон, особое газовое масло, которое является для этой цели особо пригодным.

Получение нефтяного газа производится обычно в нагреваемых снаружи ретортах со специально сконструированной испаряющей пластиной. Масло капает на последнюю, и образовавшиеся пары расщепляются у горячих стен реторты на газ и остающуюся тяжелую смолу (пек или графит). Образующийся газ увлекает за собой также осаждающуюся сажу, но не должен содержать более неразложившейся нефти. Вместо ретортных печей применяют также и так называемые генераторы, представляющие собой, однако, лишь камеры, наполненные шамотными кирпичами. Последние нагреваются путем сжигания смолы до 700—800°, причем устраивается подвод воздуха и смолы, а назначенное к газификации масло впрыскивается при помощи сопла. Получающиеся пары разлагаются в перегревателе, обогреваемом таким же способом. Путем попеременного горячего дутья и газования, подобно тому, как в процессе получения водяного газа, получается газ; на 100 *кг* нефти считают выход газа, например, для нефтегазогенератора Пинча, 52—54 $м^3$, остается около 25—30 *кг* нефтегазовой смолы, из которых половина идет на обогревание камер.

Сходный способ, использующий вместо шамота кокс как разлагающую поверхность, предложили Ринкер и Вольтер (Rincker и Wolter), а также Даннерт (Dannert). Эти способы еще более сходны с процессом получения водяного газа и обычно обозначаются как таковые. В разогретый горячим воздушным дутьем газогенератор впрыскивается сверху нефть; при этом газификация проходит по принципу противотока, получающиеся при впрыскивании пары спускаются в нижние горячие слои и там разлагаются.

Другим сходным процессом является получение блаугаза (по Рединге-ру и Блау, Аугсбург). В основном он представляет собой нефтяной газ, полученный при низких температурах — около 550—650° и характеризуется отсутствием метана; при 20 *ат* давления он сгущается в водянисто-светлую жидкость и в таком виде поступает в продажу. Он является очень удобным газом для лабораторных целей и т. п., но применяется также и при резке, сварке и паянии.

Вместо того чтобы газифицировать нефтепродукты, следовательно, расщеплять их, обычно можно достичь той же цели простым испарением. В этом случае необходимо, однако, разбавлять углеводороды газом-носителем («трегером»), и поэтому калорийность обычно значительно ниже. Наименьшую калорийность мы получаем, применяя в качестве газа-носителя воздух. Для получения такого газа применяются различные легкие углеводороды, причем для примера мы приводим в табл. 22 давления пара бензола, показывающие, насколько велики количества паров бензола, которые может поглотить воздух. В зависимости от исходного

продукта и применяемой аппаратуры получаются различные газы, имеющие свои технические обозначения (аэрогеновый газ, газ Пентера, газ Бенца, ранее называвшийся обычно воздушным газом), и имеющие состав, меняющийся с температурой насыщения; обычно его калорийность 2 500—3 000 *кал* при 7—10% углеводородных паров (пентана) в воздухе.

Таблица 22

Насыщение воздуха или другого газа парами бензола (по Штрахе)

Температура, $t°$ Ц	Давление пара бензола, *мм* рт. ст.	Объем паров бензола, %	1 *л* пара бензола весит при $t°$ Ц	Содержание бензола в воздухе, *г*/$м^3$
— 20	5,79	0,76	3,76	28,6
— 15	8,82	1,17	3,69	43,2
— 10	12,92	1,70	3,62	61,5
— 5	18,33	2,41	3,55	85,5
0	25,31	3,33	3,49	116,1
10	45.25	5,95	3,36	200,0
20	76,65	10,08	3,25	327.6
30	120,24	15,83	3,14	497,5
40	183,62	24,2	3,04	735,5
50	271,37	35,7	2,95	1 052
60	390,10	51,4	2,86	1 470
70	547,42	72 0	2,77	1 995
80	751,86	98,8	2,70	2 670
90	1 012,75	133,3	2,62	3 495
100	1 340,05	176,3	2,55	4 500

Наиболее распространенным способом применения жидких горючих при газификации является карбюрирование других газов, в особенности водяного газа. В последнем случае это производится в присоединенных к газогенератору специальных испарительной и перегревательной камерах, подобно тому, как это происходит в газогенераторе для нефтяного газа системы Пинч. Обе камеры нагреваются при помощи горячего дутья. Способ был наиболее разработан Гемфри и Глазго (Humphrey и Glasgow), под именем которых он и известен. С ним сходны упомянутые уже способы Даннерта, а также Ринкера и Вольтера. Состав карбюрированного водяного газа, конечно, значительно колеблется в зависимости от прибавляемого количества нефти и температуры разложения; вообще никогда не спускаются ниже 4 500 *кал* теплопроизводительности, обычно она значительно выше, причем возможно получение всех градаций вплоть до нефтяного газа. Сопоставление различных относящихся сюда газов дает табл. 23, по которой легко судить об имеющих место значительных колебаниях процесса. Каких-либо особых химических оснований для этих колебаний не имеется.

В заключение для полноты изложения упомянем также о методе, имеющем целью получение облагороженных горючих газов из обычных их видов. Здесь дело идет большей частью о специальных химических реакциях, проводимых как с самим газом, так и с исходными веществами.

В известном смысле облагороженными газами являются также упомянутые выше оксигазы, так как ведь при этом процессе мы получаем более ценные газы посредством предварительного обогащения подводимого воздуха.

Таблица 23

Состав нефтяных газов

Род газа	Состав							Удельный вес	Световая сила НК	Теплопроизводительность, *кал/м³*
	CO_2	C_nH_m	O_2	CO	H_2	CH_4	N_2			
Карбюрированный водяной газ из антрацита . . .	4,50	13,00	0,50	29,00	32,00	16,00	5,00	0,630	26,3	5 700
Карбюрированный водяной газ .	6,20	16,50	0,20	13,70	24,60	32,80	6,00	0,647	31,2	7 230
Старый нефтяной газ (Jowa) . . .	0,20	6,20	0,40	3,00	62,40	25,60	2,20	0,303	20,4	5 550
Нефтяной газ (Oakland)	1,80	5,00	0,10	7,70	55,00	26,30	4,10	0,375	20,1	5 320
Нефтяной газ (Portrero)	2,62	7,01	0,16	9,21	39,78	34,64	6,18	0,482	21,5	6 050
Новый нефтяной газ (Metropolitan) . .	2,00	6,00	0,10	5,30	41,40	40,40	4,80	0,440	21,5	6 340
Газ Пинча (газ из нефтяной смолы)	—	38,10	—	0,50	3,40	57,70	—	0,699	66,6	12 350
Нефтяной генераторный газ . . .	5,80	1,60	0,20	15,40	4,60	4,60	67,80	0,942	—	1 340

Сюда относится прежде всего электрическое получение газа [1].

При электротермических процессах вообще часто получаются в виде побочных продуктов газы (как при доменных печах), и это привело к мысли спроектировать обогреваемый током газогенератор. Ведение процесса при этом так же неограничено в отношении возможного подвода тепла, как и при применении обогащенного воздуха; в соответствии с этим возможно получить высокоценный газ из низкосортных горючих, например, путем повышения подвода пара. Далее, мы можем получить большую производительность, следовательно, меньшие размеры установок, более легкое регулирование и применение высоких температур, что важно для выбора характера и полноты процесса. Но, конечно такие, установки можно принимать в соображение лишь в тех случаях, когда располагают избытками электроэнергии; считая процесс сходным с непрерывным получением водяного газа и делая расчет на газ теплопроизводительностью 2 800 *кал*, Гельфенштейн получил на 1 *м³* сырого газа следующие затраты энергии и топлива:

1,08 *квт-ч* и 1,1 *кг* бурого угля
1,14 *квт-ч* и 1,1 *кг* торфа
1,233 *квт-ч* и 0,44 *кг* антрацита
1,03 *квт-ч* и 0,8 *кг* дров

[1] Helfenstein, Die Aussichten der elektrischen Vergasung von Brennstoffen, «Z. f. a. Ch.», 1923, стр. 73; см. также Helfenstein, «St. u. E.», 1921, стр. 1481.

или для производства регенеративного газа с 3 000 *кал* теплопроизводительностью

1,17 *квт-ч* и 0,44 *кг* антрацита.

Так как при многих электротермических процессах (кальцинирование, производство азотных продуктов, восстановление руд) получаются отходящие газы со значительным содержанием углекислоты, то в указанном направлении мы имеем, очевидно, некоторые возможности; однако, как и при доменных цехах, только в том случае надлежит поднимать вопрос о строительстве газогенераторов, если имеется определенная потребность в газе. Применение газа для силовых целей при этом с достаточными основаниями исключается — это не является надлежащим путем; с другой стороны, нужно принять во внимание, что при газодобывании мы можем создать такие побочные производства, — потребителей избыточной энергии, — которые будут иметь еще большее местное значение. Так как при этом может быть получен высокоценный газ как из твердых, так и из жидких горючих (производство нефтяного газа при помощи электронагрева),— то этот процесс, вероятно, будет иметь особый интерес для стран с значительными гидроэнергетическими ресурсами для получения городского газа (замена светильного газа). Наиболее важным вопросом является при этом вопрос о запасах энергии, так как процесс является экономичным только при низких ценах на энергию; необходимо принять во внимание возможность недостаточно равномерной подачи избыточной энергии.

Сюда относится, далее, получение ацетилена. В то время как в других случаях обычно в технических газах едва можно обнаружить следы этой составной части, здесь мы можем получить почти чистый C_2H_2, переводя углерод первоначально в форму карбида и разлагая его затем водой по уравнению:

$$CaC_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + C_2H_2 + 33{,}9 \ кал.$$

Образующийся газ [1] очень чист, содержит от 94 до 99% C_2H_2; важнейшим условием процесса является лишь отсутствие фосфора в карбиде, чтобы не могло иметь места образование фосфористого водорода [2]. Газопроизводительность 1 *кг* карбида теоретически достигает 350 *л* C_2H_2, для коммерческих его сортов — 290—320 *л*.

К способам облагораживания принадлежат, далее, также процессы, сводящиеся к обогащению или, наоборот, удалению некоторых определенных составных частей. Кроме методов удаления CO_2 для повышения калорийности путем применения химических поглотителей (известковое молоко и т. п.) и методов получения богатых водородом газов (для воздухоплавления) особенно интересными химически являются процессы обогащения технических газов метаном [3].

[1] Теплопроизводительность 13 000—13 500 *кал/м³*. Ред.

[2] Методы конверсии метана в водород и ацетилен при помощи вольтовой дуги (Боне и Джердана, Франца Фишера, I. G. Farbenindustrie) описаны А. В. Лозовым («Природа» № 1, 1933). Коэфициент полезного действия использования электроэнергии при этом очень высок — до 40% (против 2—3% при прямом связывании азота); расход энергии на 1 *м³* C_2H_2 около 13 *квт-ч* (против 14 *квт-ч* при получении через кальций-карбид). Ред.

[3] Д-р инж. P. Jochum, «J. f. G.», 1914, H. 4—7.

Основные работы Сабатье и Сендеренса (Sabatier и Senderens), так же как и детальные исследования Майера и Гензелинга, Майера и Альтмейера, а также Майера и Якоби[1] (Mayer, Henseling, Altmeyer, Jacoby) показали, что образование метана возможно при воздействии каталитических металлов (в особенности никеля) по формулам:

$$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O,$$

$$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O,$$

а также и непосредственно из элементов:

$$C + 2H_2 = CH_4.$$

Все три реакции, протекающие экзотермически, являются обратимыми и расщепление CH_4 в духе последнего уравнения начинается, например, уже при 400°, чтобы к 1 000° привести уже к полному распадению. На этой реакции основано упомянутое выше получение богатых водородом газов для наполнения баллонов из обычного каменноугольного газа. Это разложение имеет также значение для свойств газов соответствующего состава при их подогреве (см. стр. 52).

Для практического получения метана особое значение имеет первая из названных реакций, применяемая при газовом процессе Седфорда [2], при которой удается получить специальными путями, указанными в табл. 24, в конце концов газ с теплопроизводительностью около 4 300 *кал*.

Таблица 24

Анализы по газовому процессу Седфорда

Средний состав	CO_2	CO	H_2	CH_4	N_2	Низшая теплопроизводительность, *кал*/м³
Сырого водяного газа	4,0	39,5	51,7	—	4,8	2 541
Освобожденного от CO_2 водяного газа	—	40,9	54,1	—	5,0	—
Приведенного к активному составу газа:						
перед реакцией	—	16,3	80,9	—	2,8	2 562
после реакции (путем вымораживания CO)	0,6	—	61,4	31,8	6,2	4 293

Кроме Сабатье и Сендеренса в этой области были проведены практические опыты Эльворти и Вилльямсеном (Elvarthy и Williamsen), которые нашли, что реакция идет только при большом избытке водорода.

В заключение нужно указать здесь на реакцию получения CH_4 при действии воды на карбид алюминия, предложенную Муассаном (Moissan, 1896), представляющую полную аналогию образованию ацетилена [3].

[1] Д-р инж. Jochum.

[2] Erdmann, «J. f. G.», 1911, стр. 739.

[3] Часто применяется в лабораториях для получения чистого метана: $C_3Al_4 + 12H_2O = 3CH_4 + 4Al(OH)_3$. Ред.

Для процессов газификации выше упомянутые реакции соединения имеют второстепенное значение. Во-первых, в обычном генераторном газе содержится слишком мало водорода, чтобы проводить эту реакцию. Каталитическое воздействие угля по всем наблюдениям не может быть принято во внимание. Иначе обстоит дело с водяным газом, который как раз и является отправным пунктом для получения метана. Клемент и Адамс, например, пришли в результате своих опытов (стр. 60) к заключению, что при высоких температурах CH_4 образуется и без катализаторов; но так как часть его снова разлагается, то содержание его в водяном газе весьма незначительно. Обычно наблюдающееся при анализах содержание его может быть частично отнесено на остатки дестилляционных составных частей топлива, которые всегда еще имеются и в коксе.

Решающим моментом при образовании метана в газогенераторах является, однако, подвод тепла, так как по всем наблюдениям эта реакция протекает при внезапном падении температуры. Подобные меняющиеся условия как раз наблюдаются при получении водяного газа. По опытам В. Оствальда (Wa. Ostwald, D. R. P. Riedel 302804) удается значительно повысить образование метана и в условиях обычных газогенераторов путем воздействия чрезвычайно мелко распыленной воды. Так, при подобном процессе были получены составы газа с 21% CH_4 (при содержании в среднем около 15% CO_2, 8% CO и 6% H_2), причем, однако, никогда не удавалось удержать реакцию сколько-нибудь длительно. Все же удавалось и в длительном производстве повысить средний состав газа для одного и того же угля на 1—2% CH_4. Поэтому совершенно не исключена возможность синтетического получения CH_4 в газогенераторах. Этот процесс сопровождается обогащением газа углекислотой [см. табл. 6 в работе д-ра Иохума (Jochum), так что реакция протекает по уравнению

$$4CO + 2H_2O = CH_4 + 3CO_2$$

с поглощением тепла; однако до сих пор не удалось, как уже было сказано, удержать процесс сколько-нибудь длительно. Можно все же считаться с возможностью обогащать газ CH_4 подобно тому, как мы обогащаем газ водородом при получении полуводяного газа, что имеет значение для различных целей. Так как удаление CO_2 из газа вполне возможно путем простого поглотительного процесса (промывки), то этот способ должен быть практически достаточно легко применимым, причем он имеет особое преимущество в том, что для него требуется не пар, а только очищенная вода [1].

[1] В настоящее время для промышленных целей имеет очень большое значение обратный процесс: получение водорода из газа, богатого метаном (в особенности из природных газов и отходящих газов крекинг-установок); этот процесс, так называемая конверсия метана, производится пропусканием газа через катализатор — огнеупор (алунд и т. п.), с осажденным никелем или кобальтом (или другим катализатором) — при высокой температуре (900—1100°). Для обращения углерода в окись к метану прибавляют пары воды или углекислоту:

$$CH_4 + H_2O = CO + 3H_2$$

$$CH_4 + CO_2 = 2CO + 2H_2.$$

См. «Ind. and Eng. Chemistry, 1932, XXIV (1), 23; Н. А. Клюквин, Конверсия метана, 1930. Ред.

8. Влияние дестилляционных газов на состав. Взаимоотношения процессов

Способы и процессы газификации, детально описанные в разделах 2—5 этой главы, приводят, как это было показано на табл. 16, к газам характерного состава. Часто является желательным более точно исследовать зависимость между различными процессами, но это всегда затрудняется тем обстоятельством, что к составу газов, получающихся при газификации природных топлив, всегда примешиваются газы сухой перегонки.

Поэтому уже давно пытались отыскать количественные закономерности для расчета влияния дестилляционных газов. Впервые этим занялся Дихман [1] (Dichmann) и дал на основании детальных расчетов материальный баланс для обоих процессов, но пришел при этом к заключению, что такой расчет делает необходимым принятие слишком многих произвольных положений, чтобы это могло дать какие-либо применимые результаты. Им было установлено, что обычно бóльшая часть дестилляционных газов сжигается вследствие наличия избытка воздуха в самом газогенераторе, что ведет к значительному увеличению объема (вследствие образования CO_2 и H_2O) и сильному снижению теплопроизводительности. Особенно это наблюдается в газогенераторах старых систем, в которых вследствие слабого дутья работают с низким слоем топлива. При доведении содержания углеродистых составных частей в газе ниже 35,6% можно считать, что дестилляционные газы сгорели, но при этом можно сделать и значительную ошибку. На этом же основании нельзя удовлетворяться установлением одного содержания CO_2, так как низкое содержание CO_2 никак не может являться критерием хорошего хода генераторного процесса; это, например, наблюдается в случае работы газогенератора с высокой температурой, когда при неблагоприятных условиях действительно сгорает до 60% дестилляционных составных частей, т. е., иными словами, теряется около 15% теплопроизводительности угля.

Таблица 25

Низший, средний и высший выходы углеводородов из 50 сортов германских газовых углей

	Тяжелые углеводороды		Метан	
	Обнаружено в светильном газе в $м^3$ на 1 000 $кг$ горючей массы угля	Пересчитано на генераторный газ в объемных %	Обнаружено в светильном газе в $м^3$ на 1 000 $кг$ горючей массы угля	Пересчитано на генераторный газ в объемных %
Наименьший выход	0,55	0,13	8,42	2,00
Средний выход	1,11	0,26	10,09	2,40
Наибольший выход	1,88	0,44	11,73	2,80

С другой стороны, при исследовании газа очень часто наблюдается весьма высокое содержание CH_4, неправильно считаемое признаком хорошего состава газа, в действительности же означающее весьма дурной

[1] Dichmann, Der basische Herdofenprozess, Berlin, Julius Springer, 1910.

ход генераторного процесса в том смысле, что уголь только перегоняется без последующей полной газификации; в этом случае должны иметь место значительные потери горючего в шлаках. Ф. Гофман [1] (F. Hofmann) детально исследовал эти взаимоотношения и дал для 50 сортов каменных углей сведенные в табл. 25 результаты, показывающие долю дестилляционных газов в генераторном.

В табл. 26 даны вычисленные тем же автором составы генераторного газа из германских газовых углей.

При дальнейшей разработке вопроса [2] тот же автор приходит к следующим закономерностям для расчета содержания углеродистых составляющих, получающихся в результате газификации (C_1) и соответственно сухой перегонки (C_2), причем объемные проценты CO_2 обозначаем a, объемные проценты CO — b, объемные проценты H_2 — c и объемные проценты CH_4 — m.

$$C_1 = 2{,}531a + 1{,}531b + 0{,}531\,(c + m) - 53{,}13,$$

$$C_2 = 53{,}13 + 0{,}469c - (2{,}531a + 1{,}531b + 0{,}531m).$$

Но эти уравнения действительны, с одной стороны, только для каменных углей, а с другой стороны, являются мало применимыми вследствие того, что процессы в газогенераторе при наличии других температур, возмож-

[1] «F. T.» Ig 3, № 22/24.

[2] «Die volumetrische Konstitution des Generatorgases», «J. f. G.», 1916, стр. 189 и 206.

Таблица 26

Структура генераторного газа из германских газовых углей по Ф. Гофман-Берндорфу

		Газификация без пара			Газификация с максимальным подводом пара			
		Газ в $м^3$ из 100 $м^3$ горючей массы угля, %			Газ в $м^3$ из 100 $кг$ горючей массы угля, %			
		1	2	3	4	5	6	
Продукты дестилляции	C_nH_m	1,11	1,11	0,268	1,11	1,11	0,257	C_nH_m
	CH_4	10,09	10,09	2,44	10,09	10,09	2,33	CH_4
	CO_2	0,76	—	—	—	—	—	
	CO	3,28	—	—	—	—	—	
	H_2	18,2	—	—	—	—	—	
Продукты газификации	CO_2	6,2	6,96	1,69	6,96	+ 44,58 = 51,54	11,91	CO_2
	CO (из кокса)	118,3	121,83	29,49	121,88	− 44,58 = 77,28	17,86	CO
	H_2 (из угля)	7,56	25,76	6,23	+ 73,24 = 99,00	99,00	22,88	H_2
	N_2 (из воздуха)	0,94	247,54	59,88	− 137,8 = 109,74	+ 83,90 = 193,64	44,76	N_2
	Итого	246,6	—	413,34	100,00	—	432,63	100,00

Таблица 27

Процессы в газогенераторе Сименса, по Юптнеру и Тольдту

100 *кг* рядового угля с 12,42% H_2O содержат (вес в *кг*)	и дают дестилляционный газ						Остается в коксе	Поднимется с воздухом	Воздушный газ				Теряется в шлаках
	H_2O	CO	CH_4	H_2	NH_3	H_2S			CO_2	CO	H_2	N_2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Влага	12,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Зола	4,92	—	—	—	—	—	4,92	—	—	—	—	—	4,92
Углерод	64,92	5,67	0,52	—	—	—	58,73	211,63	6,57	36,49	—	211,63	15,67
Азот	0,50	—	—	—	0,50	—	—	—	—	—	—	—	—
Сера	0,52	—	—	—	—	0,40	0,12	—	—	—	—	—	0,12
Располагаемый водород 2,50)	0,635	—	0,17	3,14	0,11	0,025	—	0,25	—	—	0,25	—	—
Хим. связ. вода: водород 1,58													
Хим. связ. вода: кислород . . 12,64	5,08	7,56	—	—	—	—	—	64,49	17,51	48,65	—	—	0,25
Итого . . 100,00	12,42 / 5,715	13,23	0,69	3,14	0,61	0,425	63,77	276,37	24,08	85,14	0,25	211,63	20,96
Не участвует в процессе . . . . —	0,03	—	—	—	—	—	—	O=0,84	—	—	—	3,02	—
Всего (газ) . . .	18,165	—	0,69	3,39	0,61	0,425	—	0,89	24,08	98,37	см. график фу 5	214,65	—
Излишне получено . . .	—	—	—	—	—	—	—	1,92	—	—	—	—	—

но, протекают совершенно иначе, как на это определенно указывает Дихман.

Вышеприведенные формулы не учитывают, далее, того факта, что как CO, так и CO_2 также образуются и при дестилляции.

Поэтому они в особенности не могут применяться для более молодых, богатых кислородом, горючих. В табл. 13 были приведены состав дестилляционных газов и их выхода для различных топлив, но взаимоотношения составляющих меняются, как можно там же видеть, в столь широких границах, что в результате их сопоставления мы могли бы получить лишь приблизительные данные. Установить достаточно применимые закономерности можно только в том случае, если не только известен точный состав дестилляционных газов для определенного топлива, но и имеется уверенность в том, что процесс газообразования происходит нормально, без каких-либо помех.

Как производится подобный расчет, можно видеть из приводимого в табл. 27 примера для газогенератора Сименса, произведенного Юптнером и Тольдтом [1] (Jüptner u. Toldt), причем в этом случае расчет существенно проще, так как дело идет только о получении воздушного газа. Этот расчет, далее, сделан с принятием отсутствия CO_2 в дестилляционных газах, что неправильно; в приведенном примере ошибка достигла бы всего 0,39 *кг* C, если соотношение CO и CO_2 в дестилляционных газах было бы таково же, как в генераторном газе. Но на самом деле отношение несколько меньше и ошибка, таким образом, значительнее.

Если произвести расчет чистого процесса газификации, то можно легко вычислить состав конечного газа и соответственно взаимоотношения процессов в газогенераторе, тепловые процессы при реакциях и т. п. Для этого же можно с успехом применять предложенные Гофманом диаграммы. Весьма наглядным является применение для этого Гиббсова треугольника, предложенное В. Оствальдом [2]. При помощи последнего можно графически изобразить уравнение

$$a + b + c = \text{const},$$

и Оствальд нашел опытным путем, что встречающиеся во всех видах газов составные части C, O_2, H_2O, H_2, CO, CO_2 (CH_4 исключается как дестилляционная составляющая) могут быть характеризованы в своих взаимоотношениях следующими уравнениями:

$$C + O_2 = CO_2, \qquad (a)$$

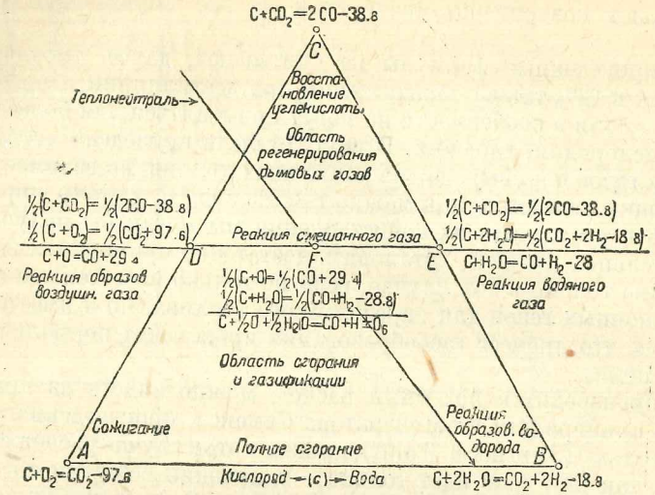
$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2, \qquad (b)$$

$$C + CO_2 = 2CO. \qquad (c)$$

Если мы поместим каждое из уравнений в одном из углов гиббсова треугольника, то мы получим путем простых вычислений и выкладок представленный на фиг. 10 так называемый треугольник газификации. Надписи на рисунке и сказанное ранее делают излишним более подробное его

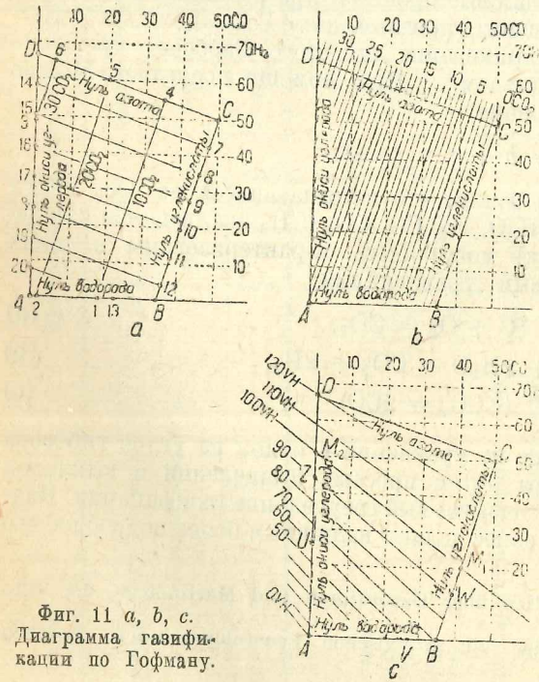
[1] «Chemisch-kalorische Studien über Generatoren und Martinöfen», 2-е изд., Лейпциг, 1900.

[2] W. Ostwald, Beiträge zur graphischen Feuerungstechnick, Leipzig, Spamer, 1920.



Фиг. 10. Треугольник газификации по Оствальду.

объяснение. Особенно наглядной получается диаграмма при введении понятия о так называемой теплонейтральной линии (Neutrokalore), по сторонам которой располагаются с одной стороны реакции эндотермические и с другой стороны — экзотермические. Оствальд конструировал в соответствии с этим так называемое изокалорическое тело.



Фиг. 11 *a*, *b*, *c*. Диаграмма газификации по Гофману.

Что касается до практического применения треугольника, то оно несколько ограничено. Действительно, для каждого случая определения участия отдельных реакций нужно выполнить специальную схему; существенно легче это было бы, если бы придать чертежу специальную мерную решетку. Это возможно проделать подобно тому, как это сделано на диаграммах Гофмана, представленных на фиг. 11 a-c, как это будет показано в дальнейшем изложении. В треугольнике Оствальда азот не участвует; но его содержание относится к стороне, противоположной пункту *I*, так как уравнение (a) соответствует подводу воздуха. Точно так же соответствующим уравнению (b) является процесс подвода водяного пара, и противоположная пункту *II* сторона отвечает нулю водорода, в то время как (c) соотнесено с подводом CO_2, и поэтому противолежащая сторона отвечает нулю CO, между тем как пункт *III* равносилен 100% CO. Линия нуля CO_2, однако, идет по *DE*, и все поле регенерации дымовых газов, содержащее так называемый нереагирующий углерод (из подведенной CO_2), образовано, следовательно, иным путем. Трапеция *ABED* напоминает нам о подобной же трапеции Гофмана, которая, однако, имеет две системы прямоугольных координат; соответствующая пространственная конструкция Оствальда дает весьма неудовлетворительные точки пересечения. Диаграмма Гофмана дает расположение изотерм (изокалоры Оствальда), линии одинакового содержания углерода на 1 $м^3$, одинакового разложения пара, теплопроизводительности, к. п. д. и т. д. Поэтому для практических целей удобнее диаграмма Гофмана, особенно для предварительных расчетов газового анализа; диаграмма же Оствальда имеет преимущество для систематики и позволяет быстро определить степень участия трех уравнений и соответственно трех продуктов реакции в каждом данном газе, в то время как в первой схеме это возможно только путем соответствующего приспособления специальной неправильной мерной сетки. Несомненно, что оба способа имеют большое значение для практики, но их применимость, однако, не должна переоцениваться [1].

[1] Критику схемы Оствальда см. в интересной статье H. K n o p f'a, Die chemischen Vorgänge bei der Vergasung von Rohbraunkohle, «G. W. F.» № 50, 51, 52, 1931 и у T e r r e s и S c h i e r e n b e c k, Untersuchungen an Koksgeneratoren, «G. W. F.», 1924, стр. 257. Ред.

III. Технические основы газификации

1. Топливный слой

Главным необходимым рабочим веществом является уголь, который омывается реагирующими газами (пар, воздух и т. д.). Так как все химические процессы функционально зависят от массы, времени, температуры и, в особенности, от величины реагирующей поверхности, то все свойства топливного слоя имеют первостепенное значение. Влияние поверхности обусловлено тем обстоятельством, что реакция происходит между твердыми и газообразными веществами. Если припомнить, что 1 $м^3$ углерода (кокса) при сожигании в CO_2 требует 14 000 $м^3$ воздуха, при превращении же в CO — 7 000 $м^3$ и что эти количества соответствуют шаровому объему с диаметром в 24 и соответственно в 19 раз большим, то делается ясным значение мелкозернистости вещества при реагировании (как, например, сжигание пыли), и причины утверждения Блейбтрея [1] (Bleibtreu), что пылесожигание весьма близко подходит к газосожиганию. При величине зерен в 0,02 *мм* потребный объем воздуха будет иметь диаметр всего лишь 0,48 *мм*, т. е. в 3 400 000 раз больше молекулы воздуха. Кусочки угля неправильных размеров тем более приближаются к форме шара, чем они меньше. Если взять поэтому за основание дальнейших рассуждений шарообразную форму частичек, то получим такую первичную зависимость между объемом и поверхностью

$$\frac{K}{F} = \frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{4 r^2 \pi} = \frac{r}{3}.$$

Поэтому поверхность малых частиц относительно больше, что и соответствует требованиям реакции. Для больших частиц отношения тем хуже, что только одна половина обращенной к газу стороны частицы участвует в реакции. Влияние величины поверхности тем значительнее, чем богаче золой топливо, так как в этом случае вещество золы, оставаясь непрореагировавшим, закрывает внутренние частицы углерода; поэтому для таких топлив особенно важна малая величина зерен. Отношение $K : F$ является для шара наибольшим, так как поверхность шара при одинаковом с другим телом объеме будет наименьшей; некруглые кусочки имеют поэтому относительно большую поверхность, что представляет преимущество, если только вследствие этого не имеет место какое-либо неблагоприятное их расположение.

Если мы перейдем к объему шаров, расположенных слоем, то нужно заметить, что их размещение не может быть совершенно правильным. Если

[1] Bleibtreu, Kohlenstaubfeuerungen, Berlin, Julius Springer, 1922 (есть русский перевод, 1932 г.) Ред.

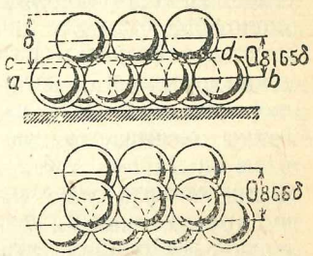
мы представим себе четыре шаровых разреза одинаковых радиусов и соприкасающиеся с углом между радиусами касания в 60°, то угол поверхности будет 70° 31′46″ и объем пустоты в соответствующем сферотетраэдрическом промежуточном пространстве будет минимальным, однако, тетраэдры не могут быть сложены в полностью заполняющую пространство систему. Поэтому это расположение можно сохранить только для одного слоя, вышележащий же слой должен быть расположен иначе. Если сделать это соответственно фиг. 12[1], то мы получим для 1 000 шаров одинаковой величины с радиусом r:

$$\text{Общий объем } V = (10{,}2\,r)\,(10 \cdot r \cdot \sqrt{3})\,(10 \cdot r \sqrt{3} \cdot \sin 70^\circ 31' 46'') = 5\,656\,r^3.$$

$$\text{Объем шаров } K = \frac{1\,000 \cdot 4\,r^3 \pi}{3} = 4\,188\,r^3.$$

$$\text{Объем газа } L = V - K = 1\,468\,r^3.$$

Последний достигает $\frac{1\,468}{5\,656} = 25{,}94\%$ общего объема, отношение $\frac{K}{Z}$ является независящим от величины отдельных частичек и представляет константу величиной 2,85. Но при выбранных условиях она является наименьшей, в то время как объем газа — наибольшим. Наиболее наглядно это можно показать, представив себе маленький шарик, помещенный между какими-либо соприкасающимися между собой четырьмя шарами таким образом, что он, тем не менее, не соприкасается с этими шарами. Как правило для некруглых частичек отношение будет неблагоприятнее, следовательно, больше, так как более или менее плоские поверхности частично совпадают между собой и тем уменьшают газовый объем. Малые значения отношения можно ожидать исключительно для угловатых топлив, при которых также легко наблюдается и образование пустот, являющихся неблагоприятными для газификации. Необходимо также особенно принять во внимание, что свободные сечения в отдельных плоскостях являются различными. Так, например, это сечение достигает в средней плоскости одного ряда шаров 9,355%, в плоскости соприкосновения соседних рядов — 39,53% всего сечения. С другой стороны, общая поверхность тысячи шаров будет:



Фиг. 12. Укладка шаров одинаковой величины, по Гаусбрауну.

$$F = 1\,000 \cdot 4r^2\pi = 12\,566\,r^2.$$

Если рассматривать, далее, полученные таким образом соотношения, то будет ясно, какое значение имеет величина зерен. Значения трех величин K, L и F для 1 000 шаров при нескольких различных значениях r помещены в табл. 28. Отношение $L : F$ для порошкового угля с 2-*мм* зер-

[1] По Hausbrand, Das Trocknen mit Luft und Dampf, 5 Aufl., Berlin, J. Springer, 1920, стр. 98.

нами будет таково, что на каждый куб. сантиметр воздуха приходится реакционной поверхности около 50 $см^2$, в то время как кусковый уголь в 200 *мм* размером дает для того же объема воздуха реакционную поверхность всего лишь около 0,5 $см^2$.

Таблица 28

Взаимоотношения между объемом и поверхностью кусков топлива (шаров)

r в *см*	0,2	0,5	1,0	2,0	5,6	10,0	20,0
K для 1000 шаров, $см^3$	33,50	523,5	4 188	33 504	523 500	4 188 000	33 504 000
L для 1000 шаров, $см^3$	11,74	183,5	1 468	11 744	183 500	1 468 000	11 744 000
F для 1000 шаров, $см^2$	502,64	3 141,5	12 566	50 264	314 150	1 256 600	5 026 400

Это влияние иллюстрируют совершенно наглядно результаты опытов В. Виландта, сопоставленные в табл. 14. Нужно принять при этом во внимание, что Виландт вычислял скорость и время соприкосновения без принятия в расчет степени заполнения. Так как последняя при средних условиях достигает около 75%, то действительный газовый объем будет около 25%, без учета притом того обстоятельства, что скорости вследствие высоких температур еще более повышаются. Поэтому для получения приближающихся к действительным отношениям сравнимых цифр нужно скорости помножить на 16 и времена соприкосновения делить на 16. Также оказывается, что при дальнейшем повышении скорости дутья — выше опыта 3-го — будут отрываться частички кокса. Если действительно представить себе скорость в 175 *см/сек*, т. е. почти 2 *м/сек*, и принять во внимание малый удельный вес кокса, то это явление весьма легко объяснить. В таблице не уточнено влияние высоты слоя и соответственно времени соприкосновения. Поэтому нужно сделать приблизительный расчет, что принимать за время пребывания в реакционной зоне газогенератора. Пусть площадь сечения шахты будет 6 $м^2$ и производительность газогенератора—600 *кг/час*, величину зоны накала примем в 700 *мм* высотой и отношение $K : L$ равным 3. Тогда $L = 1{,}05$ $м^3$. Общее содержание топлива будет 4,2 $м^3$ или приближенно 3,5 *т*. Время нахождения топлива в зоне реакции составит тогда около 6 час. Газопроизводительность будет около 2 400 $м^3/час$ или 0,66 $м^3/сек$. Не принимая в расчет пространственных изменений, происходящих при реагировании, и рассматривая исключительно состояние газового равновесия и принимая среднюю температуру в 1 000° (1 300 — 700°), получаем время реагирования $1{,}05 : (4{,}67 \cdot 0{,}66) = 0{,}316$ *сек*. Если путь газов можно взять приблизительно в 1 *м*, то скорость в средине достигнет 3,17 *м/сек*, наибольшая скорость в самом узком сечении будет:

$$v_{max} = \frac{4{,}67 \cdot 0{,}66}{6 \cdot 0{,}00355} = 5{,}5 \text{ м/сек}.$$

Выявление этих зависимостей делает понятным, почему химические реакции в газогенераторе редко приводят к установлению состояния равновесия. Далее, значительные пространственные изменения совместно с обусловленным повышением температуры, увеличением объема газов вызывают значительные потери давления, т. е. сопротивления топливного слоя. Последнее при мелкозернистом угле выше, но зато при нем можно иметь меньшую высоту слоя, как это показывает практика. При хорошо сортированном, особенно промытом, угле часто можно с более низким слоем топлива получить лучшие результаты, чем с крупными кусками при очень высоком наполнении. Из той же табл. 14 видно, что величина зерен в 12 *мм* оказывается благоприятнее, чем размеры 15 — 25 *мм*, и данные практики показывают также, что просеянный уголь крупностью зерен в 6 — 15 *мм* является наилучшим топливом для газогенератора.

При выборе топлива необходимо особенно наблюдать за тем, чтобы кроме равномерности зерна топливо было свободно от пыли (мелочи). Здесь в общем изречение «лучшее топливо для производства — самое дешевое» — имеет также известную силу, как это было ранее указано. Неудобными топливами являются спекающиеся и рассыпающиеся угли, так как они всегда образуют препятствия проходу газов и обусловливают излишне высокие скорости, неправильное горение и высокую зону реакции в газогенераторе. Чтобы несколько предотвратить спекание и в особенности избегнуть размягчения раскаленного слоя, необходимо вести интенсивный процесс при высоких температурах, что по вышесказанному всегда действует неблагоприятно, так как вызывает разложение продуктов дестилляции. Идеальным топливом для газификации является тощий, не спекающийся каменный уголь и высокосортные бурые угли, а также богемские бурые угли и буроугольные брикеты.

Особенно нежелательны отдельные крупные куски угля среди мелочи или наоборот. В первом случае направляющиеся на подобный кусок снизу струи газа все отклоняются в сторону. Мелкие частицы топлива на боковых гранях большого куска легко отрываются этими спрессованными струями и получаются каналы, ищущие дальнейшего прохода кверху. Но если образуется такой канал или воронка, что еще легче происходит, если несколько крупных кусков попадутся вместе, то получается путь слабого сопротивления и воздух получает возможность прохода без какого-либо химического или механического рабочего процесса. Частично образующийся газ сгорает с имеющимся избытком воздуха как внутри самого канала, так и в особенности при выходе в газовое пространство (верхний огонь), следствием чего является дурной состав газа и горячий ход процесса, а кроме того, и неприятные зашлакования, так как в местах прогара могут иметь место гораздо более высокие температуры, чем нормально в газогенераторе. Как-либо закрыть подобные отверстия в слое сверху во время производства не удается, так как в этом случае снова воздух работает против воздуха и внесенные в отверстия частицы горючего легко уносятся снова; улучшить положение можно только путем многократного резкого промешивания с раздроблением шлаковых образований и перемешиванием всего окружающего топлива, чем действительно уничтожается нежелательный путь газов, с одновременным образованием ряда других новых путей; обычно приходится эту операцию через известный период времени повторить, так как подобные каналы часто оказываются очень стойкими. Весьма неприятны подобные воронки при мелкозернистом топливе; при этом их образование часто можно проследить во всех

стадиях. Перед появлением верхнего огня легкие частицы начинают медленно танцовать в определенном месте горящего слоя; это уже является показателем более значительной скорости газового потока в этом месте. Если это явление вскоре же не прекратить и дать процессу развиваться дальше, то появляется вначале верхний огонь — короткими пламешками, делающимися все сильнее, воронка углубляется путем отрыва новых частичек и, наконец, проламывается целое жерло часто с такими нарушениями равновесия слоя (особенно, при высоких давлениях дутья), что все содержимое генератора распадается на крупные части. Результаты можно себе представить, так как при этом значительные массы негазифицированного вещества начинают перемещаться вниз и обратно.

Противоположным случаем является скопление богатых пылью и мелочью гнезд в вообще равномерном слое горючего. Эти скопления оказывают подобно крупным твердым кускам значительное сопротивление и поэтому переходят почти не разложившимися на шлаковую решетку; с поверхности они обычно бывают ошлакованы. Подобные гнезда получаются обычно при плохо сортированных топливах, как рядовой уголь и коксовая мелочь [1], но особенно часто при сыром буром угле и т. п., причем при измерении огня можно обнаружить в этих случаях часто несколько раскаленных зон одна над другой наряду с расположенными между ними совершенно холодными гнездами или слоями. Подобные явления имеют место при спекающихся и еще чаще при вспучивающихся — более молодых — каменных углях. Размягченные частицы топлива образуют при этом часто одну общую мягкую массу по всему сечению, которая подобно масляному слою пропускает дутье только в нескольких местах. Если при таких неблагоприятных температурных условиях добавить свежего угля, то процесс может на самом деле после первоначально сильного газирования за счет сухой перегонки затем совершенно прекратиться; длительное шурование помогает мало, так как сделанные каналы быстро снова замыкаются размягченной массой. Улучшение может произойти только в том случае, если температура снова поднимается выше, на что, однако, уходят при незначительном проходе газа часто целые часы, после чего размягчение исчезает и получившаяся хрупкая масса кокса может быть раздроблена энергичным шурованием.

Свойства топливного слоя при неравномерных раздроблениях горючего являются неблагоприятными еще вследствие того, что зерна различной величины также неодинаково распределяются в слое. Более крупные куски попадают больше к краям шахты, более мелкие — к середине. Поэтому верхний огонь можно одинаково ожидать как с середины, так и из краев в зависимости от специальных свойств горючего и имеющегося состояния газогенератора. Как правило образуется краевой огонь, так как здесь вследствие механического воздействия стен шахты при опускании топлива куски его лежат более рыхло и угловато. Влияние краевого слоя уже в 100 *мм* шириной является весьма существенным, так как при этой ширине принимаемая в расчет поверхность по отношению ко всему остальному сечению шахты при диаметре в 3 *м* составит около 15%, при диаметре в 2,5 *м* — около 18%, при диаметре в 2 *м* — около 23%;

[1] См. H. Waldeck, Theorie und Praxis des Gasgeneratorbetriebes, Halle, Knapp, 1910.

можно себе поэтому легко представить, как ухудшает начинающийся краевой огонь общий состав газа. Это влияние сильнее в шахтах малого размера и, кроме того, при незначительной загрузке газогенератора больше, чем при полной [1].

Из вышесказанного ясно, как важно механическое регулирование топливного слоя, что еще будет дополнительно обосновано в позднейшем изложении (стр. 124), и как сильно зависит это регулирование от целесообразной подачи топлива. Здесь нужно указать также на различные попытки, имевшие целью придать правильную конструкцию топливному слою, что особенно важно для спекающихся каменных углей. Блецингер (Blezinger) предложил для этого примешивание камней (D. R. P. 101610, 1898), которые проходят через газогенератор неизменившимися и могут быть употреблены снова; обычно, впрочем, оказывается дешевле примешивать свежие порции дислокирующих средств. Предложение кажется на первый взгляд абсурдным, но по существу вовсе не таково; впрочем, оно едва ли укоренится на практике. Часто добавляют при газификации спекающихся углей кокс, чтобы предотвратить образование «пирогов»; для этого же можно применять тощие угли, если их скорость газификации не слишком отличается от основного горючего, так как в противном случае можно опасаться образования пустот и воронок.

Но главным исходным пунктом при правильном выборе топлива является его сортировка, на что часто обращают слишком мало внимания [2].

Как правило, считают наиболее удобным топливом для газогенератора более дешевые сырые рядовые угли, но разница в цене между рядовыми углями с 40% кусков и углем-орешком с размерами зерна от 8 до 15 *мм* достигает 8—10%, в то время как пылевой унос от рядовых углей в среднем достигает 8—12%. При употребительных методах очистки газопроводов обычно едва ли возможно правильно использовать этот унос. Отсюда ясно, что этому обстоятельству придают слишком мало значения.

Вместе с образованием пыли для каменных углей имеет большое значение также еще и образование сажи, что особенно важно для процессов с высокой температурой. Зависит ли это явление только от разложения окиси углерода в газовой фазе, или от разложения углеводородов при высоких температурах — это еще требует уточнения. Оба процесса, несомненно, возможны только при высоких температурах, откуда следует, что желательно вести процесс в газогенераторе при возможно низкой температуре и поддерживать равномерный и не слишком низкий слой реагирования. Требование возможно высокого огневого слоя — в среднем около 1 *м* — может быть только тогда осуществлено, если газифицируется сортированное топливо с одинаковыми размерами зерен, что еще раз указывает на важность поставленных выше условий. Увеличение высоты раскаленного слоя делает необходимым повышение давления дутья и поэтому необходимо принять меры к одновременному равномерному распределе-

[1] Neuman, «Z. d. V. d. I.», 1914, стр. 1481.

[2] Основания для точных технических расчетов газопроницаемости см. в работе A. Wagner, A. Holzschuh и W. Barth, «Arch. f. Eisenhüttenwesen», 1932/33, № 4 (перевод этой статьи помещен в «Домез», № 1, 1933, «Газопроницаемость столба материалов»). Ред.

нию подводимого для газификации воздуха. Наилучшим средством для этого является не чрезмерно низкий, равномерно зернистой структуры зольный слой.

2. Остатки и их удаление

Наиболее старые системы газогенераторов имели колосниковые решетки подобно обычным простым топкам. Топочные остатки собирались на них и удалялись время от времени. Это звучит совсем просто. Но мы уже неоднократно указывали на часто возникающие зашлакования решетки; это уже было замечено в первые годы развития газового дела, и притом тем более, что тогда еще не знали влияния добавки пара, как это знают сегодня. Поэтому Эбельмен изменил впервые свой газогенератор таким образом, что устроил его наподобие маленькой доменной печи, с отводом жидких шлаков и добавлением пара в более высокие слои. Позднее этот способ был вновь забыт и работали обычно с дутьем Кертинга, дававшим непосредственно желаемую паро-воздушную смесь. Эта система является годной для всех доброкачественных топлив, не склонных к зашлакованию, но применявшиеся при этом конструкции газогенераторов имели тот недостаток, что остатки содержали много несгоревшего топлива, с одной стороны, вследствие обычно слишком обильного подвода пара и, с другой стороны, вследствие того, что рабочий слой топлива был слишком низок, в силу применявшегося малого давления дутья. Поэтому около 1870 г. перешли снова к идее генератора с плавлением золы. Сайлер (Sailer), введший это устройство в Витковицах, опубликовал обоснование к этому переходу в специальном докладе [1], в котором говорит: «Отсутствие решетки, следовательно, отсутствие провала, высокий слой топлива, поэтому отсутствие углекислоты, генератор в непосредственной близости к плавильной печи с хорошо футерованными газопроводами, при отсутствии вследствие этого конденсации смолы». Несмотря на это, также и там эта система была вскоре оставлена; причины этого легко будут понятны каждому металлургу: если домна уже является очень чувствительной [2], то для шахты с диаметром в 1,8 *м* это делается еще более заметным. К тому же газогенераторы работают в очень горячем состоянии, стены шахты очень сильно срабатываются и требуют значительного ремонта. Позднее в Оденкуре (Audincourt — место работы Эбельмена) эта конструкция еще раз была применена Сепюлькром (Sepulchre) и в конце концов система получила большое распространение на практике, хотя и в ограниченной области.

Преимущества процесса, как и его недостатки, сверх уже указанных, относятся преимущественно к его теплотехнической природе. Провал может быть устранен, но удаление шлака все же ведет к потере тепла; это делается тем более заметным, чем богаче топливо золой, так как при этом необходимы еще добавки для облегчения легкоплавкости. С другой стороны, возможно уменьшить потери газогенератора на излучение, так как пропускная способность при применяемых более высоких давлениях весьма высока. Поэтому эту конструкцию в особенности надеялись применять для топлив мелкозернистых и порошковатых. Однако это не удалось, так как высокое давление, как это показано в I разделе этой главы, применимо только в известных границах и к тому же как раз отсутствие зольного слоя является недостатком, обсуловливающим неправильное развитие химического процесса.

[1] «J. d. öst. Ing. u. techn. Ver.», 1898.

[2] В отношении необходимости тщательной регулировки процесса. Ред.

Зольные остатки вследствие их равномерной и тонкой зернистости являются, как это можно себе представить, лучшим средством для распределения воздушного дутья по всему сечению шахты. Если образуются шлаковые пироги, то это, конечно, имеет противоположное значение. Зольный слой желательно поддерживать от 30 до 50 *см* высотой, тогда в нем не происходит никаких реакций и воздух (пар) только подогревается. При более высоких температурах возможно и процессы, указанные в части II, и зола покидает генератор довольно холодной. Для топлив склонных к шлакообразованию этот способ является неподходящим и в этой области поэтому производятся непрерывные конструктивные улучшения; теоретически, однако, положение вещей вполне просто и является наиболее подходящим применять в большинстве случаев принцип противотока в движении горючего и золы, с одной стороны, и воздуха и газа — с другой, так как таким путем можно получить наилучшее использование тепла.

В газогенераторах с решеткой остатки собираются на колосниках и должны время от времени, как и в топках, удаляться. Последующее описание конструкций решеток показывает, что их выполнение часто как раз и подчиняется требованию максимального облегчения золоудаления. Прекращение огня и выгребание горячих шлаков вследствие большой жары и большого количества пыли является тяжелой и весьма вредной работой, и, кроме того, всегда требует перерыва процесса, что значительно неблагоприятнее, чем при топке. Поэтому после того, как было предложено жидкое золоудаление, делались все более частые попытки достичь по возможности механического удаления шлаков или с минимальным количеством ручной работы, при этом по возможности равномерно и непрерывно. Устройства для этого находятся в прямой зависимости от конструкции самой решетки, почему мы их здесь и не будем описывать отдельно, и отсылаем читателя к соответственным местам IV части. Для удаления шлаков с наименьшим трудом применяются повертывающиеся, а также опускные плоские решетки, шнеки под и над решеткой, столы, выдвижные шлаковые тележки и, наконец, подвижные решекти, в особенности вращающиеся.

Весьма существенным является в этом отношении применение так называемой водяной ванны или нижнего гидравлического затвора, в котором горячая зола перед удалением гасится. От этого внезапного охлаждения золовые и шлаковые пироги распадаются и получающийся при этом пар поддерживает химические процессы в газогенераторе, или предохраняет вышележащие слои от образования шлаков. Но наряду с этим предложены и многие другие вспомогательные устройства, как охлаждающие кольца, охлаждающие рубашки, периодические подводы пара и т. п.,— имеющие задачей достичь этого предохранения верхних слоев и облегчить удаление остатков.

О влиянии различных загрязнений на плавкость золы или ее шлакование было уже кое-что сказано в разделе топлива. Здесь мы укажем до-

полнительно еще на исследования Стопса, Лессинга и др[1]. (Stopes, Lessing). Согласно последним различают четыре рода каменных углей.

1. «Фюзен» — (германский термин «фузит») минеральный древесный уголь волокнистой структуры, физически почти идентичен с обыкновенным древесным углем, однако, немного мягче, чем последний и весьма порист; поглощает воду, удерживая затем растворенные в воде соли смотря по обстоятельствам в больших или меньших количествах и встречается преимущественно в угольном штыбе (по Синнату — Sinnat — заводский штыб содержит фюзена 30%, полученный при мытье угля — «slurry» — смотря по величине зерен — 25—50%);

2. «Дюрен» (дурит) — матовый твердый уголь с удельным весом $D = 1{,}5$.

3. «Клэрен» (кларит) — блестящий уголь, который еще содержит остатки растений, а также неизмененные части коры, споры и т. д.; удельный вес $D = 1{,}35$.

4. «Витрен» (витрит) — блестящий уголь с раковистым изломом, без ясной структуры, с коллоидными свойствами, удельный вес $D = 1{,}35$.

В среднем содержат золы: фюзен — 15,59%; дюрен — 6,26%, кларен — 1,22% и витрен — 1,11%. Этим можно объяснить, почему часто мелкий уголь той же шахты более склонен к шлакообразованию, чем кусковый уголь, что не может быть вызвано только более плотной его укладкой [2].

[1] «Brennstoffchemie», Jg 3, стр. 135.

[2] Конструктивные ингредиенты угля имеют в настоящее время ведущее значение для его характеристики. Поэтому мы приводим здесь краткие данные основных пирогенетических различий между вышеназванными видами угля.

Так, влияние величины кусков на выход газа (по данным G. E. Foxwell, «Gas Journal», 1931, № 3548) таково:

Величина зерен угля	От 30—15 *мм*	15—5 *мм*	Мелочь
Выход газа на 1 *т* в $м^3$	400	430	425
Выход смолы на 1 *т* в *л*	49	39	34,5

Причиной этих различий является различное содержание дюрена (дурита), дающего много смолы, и фюзена — малосмольного.

Более детальная характеристика отношения основных структурных ингредиентов угля к процессам дестилляционного характера (коксование) видна из следующей таблицы (для компонентов дербишайрского угля, Фоксвелл):

Таблица 28а

	Кокс, %	Смола, %	Аммиачная вода, %	Газ, $м^3/т$	$H_2S + CO_2$	O_2	C_nH_m
Витрен	65,7	7,7	8,0	345	1,9	1,3	3,9
Кларен	65,4	8,9	7,5	338	2,0	1,3	4,0
Дюрен	62,3	12,1	5,9	330	1,9	1,4	3,9
Фюзен	80,3	3,6	4,8	240	2,6	1,2	2,9
Исходный уголь	66,8	8,9	7,5	308	2,7	1,2	3,8

Резкое отличие фюзена в отношении образования больших количеств H_2 и CO и меньших — CH_4 и C_nH_m было отмечено уже проф. Дюпарком (A. Duparque, Ueber Fusit oder Faserkohle, «Schriften aus dem Gebiet der Brennstoffgeologie», № 2, 1930. Ред.

С другой стороны, вопрос о поведении золы при разрушении вещества угля и о ее распределении именно в золистых сортах еще слишком мало исследован; по всем наблюдениям можно принять, что наивысшее содержание золы является обычно местным, следовательно, неравномерно распределенным, не связанным органически с собственным веществом угля. Этим и объясняется то обстоятельство, что частицы топлива часто сохраняют свое строение до конца и только при соответствующем давлении распадаются в свободный штыб. Для получения в газогенераторе хорошего зольного слоя предпочтительнее, чтобы зола не размельчалась слишком тонко, и чтобы отдельные частицы несколько связывались между собой. Это обычно имеет место при золах, богатых железом, при которых не наблюдается также и значительного зашлакования, пока содержание серы не очень высоко. Вообще приходится приписывать именно сере главное влияние при шлакообразовании, а наряду с ней также и шелочам, образующим легкоплавкие силикаты.

Значительное зашлакование совместно с неправильным ходом газогенераторного процесса обычно является причиной высокого содержания горючего в золе; против первого помогает повышенный подвод пара, но только в том случае, если его распределение происходит равномерно и не слишком понижает температуру. В противном случае можно достичь как раз противоположного. Во многих случаях этим потерям придавали мало значения; кроме того, на этом основывали выгодную фабрикацию циндера (шлакового кокса из провала), особенно в странах, где кокс редок и дорог и, где требуются заменяющие кокс продукты для восстановительных целей (например, в цинковой и химической промышленностях). В настоящее время старые способы обогащения шлаков промывкой существенно модернизированы, так как получение горючих остатков [1] является уже самостоятельной задачей для нуждающихся в них предприятий. Конечно, получаемый таким образом кокс (циндер) всегда очень богат золой и поэтому является малоценным; весьма устаревшее оборудование делает обязательным и применение подобных уже устарелых методов. Однако, с другой стороны, в новых установках мы можем вполне устранить эти недостатки и получить в среднем золу, имеющую только 10—15% горючего (перевод на потерю топлива — см. табл. 28б). Для таких бедных остатков переработка уже не имеет смысла и поэтому такая модернизация является обычно единственно правильным путем, связанным

Таблица 28б (Ред.)

Зависимость потери горючего со шлаками от зольности топлива

Содержание горючего в шлаке, %	Зольность, %					
	5	10	15	20	25	30
5	0,26	0,53	0,79	1,05	1,32	1,58
10	0,56	1,10	1,67	2,20	2,78	3,35
15	0,88	1,76	2,65	3,50	4,40	5,30
20	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50

[1] Bartsch «B. W. W.», 1922, стр. 27.

также и с многими другими преимуществами, которых не могут дать специальные особые дополнительные устройства, обычно изнашивающиеся к тому же в течение нескольких лет.

Получение топлива из остатков никогда не может быть также выгодным, как полное безостаточное использование топлива в основном процессе. На этом основании нельзя рекомендовать планомерного получения кокса в результате генераторного процесса; если же необходимо получить заменяющий кокс продукт и приходится для этого использовать шлакогазогенераторную установку, то лучше всего использовать генераторный газ как теплоноситель для обособленного процесса полукоксования; таким образом, могут быть получены те же результаты, что и в газогенераторе при соответственном разделении процесса, с одновременным получением в распоряжение по возможности малозольного полукокса, обогащенного ценного газа и от газифицированного полностью угля — хорошо выжженной золы, могущей без потери вывозиться в отвалы.

3. Подвод реакционных газов

Потребное дутье (пар, углекислота и т. п.) должны, как правило, как уже было упомянуто, подниматься в газогенераторе в противоположном спускающемуся топливу направлении. Это понятно без дальнейшего объяснения, так как движение угля при этом происходит под влиянием его собственного веса, и движение газов также происходит самостоятельно вследствие высоких температур над решеткой. Это имеет место несмотря даже на то, что в вышележащих слоях происходит вновь охлаждение; только при очень низких температурах выпуска и высоком содержании влаги в газе может исчезнуть побудитель движения газа; однако, однажды принятое газом направление позволяет и в этом случае итти процессу без каких-либо задержек. Этот факт привел, естественно, к способу предварительного просасывания воздуха в начале процесса; действие присоединения непосредственно примыкающей печи, однако, не простирается на газогенератор, как очень наглядно доказал Дихман, хотя противоположное мнение даже в настоящее время еще широко распространено. Подвод газификационного воздуха под давлением нашел более значительное применение только после того, как в пародутьевых приборах Кертинга было найдено средство, позволившее достичь желательного механического эффекта одновременно с потребным подмешиванием пара.

В соответствии с этим мы различаем газогенераторы с естественной тягой, установки с давлением и, наконец, всасывающие агрегаты; последние применяются в тех случаях, когда газ применяется для силовых целей и для всасывания используется сила моторов, питающих таким образом воздухом газогенератор. Очевидно, что как газогенераторы с естественной тягой, так и установки со всасыванием не смогут дать такой производительности, как газогенератор с давлением, и это явилось причиной, почему первые типы газогенераторов почти вышли из употребления. Только для небольших газосиловых установок еще применяются, как правило, агрегаты со всасыванием.

Нельзя говорить вообще о сопротивлении определенного топливного слоя, так как сопротивление, т. е. потеря давления с высотой, зависит не только от свойств угольной шихты, но в первую очередь от скоростей,

необходимых для получения определенной производительности. Мы уже видели ранее, что скорости и потребное время реагирования, с одной стороны, и относительные размеры поверхности топлива, с другой стороны, определяют потребную высоту топливного слоя, не особенно сильно колеблющуюся в зависимости от рода топлива.

Можно поэтому говорить условно о размерах эмпирического сопротивления определенного топлива, вследствие которого без применения необходимого воздействия на воздух (давления или всасывания) может быть получена только совершенно незначительная производительность установки. Отношения изменяются, конечно, при каждой новой сортировке топлива; в то время, как для пылеватых углей обычно естественная тяга не может быть достаточной для поддержания должного прохода воздуха и газификации, — для хорошо сортированных углей, например, с размерами кусков около 50 *мм* влияние принудительной циркуляции воздуха сравнительно очень невелико. Для средних случаев, т. е. для газификации топлив с 12—15 *мм* зернами производительности при естественной тяге при работе со всасыванием и при дутье под давлением — относятся между собой соответственно как 1 : 2 : 4. Последнее число в особенности могло бы быть подвергнуто сомнению, но на самом деле много выше итти нельзя; именно, если еще более повысить давление, следовательно, и скорость, то при тех же свойствах топливного слоя время реагирования будет слишком мало, необходима будет большая высота слоя и это в свою очередь снизит давление. В этом случае практические границы ставятся также тем обстоятельством, что при больших скоростях, — унос пыли делается слишком высоким; состав газа обычно при этом делается хуже и обслуживание требует гораздо больше внимания, так что такие режимы применяются редко.

Наиболее целесообразные способы подвода воздуха и пара (соответственно также и других реакционных газов) будут подробно указаны позднее при описании типов решеток, так как равномерное распределение паровоздушной смеси имеет основное значение для хорошего течения процесса; при подмешивании пара является весьма существенным равномерный состав этой смеси. Чтобы достичь этого, пар обычно вводят в струю воздуха уже перед самой решеткой. Проще всего это разрешается при пароструйном дутье; но так как последнее в среднем требует более пара, чем это желательно для химических реакций, то в настоящее время применяют обычно центробежные вентиляторы (центрального типа) и примешивают пар в подводящие трубы каждого отдельного газогенератора, чтобы иметь возможность регулировать его количество смотря по потребности. Непосредственный отдельный подвод пара под решетку, считающийся предпочтительным вследствие его охлаждающего на нее действия, все более оставляется, так как при этом распределение пара слишком неравномерно (забивание отдельных паровых сопел, выходных отверстий и т. п.) и, кроме того, то же охлаждающее действие может быть достигнуто и нормальным путем. Наоборот, для некоторых специальных конструкций газогенераторов или соответственно для определенных топлив бывает необходимо подводить пар или по краю шахты для предотвращения зашлакований, или же вдувать пар в более высокие слои, как это, например, предложено уже Эбельменом для газогенераторов с плавлением золы. Подвод пара в верхние слои может потребоваться также и для до-

стижения определенных реакций в процессе газификации (D. R. P. 135025 Томсона или D. R. P. 308259 Риделя).

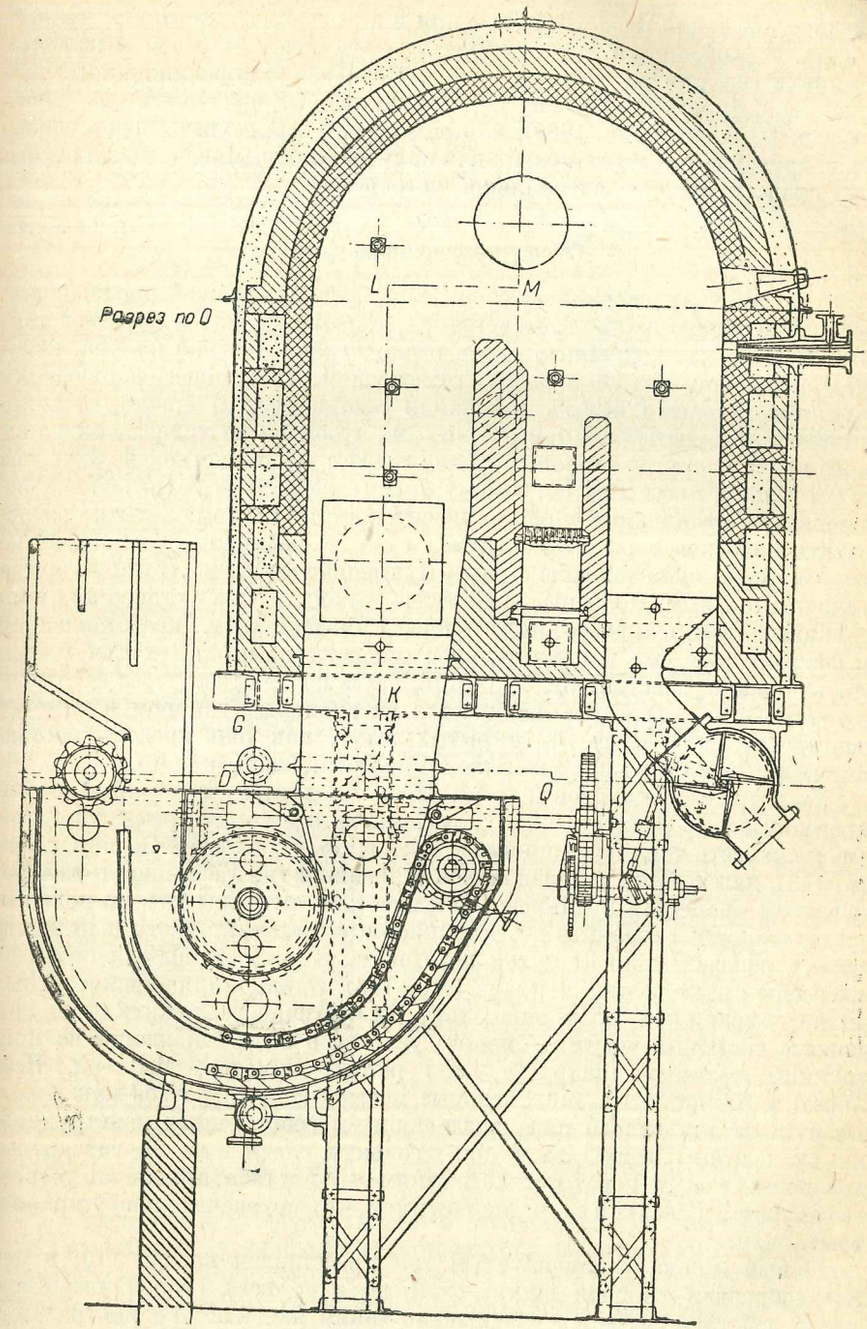
Подобным же образом производят и подвод отходящих газов, которые также смешиваются предварительно с дутьевым воздухом; в этом случае обычно применяются центробежные вентиляторы с двумя всасывающими штуцерами и регулировочными шиберами, чтобы иметь возможность изменять состав смеси. Для более точного ведения газогенераторного процесса и получения правильных температур реакции нельзя, однако, ограничиваться подводом пара с более или менее случайными характеристиками. В этом случае, особенно при применении горячих отходящих газов, имеет преимущество употребление вместо водяного пара мелко распыленной воды, впрыскиваемой под решетку. Этот способ применяется, как уже было выше сказано (стр. 95), и в обыкновенных газогенераторах для обогащения газа метаном, и он должен найти в будущем еще более широкое применение, так как снабжение установки паром всегда связано со значительными расходами и большими потерями; в то же время достаточно удовлетворительно распыленная вода полностью выполняет ту же работу, что и пар.

Особую и достойную упоминания форму одновременного подвода двух реакционных газов (для вращающихся решеток) дает D. R. P. 289770, 1914 Г. Копперса.

Здесь же надлежит упомянуть об опытах газификации, при которых воздух и топливо проходят через газогенератор в одном направлении (прямоточное газодобывание). Этот способ рекомендуется, главным образом, для топлив, богатых влагой, чтобы таким образом сэкономить водяной пар. Так как сушка топлива идет очень медленно, то воздух действительно при таком способе получает необходимую влажность; зато к раскаленному слою (зоне реакции) он подходит почти холодным, так как теплопередача против течения газа может происходить только путем излучения. Образующиеся газы уходят в одном направлении с горячими остатками и покидают газогенератор, следовательно, весьма горячими. Этот способ, кроме экономии пара, имеет следующую особенность: дестилляционные газы при прохождении через раскаленную зону разлагаются; поэтому он применяется для получения силового газа, но при этом необходимым образом получаются значительные потери физического тепла газа. Кроме того, согласно данным практики равномерное получение удовлетворительного реакционного слоя является вовсе не легким и поэтому этот более или менее простой принцип требует целого ряда вспомогательных устройств, почему он все более оставляется, тем более, что его цели легче могут быть достигнуты теперь применением других конструкций, как это будет показано в одном из следующих разделов [1].

Здесь следовало бы еще упомянуть об уже приведенных ранее условиях подогрева реакционных газов остатками газификации. Были предложены специальные конструкции для использования этого подогрева, подобно тому, как используют лучистую теплоту генераторной шахты

[1] Интересный случай прямоточного процесса представляет газогенератор проф. Ижевского («тепловик»). Опытные установки системы проф. Ижевского осуществляются в настоящее время Теплотехническим институтом (под руководством проф. Рафаловича) и Киевским отделением Украинского института промышленной энергетики (по конструкции проф. Соколова), см. фиг. 12а. Ред.



Фиг. 12а. Углевыжигательная печь — газо-генератор по идее „Тепловика“ проф. Ижевского системы проф. Соколова.

и физическое тепло газа для получения и перегрева нужного для процесса пара. В особенности здесь следует указать (стр. 151) на всасывающие установки (например, Доусона и др.). Подогрев газификационного воздуха с использованием физического тепла газа был предложен уже давно (Сименс, D. R. P. 20726, 1882), но практически был осуществлен в совершенно другой форме в установках для получения газа Монда, где для этого было сконструировано специальное устройство.

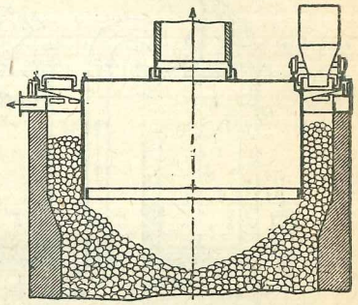
4. Отвод полученного газа

Согласно вышесказанному отвод, как правило, должен производиться через верхнюю часть газогенератора, где происходит и введение топлива. Обычно над топливным слоем располагается газовая камера, которая и снабжается сбоку или сверху газоотводом. Для лучшего наблюдения за газогенератором и его обслуживания рекомендуется, однако, несколько снизить скорость газа при его выходе, чтобы он не увлекал слишком много пыли. С другой стороны, подача свежего топлива происходит через это же газовое пространство, почему мелкие частицы угля (штыб) вообще не попадают в топливный слой, но уносятся вместе с газом; так как предотвратить подобное образование штыба едва ли возможно, то устройство газовых камер по сравнению с ранее применявшимися шахтами является предпочтительным. Подобные устройства мы видим уже в старейших конструкциях, как, например, на установке Сименса 1856 г., представленной на фиг. 49; там уже наполнительное отверстие отделено от газоотвода. Чтобы, однако, действительно предотвратить потери газа через загрузочное устройство, последнее снабжается специальным запором и поэтому значительно отличается от открытых шахт, как они представляются, например, хотя бы в виде газогенератора Эбельмена (фиг. 46).

Уже давно стремились к тому, чтобы продукты дестилляции (сухой перегонки), в особенности смолу, разложить и в то же время использовать влажность топлива в процессе (см. данные о работах Эбельмена на стр. 143), для чего и предназначался старейший тип газогенератора с обращенным процессом Эбельмена. Позднее конструкторы делали попытки по возможности сохранить дестилляционные составные части и отделить процесс газификации от сухой перегонки. В этом отношении особенно интересны предложения Лермана (стр. 145). Однако для низкосортных топлив сохранилось стремление хотя бы частично разложить дестилляционные составные части, — можно указать в этом отношении на конструкции шахтных аппаратов, или реторт Сименса, Меллера, Незе (Nehse) и Круппа (стр. 146), которые могут рассматриваться как исходные пункты для целого ряда позднейших и современных конструкций. Они сходны по отъему газа не над угольным слоем и во многих других отношениях с газогенераторами с средним отводом газа, причем это устройство является во всяком случае ценным тем, что оно значительно устраняет отрыв пыли.

Новый весьма рекомендуемый тип представлен на фиг. 13; в нем кольцеобразная рабочая шахта охватывает со всех сторон газоотвод. Способ действия является совершенно таким же, как при центральном наполнении шахты, только с тем различием, что здесь совершенно исключается также возможность образования краевого огня; устройство это

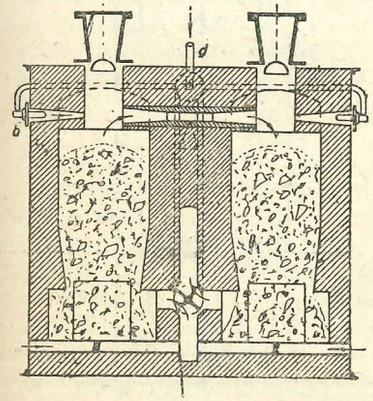
особенно легко применимо в крупных газогенераторах, наполнение производится очень легко и рационально при посредстве вращающейся крышки и приделанных к ней одновременно вращающихся наполнительных воронок. Показанное на фигуре расширение шахты при достаточно крупных диаметрах не является необходимым. В отношении капитальных затрат это устройство является несколько более дорогим, но так как оно дает значительные преимущества, то оно часто применяется.



Фиг. 13. Газогенератор с краевой загрузкой.

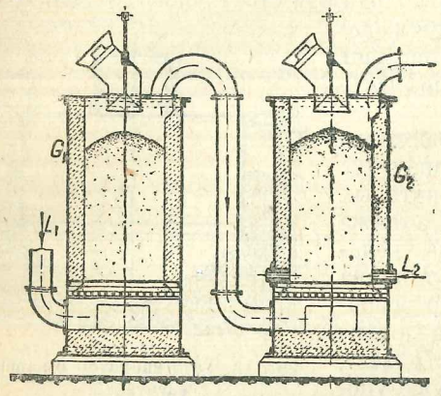
Старые попытки получения свободного от смолы газа получили особое значение в установках для силового газа, в которых требуется максимальная его чистота, а также при низкосортных горючих, когда желательно использовать влажность топлива для реакции в газогенераторе. Эти основные соображения преследовал уже опытный генератор Эбельмена 1842 г. (стр. 143), а также прямоточный генератор, уже упомянутый ранее.

Эту же цель разложения дестилляционных составных частей преследовало устройство двух последовательно включенных газогенераторов, так называемых двойных газогенераторов, в особенности, усовершенствованных Твайтом (Thwaite), Рише (Riche) Дейцской газомоторной фабрикой (Deutzer Gasmotorenfabrik) и др. В то время как в первом газогенераторе может производиться газификация любого топлива в соответствии с вышесказанным, второй газогенератор загружается раскаленным коксом или раскаленным древесным углем и газ первого газогенератора пропускается через этот раскаленный слой, чтобы разложить углеводороды, смолы и водяной пар. Этот последний процесс эндотермичен и поэтому он может итти непрерывно только в том случае, если во второй газогенератор будет подводиться газ из первого с небольшим количеством подмешанного воздуха, чтобы путем сжигания углерода покрывать потери тепла или же, если установить периодический процесс таким образом, что оба газогенератора могут обмениваться ролями, причем полностью освобожденный от продуктов сухой перегонки слой топлива в первом газогенераторе после загрузки второго газогенератора используется для разложения, т. е. первый газогенератор переключается вторым (см. газогенератор Твайта, фиг. 14). Вовсе не необходимо в этом случае применять два отдельных газогенератора, но вполне можно употребить газогенератор с двумя находящимися одна над другой шахтами, из которых нижняя загружается углем и верхняя — коксом.

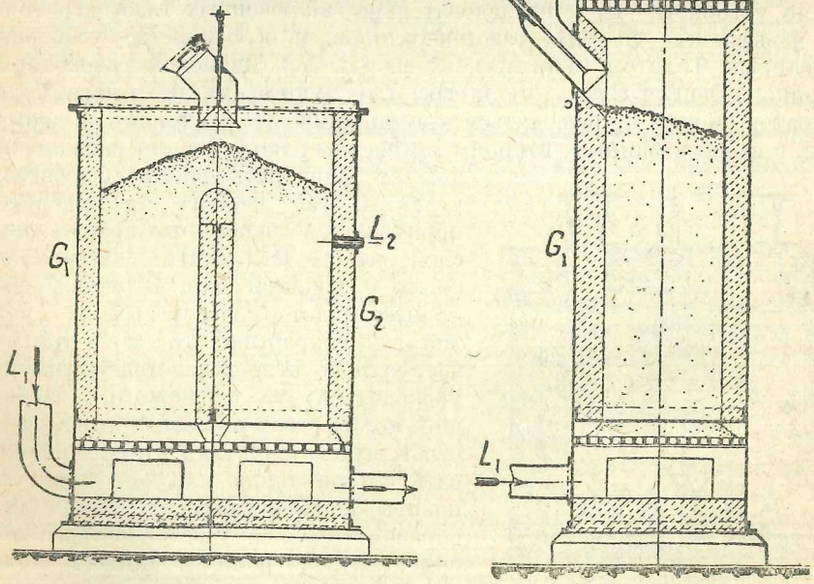


Фиг. 14. Газогенератор Твайта.

Чтобы полностью избежать применения кокса и работать только на рядовом топливе, рекомендуется вести производство таким образом, что направление движения в первой половине системы будет снизу вверх, и во второй половине — сверху вниз. Хотя газогенератор загружается



Фиг. 15. Установка двойного газогенератора.

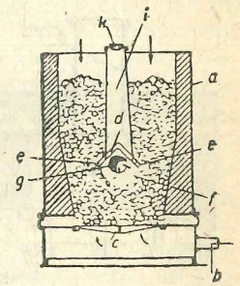


Фиг. 16 и 17. Различные системы двойных газогенераторов.

битуминозными углями, газ перед выходом всегда проходит через слой кокса, в котором все нежелательные составные части разлагаются на окись углерода и водород. На фиг. 15—17 представлены три конструкции, предложенные газомоторной фабрикой Дейц, причем L_1 везде обозначает подвод воздуха для газификации сырого топлива и L_2 — необходимый добавок воздуха для поддержания процесса последующего разложения.

Несмотря на то, что эти конструкции кажутся весьма многообещающими и что они многократно применялись Рише для газификации дров, все же они не получили большого распространения. Вообще трудно регулировать подвод вторичного воздуха, в спаренных же газогенераторах по этому принципу условия производства вследствие необходимости переключения и безусловной потребности в хорошем контроле являются еще менее благоприятными.

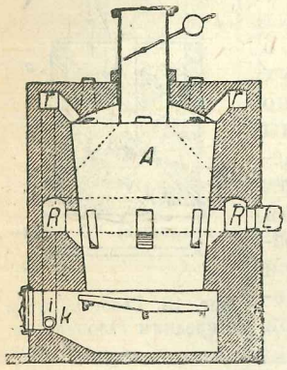
Поэтому в конце концов для получения силового газа из битуминозных топлив пришли к решению, которое вообще можно характеризовать как газогенератор с средним отводом газа. На фиг. 18 представлен подобный газогенератор; из чертежа видно, что путем отъема газа из более глубоких имеющих высокую температуру слоев мы можем считать обеспеченным разложение дестилляционных составных частей газа. Подобный газогенератор в основном можно себе представить состоящим из двух частей, из которых верхняя работает прямоточно и нижняя — противоточно. Так как обе половины газогенератора не могут быть разделены, то для дестилляционного процесса в верхней части теплота доставляется лишь излучением загруженного угля до разделяющего слоя. На самом деле подвод воздуха в верхнюю часть, как правило, не является необходимостью, так как достаточно и тех небольших количеств воздуха, которые поступают при подаче топлива и через неплотности наполнительной воронки, чтобы обеспечить развитие тепла, требующегося для подсушивания и швелевания поступающего топлива. Теплота дестилляции, как известно, вообще очень невелика, но потребление тепла для подсушки поступающего топлива, в особенности влажных низкосортных топлив, является довольно значительным, почему в таких случаях необходимо все же устраивать подвод воздуха в верхнюю часть газогенератора. Впервые мы встречаем подобный подвод воздуха в соединении с одной ретортой уже в D. R. P. 2155 — 1877 у Гормана (Gormann), но в общем эти конструкции со средним отбором газа развились именно у фирм, занимавшихся постройкой газосиловых установок, в особенности у Кертинг, Пинч, MAN и др.



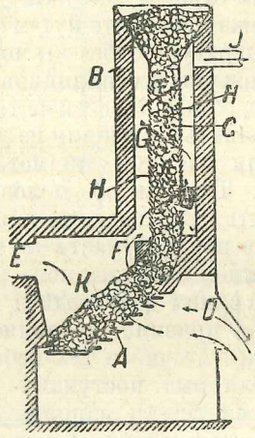
Фиг. 18. Газогенератор с средним газоотводом.

Следующая возможность получения свободного от смолы силового газа из сырых битуминозных углей представляется при употреблении внутренней реторты или даже без нее — среднего отбора газа (как у Гормана, Меллера, Незе и др. было предложено еще в 1877 — 1880 гг.) таким способом, что дестилляционные продукты не отводятся у нижнего края реторты в загруженное топливо и там соединяются с остальным газовым потоком, но отсасываются вообще из верхней части реторты или газогенератора и затем подводятся вместе с воздухом под решетку. Такие газогенераторы с обводом, впервые выполненные по патенту Ольшевского (Olschewsky, D. R. P. 15147, 1880), и изображенные на фиг. 19, получили сравнительно небольшое распространение на практике. Однако эта конструкция имеет особенный интерес по той причине, что она уже дает отдельный отвод дестилляционных газов, который впоследствии получил большое значение в отношении получения смолы.

Подобные же, весьма разнообразные способы газоотвода получили развитие в особенности в газогенераторах для водяного и двойного газов, так как при этих методах принимают участие различные химические процессы и для поддержания потребных температур приходится работать частично противоточным способом и частично — прямоточным. Для этих газогенераторов всегда необходима работа с переключением, так как здесь уже мы имеем дело не только с двумя реакционными газами (воздух и водяной пар), но также и с двумя различными результативными газами (газ горячего дутья и водяной газ), которые необходимо отводить отдельно. В этом отношении они напоминают рассмотренные ранее установки двойных газогенераторов или газогенераторов с раздельной стенкой и чрезвычайно сходны вообще с этими формами, как это показывает сравнение фиг. 17 и 107. Конструкция и способ эксплоатации газогенератора для водяного газа будут описаны подробно позднее.



Фиг. 19. Газогенератор по Ольшевскому.



Фиг. 20. Газогенератор по Ябсу.

Как видно из предыдущего, самый процесс газификации почти во всех случаях один и тот же и, как правило, применяется принцип противотока, в то время как принцип прямого тока встречается реже. Наряду с обоими этими принципами мы могли бы еще указать третий принцип — газификации с поперечным током, при котором газовый поток движется в направлении, перпендикулярном движению топлива. Простое рассуждение, однако, показывает, что этот способ едва ли может быть практически применим, так как часть воздуха входит в реакцию с свежим топливом, другая часть с совершенно дестиллированным горючим и возможна также третья часть — с совершенно выгоревшим топливом. Поэтому средний состав газа будет весьма неудовлетворительным. Подобный способ газификации мог бы быть принят во внимание только для топлив чрезвычайно плотной консистенции, как это показывает фиг. 20. Эта конструкция Ябса (Jabs, D. R. P. 206576, 1907) заставляет, однако, опасаться, что тонкие слои топлива очень легко могут обрушиться и создать опасность взрыва (например, по опытам Пинча по аналогичному D. R. P. 300452).

5. Подача топлива

Так же как отвод газа, подача топлива, как правило, производится сверху. Для этой цели применяются специальные хорошо запирающиеся загрузочные отверстия. Чтобы предотвратить выход газа при загрузке, стремятся достичь полного отделения загрузочной коробки от остальной

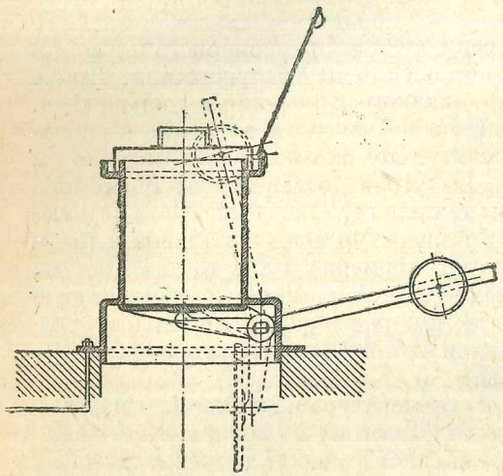
газовой камеры, что и привело к конструированию так называемых загрузочных шахт. У таких газогенераторов, как генераторы со ступенчатой решеткой, у которых загрузочное отверстие расположено с противоположной стороны газоотвода, это легко может быть достигнуто устройством поперечного свода. У генераторов с центральной подачей загрузочную шахту опускают далеко внутрь генератора, чтобы предотвратить пропуск газа.

Загрузочная шахта обладает преимуществом равномерного и автоматического распределения топлива независимо от обслуживания. Кроме того, загрузка топлива не вызывает никакого изменения в составе газа. Уголь в загрузочной шахте не участвует в процессе и медленно и равномерно спускается в генераторную шахту. Это вполне соответствовало бы естественному ходу процесса, если бы уголь достиг шахты генератора с наружной температурой и если бы температура газа была соответствующей. Так как естественная разность температур между топливом и газом при противоточном процессе достигает примерно 100°, то температура газа в этом случае должна быть около 100°. На самом деле, однако, дело происходит несколько иначе. Приведенные ранее расчеты позволяют убедиться в том, что даже при образовании чистой CO получаются значительно более высокие температуры газа.

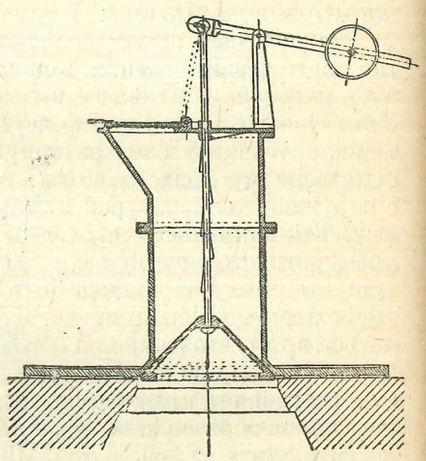
В условиях практической работы температура поднимается еще выше вследствие образования CO_2 и колеблется поэтому в зависимости от влажности топлива от 300 до 800°. Более высокая разность температур между газом и топливом, чем приведенная выше, невозможна, температурный скачок при непрерывном производстве является также исключенным, и вследствие этого при более высоких в действительности температурах газа топливо у нижнего края загрузочной шахты будет значительно горячее, чем это отвечало бы наружной температуре. Вследствие этого не только разогреваются и страдают загрузочные шахты, но они к тому же подвергаются наружному нагреву, подобно ретортам, и поэтому находящееся в них топливо подвергается правильному процессу сухой перегонки (дестилляция). Дестилляционные газы, для которых нет другого выхода, проходят через топливо в загрузочной шахте вниз и через ее край в наружную шахту. Проходя на этом пути весьма горячую зону, они разлагаются, в особенности содержащиеся в них смолистые составные части. Таким образом можно получить пригодный для силовых машин бедный смолой газ, если реторта отпущена в газогенератор достаточно глубоко и температура в дестилляционной шахте достаточно высока. Из этих попыток и развилась известная и уже описанная нами конструкция газогенератора с средним отводом газа. Сходны с этим типом газогенераторы с краевой загрузкой; одна из опробованных и весьма целесообразных их конструкций представлена на фиг. 13.

Как правило, однако, стремились к тому, чтобы сохранить смолистые составные части в газе, причем даже считали желательными по возможности повысить их содержание. Для достижения этого позднее присоединили к загрузочной воронке входную камеру, чем одновременно можно было устранить и потери газа при помощи двойного затвора. Чтобы достичь по возможности равномерного распределения топлива, было предложено устройство многочисленных малых загрузочных воронок с равномерным их расположением по крыше газогенератора, с возможно меньшей потерей

места и возможно легким обслуживанием. Необходимо при этом напомнить, что в то время еще не были введены в употребление бункера или подобные им устройства и что топливо подавалось на рабочую площадку, откуда и подавалось лопатками. Большие и особенно высокие загруженые воронки поэтому утяжеляли работу. Сначала применяли загрузочные воронки

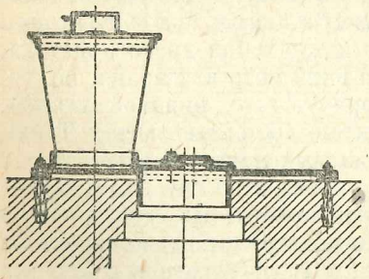


Фиг. 21. Загрузочная воронка с клапанным запором.



Фиг. 22. Устарелая конструкция загрузочной воронки.

с клапанами, как показано на фиг. 21, позднее перешли для лучшего распределения топлива к воронкам с конусом, как на фиг. 22. Большое распространение получили также так называемые загрузочные шиберы — по фиг. 23, являющиеся по нашим теперешним представлениям весьма несовершенными, хотя в свое время они привлекали внимание как новейшее достижение [1].



Фиг. 23. Загрузочный шибер.

Из применения нескольких загрузочных воронок в соединении с известной конструкцией загрузочной шахты развился уже давно способ центрального отвода газа в соединении с краевой загрузкой, который мы находим уже в 1880 г. у Твайта. Газоотводная труба продвинута глубоко внутрь шахты и в кольцеобразном пространстве вокруг нее две или несколько загрузочных воронок доставляют уголь в сделанную из шамота газовую шахту.

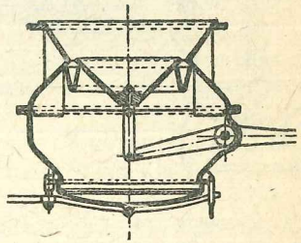
В отношении конструкции загрузочных воронок нужно заметить следующее:

Почти каждая строительная фирма имеет свою систему и все имеют свои достоинства и недостатки. Наиболее важным является в первую

[1] Schmatolla, Die Gaserzeuger, стр. 26 — 30, Hannover, Jänicke, 1908.

очередь равномерное распределение топлива по всему сечению шахты, что, однако, едва ли достижимо с простыми воронками. Мелкозернистые топлива ведут себя при засыпке иначе, чем крупнокусковые; при смешанных размерах кусков крупные падают у краев, мелкие остаются в середине. Так как и без того топливный слой у краев быстрее газифицируется, то упомянутым рассыпанием это ускорение еще усиливается. Поэтому никогда нельзя брать слишком малых воронок, и, в особенности, распределительных колоколов. Загрузка середины может быть скорее достигнута, если колокол медленно и понемногу опускается, причем уголь опускается медленно и почти вертикально; если же открыть колокол быстро и глубоко, то весь вес загрузки падает сразу и получает направление движения к краю шахты, сильно параболической формы.

Чем значительнее становились диаметры газогенераторов, тем заметнее становились все их конструктивные недостатки, и в отношении загрузочных воронок с большим колоколом были сделаны попытки их конструктивного улучшения. Средняя зона, которая при крупном распределительном конусе вообще не получает топлива, является тем более неблагоприятной, что обработка ее поверхности затруднительнее, чем у края, где обычно устраиваются шуровочные отверстия. Поэтому нужна была конструкция, позволяющая любое распределение топлива по краям и в середине; старейшим средством для этого является вложенное кольцо, показанное на фиг. 24. Если опустить распределительный конус, то загрузочная воронка будет снабжать обычным порядком краевое пространство различной величиной кусками топлива; топливо из-за кольца не может полностью высыпаться из загрузочной воронки, по сторонам кольца остается значительная его часть. Если же конус поднять, то кольцо поднимается вместе и находящееся в загрузочной воронке топливо падает в середину. Эта конструкция имеет тот недостаток, что приходится всегда сначала опускать, а затем поднимать кольцо, так как при ином порядке вследствие веса топлива в загрузочной воронке и его сопротивления едва ли можно было бы работать. Поэтому мы можем загружать сначала край и затем середину или только вводить загрузку на край, сохраняя остаток топлива в последнем случае в самой загрузочной воронке; но едва ли возможно работать таким образом, чтобы загружать только средину. Впрочем эта конструкция имеет тот недостаток, что свободное кольцо легко допускает вредные неплотности.

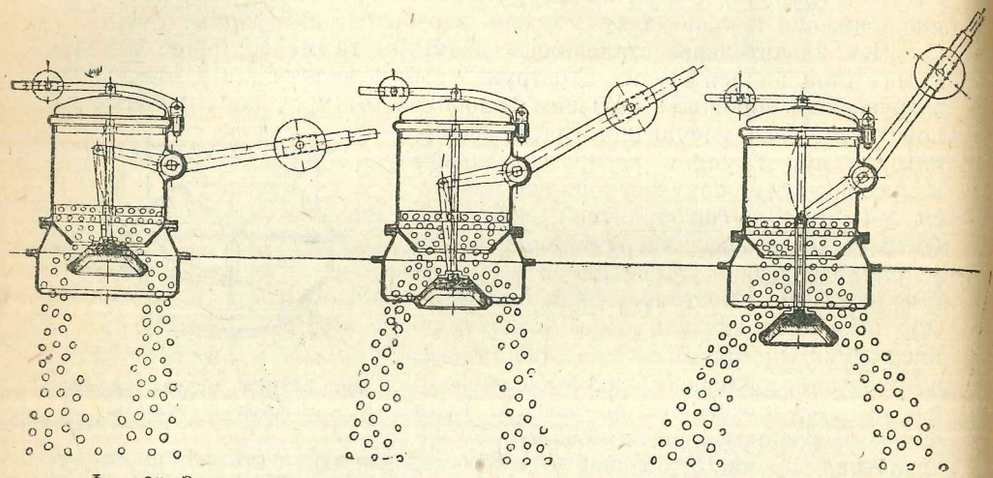


Фиг. 24. Загрузочная воронка с свободным кольцом.

Более простую конструкцию, позволяющую при нормальной форме загрузочной воронки и больших размерах конуса производить загрузку середины шахты, дает фиг. 25; это устройство обычно называется отклоняющим кольцом [1]. В кирпичной кладке шахты ниже загрузочной воронки врезается несколько наклоненное внутрь кольцо. Способ работы показан на фигуре. Если опустить конус лишь немного, то падающее топливо встречает на своем пути отклоняющее кольцо и вследствие его формы от-

[1] Фирмы Бамаг. Ред.

клоняется к средине; если опустить конус сильнее, топливо будет падать к внешним краевым частям шахты. Так как при этом вполне возможно переходить из одного положения в другое в любом порядке, то эта конструкция представляет очень удачное разрешение задачи. Некоторым недостатком является лишь то обстоятельство, что незначительное опускание, в первом положении делает возможным задержку крупных кусков, легко застревающих и препятствующих хорошему плотному закрыванию воронки. Размеры самого конуса и соответственно загрузочной воронки должны отвечать консистенции топлива и не должны быть слишком малыми. Отклоняющее кольцо, подверженное воздействию лучистой теплоты,

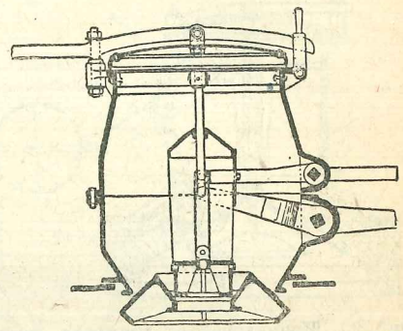


Фиг. 25. Загрузочная воронка с отклоняющим кольцом в различных положениях.

значительно страдает от этого и легко коробится; но это мешает незначительно, так как оно не отпадает полностью. Часто все же от такого кольца отказываются, заменяя его специальным выступом кладки свода генератора. Во всяком случае эта конструкция, применяемая многими фирмами, несомненно, должна получить предпочтение перед прежним устройством со свободным кольцом; так как если даже загрузка производится не совсем равномерно, то правильность загрузки все же достигнута.

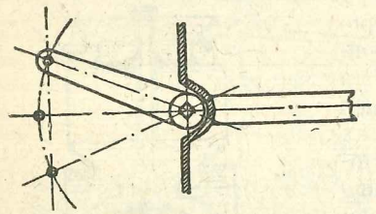
Та же цель может быть достигнута посредством двойного клапана, из которых один, кольцеобразно охватывает другой, меньшей величины, находящийся в средине. Здесь возможны два типа устройства. Или средний клапан ставится под наружным, или же выше него. Первая конструкция работает следующим образом: если опустить сначала внутренний клапан, то главная часть содержимого воронки опорожняется на среднюю кольцевую поверхность слоя, остаток же может быть выброшен к краю; обратным будет распределение количеств, если сначала опустить оба клапана и после этого поднять наружный, причем образовавшийся в средине воронки остаток падает в среднее кольцо. Но в средину ничего не попадает; обычно это не является особенно существенным, так как внутренний клапан имеет очень малый диаметр; но если все же этого желательно избегнуть, то можно снабдить наружный клапан отклоняющим кольцом.

Вторая конструкция представлена на фиг. 26. С подобной воронкой можно еще лучше достичь требующейся цели, и она особенно рекомендуется для несортированных топлив с весьма неравномерными зернами. Внутренний клапан имеет специальную цилиндрическую верхнюю часть, позволяющую поднимать его при полной загрузке воронки. Так как в этой конструкции можно работать самостоятельно и внутренним клапаном, и наружным, а также и обоими (один за другим) в любой последовательности, то мы достигаем таким образом максимально равномерного и в любой момент регулируемого распределения загрузки.

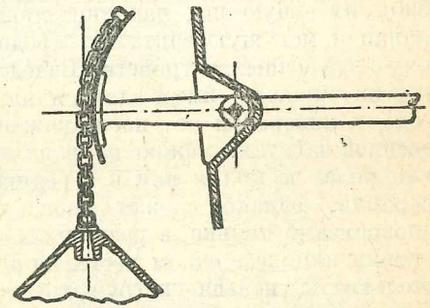


Фиг. 26. Загрузочная воронка с двойным клапаном завода Фридрих Август.

Дальнейшее улучшение конструкции питательной воронки могло бы быть произведено, если бы кроме клапанов сделать опускающимися и поднимающимися также и стенки воронки. Однако при этом получаются слишком дорогие и поэтому едва ли подходящие конструкции. Совершенно верно утверждение, что едва ли существует такая конструкция загрузочной воронки, которая могла бы дать всегда хорошие результаты для самых различных и неравномерных, в особенности, по сортаменту, а следовательно, и по величине кусков топлив; однако и при простых конструкциях хорошее наблюдение и точное оперирование позволяют получить всегда удовлетворительные результаты.



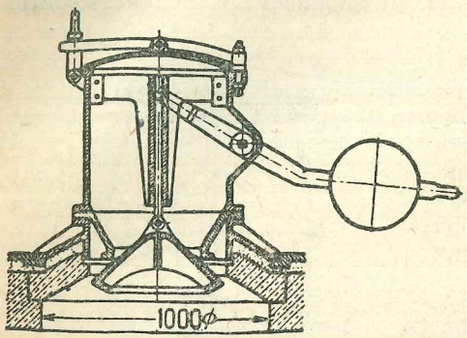
Фиг. 27. Движение штанги простой загрузочной воронки.



Фиг. 28. Сегментное движение.

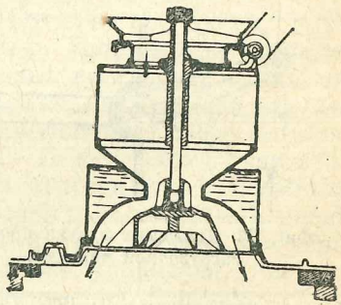
Существенным пунктом в конструкции загрузочной воронки является движение клапана. Если последний посажен на простую штангу, то точка подвеса описывает при работе круговой сегмент — фиг. 27; можно легко устроить таким образом, что нормальные положения штанги, например, самое низкое и самое высокое, будут расположены на оси воронки, среднее же положение покажет в таком случае отклонение, следствием чего будет косая подача топлива. Чтобы устранить этот недостаток, применяют так называемое сегментное движение по фиг. 28, имеющее только недостаток в отношении большого места, для него требующегося, или же делают воронки с штанговым движением типа, изображенного, например,

на фиг. 29 [фирма Хут и Ретгер (Huth и Röttger)]. Другие фирмы выпускали на рынок подобные же конструкции, стоящие, правда, дороже, чем простые загрузочные воронки, но имеющие преимущества, перевешивающие их высокую стоимость; они особенно рекомендуются для воронок с двойными клапанами.



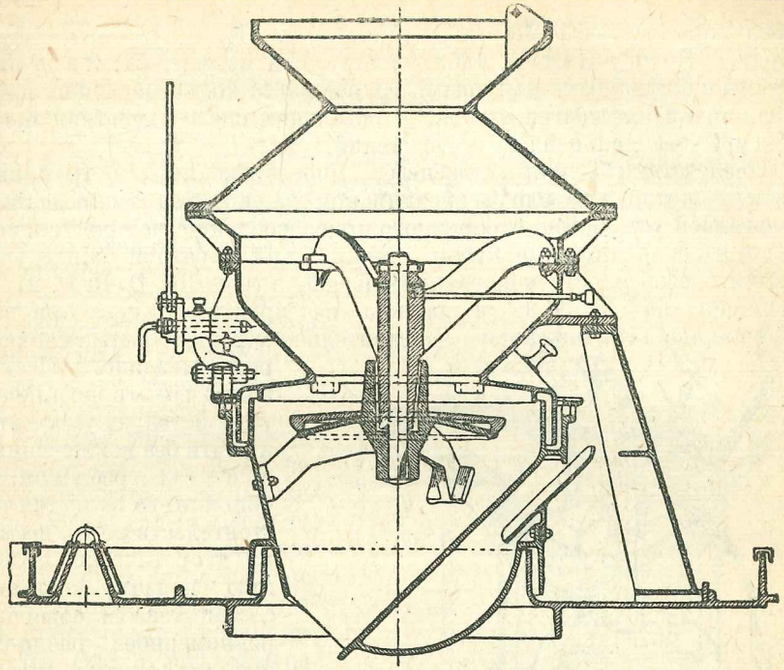
Фиг. 29. Прямолинейное движение загрузочного конуса.

Все эти конструкции воронок разрешают вопрос распределения топлива более или менее удовлетворительно. Но вопрос о непрерывности подачи при этом оставлен открытым. Так как наполнительные шахты для этого также не приспособлены и диаметры наполнительных шахт, в особенности в крупных газогенераторах, весьма велики, причем в средине их получается отстающее ядро, то большое внимание конструкторов привлекали такие устройства, которые обеспечивали бы непрерывную и в то же время равномерную подачу топлива. Конечно, эти устройства должны быть механическими, так как естественно, что равномерное распределение малых количеств ручным путем едва ли может нами преследоваться и механизация операции является совершенно необходимой. Прежде чем перейти к описанию этих конструкций, упомянем еще загрузочную воронку Сольвей и К-о (Solway u. C°, D. R. P. 55811, 1890), имеющую под наполнительным отверстием один спиралевидный клапан и могущую считаться предшественницей позднейших механических загрузочных устройств. Вследствие спиралевидной формы каждая сторона клапана имеет другой наклон и поэтому поворотом его после каждой проведенной загрузки можно направлять топливо более к краям или к середине. Эта операция, однако, может производиться одновременно только в различных местах воронки или же в одном месте, но последовательно и нельзя загружать топливо только в середину или только к краю; поэтому эта конструкция слабо прививается. Но все же мы снова встречаем спиралевидные или сходственно искривленные поверхности в большинстве позднейших конструкций подавателей топлива.

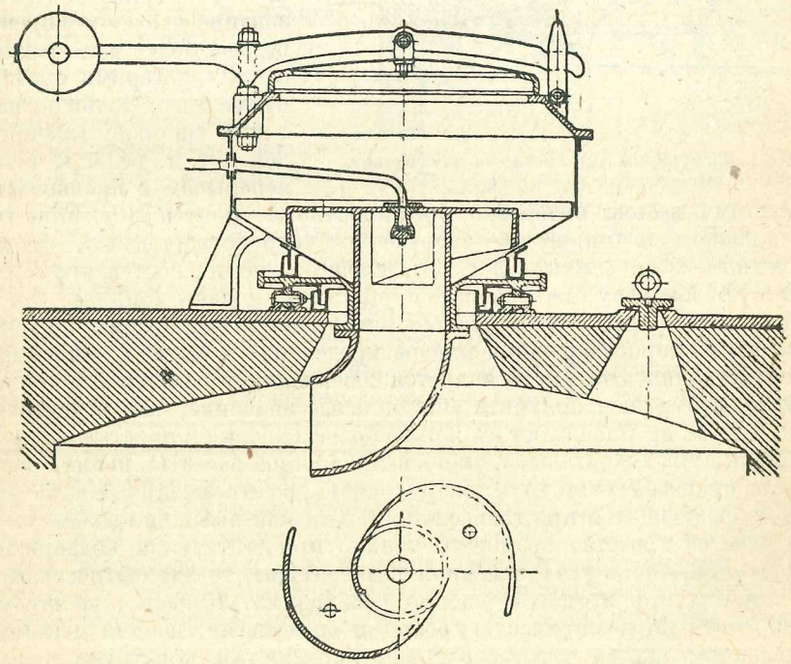


Фиг. 30. Загрузочное устройство по Бильдту.

Старейший механический загрузчик был предложен Бильдтом (D. R. P. 72747, 1893); он представлен на фиг. 30. Специально искривленная рабочая пластинка клапана может поворачиваться и при этом засыпает топливо при различном наклоне поверхностей по-разному. Скорость поворачивания клапана может быть отрегулирована; кроме того, она устанавливается также и по высоте, чтобы пропускать уголь различных размеров. Конструкция многократно выполнялась, но позднее была вы-



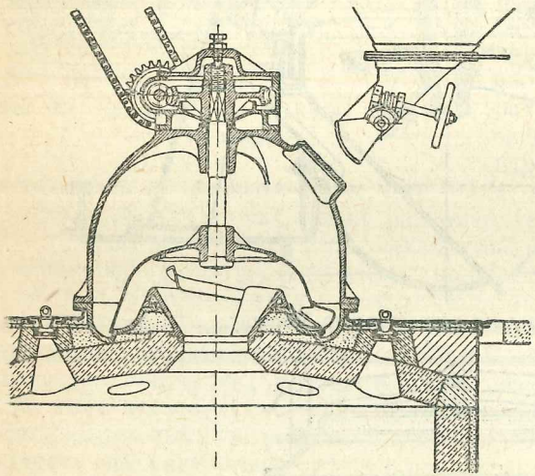
Фиг. 31. Загрузочное устройство по Моргану.



Фиг. 32. Загрузочное устройство по Каулену.

теснена конструкцией Моргана (Morgan) D. R. P. 159889, Роулей Джорджа (Rowley George), 1903, показанной на фиг. 31. Здесь вместо пластины с различными наклонами граней взята кольцеобразная воронка с различными наклонами стенок. В остальном способ действия понятен из фигуры без дальнейших объяснений.

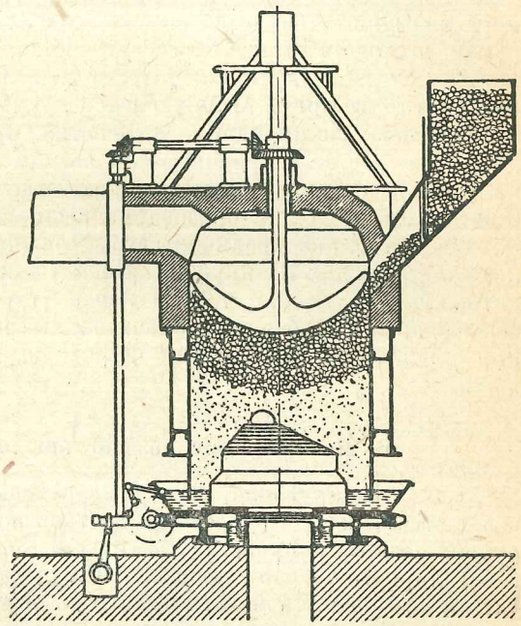
Впоследствии были предложены еще многочисленные конструкции, перечисление которых завело бы нас слишком далеко. Над распределителем предлагалось устройство отборочного приспособления, не пропускающего в газогенератор крупные куски. Очень целесообразной конструкцией является в особенности конструкция Куалена (Quoilin, D. R. P. 210703), показанная на фиг. 32 и давшая на практике даже при очень неравномерной величине кусков действительно хорошее совершенно ровное распределение. Несмотря на это, все эти механические устройства не укоренились и почти без исключения вышли из употребления. Причиной этого является то обстоятельство, что, несмотря на теоретически правильную подачу, постоянный состав газа и совершенно равномерное распределение, мы, однако, имеем такое чрезмерное пылеобразование, что все эти преимущества более чем выравниваются потерями с пылью; кроме того, большое запыление запоров, газопроводов и т. п. ведет к частым перерывам в производстве.



Фиг. 33. Загрузочное устройство по де-Фонтену.

Поэтому весьма интересно предложение де-Фонтена (de Fontaine), применяющего механическое загрузочное устройство, весьма сходное с последним из описанных (фиг. 33), дающее, однако, постепенную и непрерывную загрузку, но разовые порционные подачи топлива, причем механизация процесса обеспечивает возможность ускорения подачи и в то же время хорошее равномерное распределение, а также независимость от обслуживания. Эта мысль является совершенно правильной и должна, вероятно, в будущем получить еще большее значение, чем в настоящее время. Теперь предпочитают возможно более дешевые и простые загрузочные воронки; на значительное уменьшение ручной работы и полная равномерность процесса сочетаются теперь, однако, со стремлениями получения смолы, образующейся при газификации. Так как высокие выходы смолы и хорошее ее качество возможны только при длительном поддержании определенной, точно установленной температуры, то автоматическая подача топлива при этом совершенно необходима. Конечно, желательно достичь этого по возможности простыми средствами, но для некоторых определенных систем газогенераторов упомянутая конструкция представляет, несомненно, преимущества.

Значительно отличающиеся способы загрузки имеют, конечно, специальные конструкции газогенераторов, отклоняющиеся от их основного типа. Так, например, для газогенераторов прямоточного типа и для двойных газогенераторов предложены сходные с топочными способы подачи топлива снизу (см. патенты: Underfeed Stoker C° ,115105, Ronay, 148854 и Boutillier — 170406 и 173651. [1] Эти генераторы с «намордниками», как их называет Фердинанд Фишер, не смогли, однако, укорениться, так как значительное потребление энергии и сильное их изнашивание не возмещаются каким-либо существенным преимуществом и вообще принцип прямого тока при газификации не получил значительного распространения.



Фиг. 34. Планировочное устройство по Копперсу.

Для газификации порошковидного топлива были испробованы не только порошковые топки, следовательно, подвод топлива с воздухом под давлением, но и падение или медленное блуждание пыли в противотоке с воздухом, как это еще будет показано в другом месте.

В связи с этим нужно напомнить о попытках достичь планировки и спрессовывания топлива в газогенераторе. В отношении первой операции нужно указать в особенности на патенты Г. Копперса, Эссен, D. R. P. 249686, 249687 и 265697, в отношении второй — на патент Гетца и Шульце (Goehtz u. Schulze 195293). Спрессовывание в особенности имеет значение для порошковых или богатых штыбом топлив, чтобы при почти всегда вначале наступающем размягчении последних достичь агломерации мелких зерен. Если эти спекшиеся пироги разбить, то мы получаем нормальные куски топлив для дальнейшей газификации. Поэтому прессование всегда связано с последующим размолом, почему и возникает опасность, что будет получен слишком плотно лежащий непроницаемый для газа слой; значительная трудность точного овладения этими обоими процессами ограничила поэтому расширение этих опытов, в особенности, в связи с развитием других более удачных конструкций для переработки порошковых углей. Прессование может быть получит значение в случае перехода к газодобыванию при помощи электрической энергии, как при коксовании, хотя и в этом случае газопроницаемость будет играть гораздо более существенную роль, чем для коксовых печей. Во всяком

[1] Fischer, Kraftgas, 2 Aufl, стр. 372.

случае подобные устройства получают значение лишь в особых специальных случаях.

Напротив, попытки достичь планирования топливного слоя обещают гораздо более. В особенности охотно применяют подобные устройства в газогенераторах с большими диаметрами, чтобы достичь равномерного распределения топлива. При этом вполне возможно по желанию держать загрузочный слой топлива выше в средине или по краям, смотря по конструкции планирующего приспособления, и таким образом предотвращать неудовлетворительную работу газогенератора. Кроме того, при планировании мелкие частицы спрессовываются в промежуточной части слоя между крупными кусками, поэтому нежелательные пустоты встречаются реже и в то же время пыль уводится крупными кусками вниз. На фиг. 34 представлено планирующее устройство, предложенное Копперсом. Планирование всегда сопровождается легким прессованием, что и понижает унос пыли; с другой стороны, обработка поверхности может, конечно, привести, наоборот, к образованию пыли в ограниченном объеме. Поэтому от свойств топлива и величины его зерен значительно зависит целесообразность применения планировки. Но так как строение крыльев может быть изменено как угодно, то это новое устройство является чрезвычайно обещающим; в особенности значительные преимущества должно оно дать при совместной конструкции шуровочных приспособлений с загрузочными.

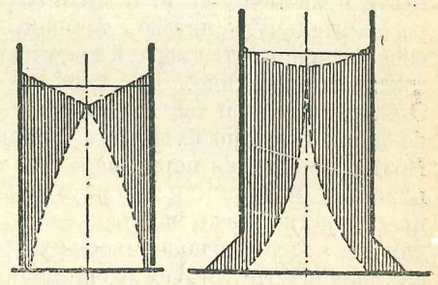
6. Механическое воздействие на топливный слой [1]

Как планирующие, так и загрузочные механические устройства познакомили нас с попытками достичь возможно большего сокращения ручной работы в производстве газа и установления более правильного и регулярного течения процесса. Но представляется весьма важным добиться возможности механического воздействия на загруженное топливо в еще большей степени, почему мы в нижеследующем и должны рассмотреть последовательно происходящие процессы в слое и их зависимость от механического воздействия. В первом разделе уже было установлено, что потребные для реакции объемы воздуха чрезвычайно велики по отношению к объему газифицируемого топлива; поэтому существенно необходимо заставить работать поверхность топлива. Но как уже было объяснено, обращенная в сторону потока газов поверхность твердого зерна тем долее находится в покое, чем больше самое зерно, т. е. чем больше исключается вредное действие мертвых пространств; наглядно это показано на фиг. 7.

Всякое движение топлива ускоряет поэтому различные химико-физические процессы; это имеет значение не только для самой газификации, но и для предварительной дестилляции, высушивания и т. п. Далее, известно, что непрестанное перемешивание топлива если не совершенно предотвращает спекание угля, то чрезвычайно его уменьшает, если только не будет сопровождаться одновременным спрессовыванием его. Если этого

[1] См. также H. R. Trenkler, Die mechanische Beeinflussung des Brennstoffes im Gaserzeuger, «Z. d. V. d. I.» № 50, 1925; В. Балабанов, Механическая шуровка газогенераторов, «Ж. Р. Металлург. о-ва» № 3, 1928. Ред.

избежать и достичь непрерывного движения, то образование крупных непроницаемых для газа пирогов можно достаточно полно предотвратить; это и является основной целью как старых, так и новейших систем шуровочных и размешивающих приспособлений. Если, например, представить себе движущуюся простую, расположенную поперек газогенераторной шахты мешалку, то это и явится основным элементом как планировочных устройств, мешалок в швельцилиндрах, так и шуровочных устройств, выполненных наподобие мешалок, смотря по тому, выше или глубже расположена эта мешалка [1]. Так как мешалка в горячей зоне подвергается опасности перегореть или как-либо иначе пострадать, то для воздействия на этот слой делают подвижными сопла, подводящие воздух, что и дает возможность не только перемешивать топливо в реакционной зоне, но и в особенности предотвратить образование зольных камней, разбить образующиеся мосты и т. п., а также обеспечить удаление остатков соответствующими специальными конструкциями. Так как эта особенность в развитии генераторостроения имела значительное влияние, то эти попытки должны быть рассмотрены подробнее.



Фиг. 35 и 36. Движущее действие вращающейся шахты.

Уже в английском патенте 27379 Тальбота и Юза (B. Talbot and Hughes, 1897) применили вращающуюся шахту, чтобы перемешивать загрузку. Позднее Дуф (Duff, D. R. P. 140639, 1901) предложил многоугольную вращающуюся шахту с эксцентрическим действием; американские конструкторы с 1905 г. ввели широко в практику вращающуюся шахту (фиг. 99) в соединении с описанной далее шлаковой тарелкой (в конструкции Тейлора).

Если мы рассмотрим состояние наполняющего тела в цилиндрическом сосуде, стенки которого вращаются, а дно неподвижно, то при вращении его согласно фиг. 35 мы можем сказать следующее:

Прилежащие к стенкам частицы наполняющего вещества вследствие трения приводятся в движение; противодействующей силой при этом будет инерция тяжести, стремящейся сохранить первоначальное состояние тела. Вследствие этого загрузка в верхних слоях легче будет увлекаться, чем в нижних, так как последние будут оставаться неподвижными под действием тяжести вышележащей массы. Если установить достаточно большое трение, скорость движения больше, чем обычно, то для небольших диаметров цилиндра мы получим картину движения, как это представлено заштрихованной частью изображения, т. е. верхняя часть вращается полностью и образует под влиянием вращения воронку, в то время как книзу вращающийся кольцевой слой уменьшается. В предыдущем мы уже упомянули о всех влияниях, имеющих значение; на самом деле скорости будут значительно меньше, диаметры больше и трение обычно

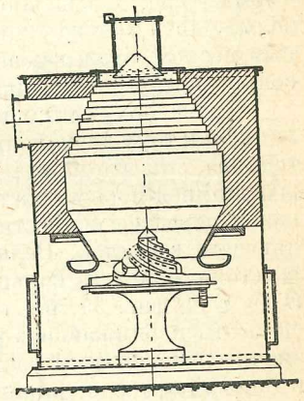
[1] О работе мешалок и планирующих устройств подробнее см. у Gwosdz, Kohlenwassergas, 1930. В газере фирмы Престон мешалка системы Чепмена вращается 1 раз в 10 мин. Ред.

меньше, так что будут постепенно вовлекаться в движение не только слои, прилежащие к стенкам. Воздействие понижается от края к средине и не существует какого-либо определенного разделительного слоя между движущимися и неподвижными частицами. В действительности ядро загрузки не подвергается вовсе воздействию движущейся стенки.

Картина меняется, как только мы примем, что загрузка не остается в цилиндре, но медленно опускается в нем сверху вниз, т. е. на нижнем конце сосуда существует выход вещества, как представлено на фиг. 36. Действие веса краевой части, которое в первом случае перевешивало влияние трения, будет играть значительно меньшую роль, так как материал одновременно может и вращаться совместно со стенкой и падать вниз. Влияние движущейся стенки распространяется более к средине в особенности в нижней части, и мы получаем примерно нанесенную пунктиром разделительную линию, причем, однако, ранее сказанное сохраняет свое значение, что твердой границы не существует и движение постепенно замирает к средине. Неподвижная сердцевина значительно уменьшается. Это ядро представляет теперь мертвое пространство, содержимое которого не движется; оно будет тем значительнее, чем больше диаметр шахты. Поэтому является первоочередной задачей так сконструировать нижнюю пластину (поддон или тарелку), чтобы по возможности уменьшить мертвое пространство и в то же время предотвратить чрезмерный выпуск топлива, для чего край загибается кверху; выпуск топлива может быть увеличен или вообще регулируем расширением наружной части зольниковой чаши. Очевидно, однако, что дутьевые колпаки в соединении с неподвижными поддонами облегчают образование в неподвижной средней части шлаковых камней вследствие интенсивнейших реакций и самых высоких температур, так что действие вращающейся шахты может быть вовсе не всегда выгодным. Движение краевого слоя обусловливает частично более плотное расположение топлива у края, так как обычно толчкообразное движение шахты вызывает утрясывание топлива; но, с другой стороны, при этом может произойти сортировка топлива по величине кусков, причем более крупные, оказывающие меньшее сопротивление трению, куски отделяются и могут собраться в средине или в одном из средних слоев. Поэтому топливо в пограничной зоне будет размещено наиболее свободно, что может повлечь образование прогаров. В действительности состав газа в таких газогенераторах даже при лучших топливах нельзя назвать хорошим, как я уже неоднократно имел случай установить.

Еще более старой, чем идея вращающейся шахты, является идея вращающейся решетки и соответственно обычно в ней же помещающегося дутьевого колпака, так как путем такого движения этой части надеялись прежде всего воспрепятствовать образованию зашлакований. Для плоских решеток предложения сделать подвижными колосники был и сделаны уже ранее, для газогенераторов с дутьевым колпаком старейшее предложение было сделано Бруком (Brook, D. R. P. 29316, 1884), который дал конструкцию, представленную на фиг. 37.

Эта конструкция имеет на вращающейся зольной тарелке винтообразную решетку, которая, однако, как своими размерами, так и формой напоминает применявшиеся тогда дутьевые колпаки. Рассматривая теперь ретроспективно эту конструкцию, мы видим ясно отсутствие зольного пространства, что в соединении с незначительной высотой действия вращающейся тарелки является причиной того, что эта конструкция едва ли могла быть введена в практику. Но по типу она имеет в основном те же линии, что и фиг. 36, только с тем различием, что заштрихованная площадь находится в покое, а белая поверхность обозначает именно то содержимое шахты, которое движется совместно с тарелкой. Так как в газогенераторном процессе мы имеем дело в первую очередь с относительным расположением масс, которое и характеризуется соответствующей пограничной поверхностью, то конечный эффект обеих конструкций будет довольно сходен. Если мы представим себе в этой фигуре шахту неподвижной, а тарелку с коническим колпаком вращающейся, то легко видеть, что материал может всегда проворачиваться доверха, если действие трения превысит влияние веса вышележащей массы. Более значительные шлаковые камни при такой конструкции вследствие своего веса застревают, так как разрывающее и отводящее действие вращающегося тела весьма невелики, хотя винтообразный дутьевой колпак имеет и вертикальные поверхности, правда незначительной высоты.



Фиг. 37. Газогенератор Брука.

Вращающиеся поддоны могли получить прочное применение на практике только после того, как Тейлор (D. R. P. 50137, 1889) устроил рядом с поддоном зольную камеру, чтобы иметь возможность местного регулирования золоудаления (фиг. 60 и 74). Подобные же конструкции предложил де-Лаваль (de Laval, D. R. P. 81545 и 88565, 1894 и соответственно 1896), который исключил тарелку, но расположил в газогенераторной шахте вращающуюся решетку больших размеров, чтобы распространить воздействие на более значительный топливный слой. Решительным же шагом вперед явилась решетка Керпели (Kerpely, 1903), который за эту заслугу получил от Союза германских железозаводчиков (VDE) в 1914 г. медаль им. Карла Луега.

Основной идеей Керпели были два положения, а именно:

1. Вращать решетку таким образом, чтобы последняя вызывала максимальное движение топливного слоя.

2. Делать решетку возможно большей и эксцентрической формы, чтобы при ее вращении задевалось большее сечение шахты и, следовательно, нижняя поверхность топлива, чем поверхность самой решетки.

Результатом этого должны получиться, как это ясно само собой, большая производительность и предотвращение зашлакований и образования мостов.

При конструктивном осуществлении оказалось необходимым, чтобы решетка была по возможности высока (башнеобразная), для воздействия на зону газификации; новым конструктивным элементом при этом добавляется вращающийся зольник, до того времени еще неизвестный. Эксцентрическое устройство решетки дает нам при этом возможность:

3. Автоматического удаления золы, для чего действие решетки усиливается введением в зольник неподвижного разравнивающего золу плужка (золоудалитель).

Характерный контур построенного на дне золового корыта и вместе с ним двигающейся решетки представлен на фиг. 38, — заштрихованный элемент с пограничной линией *abcde*.

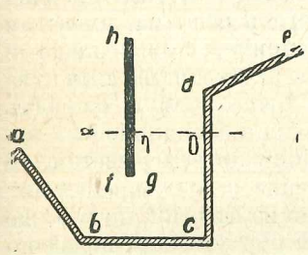
В заключенном им объеме помещается неподвижная нижняя часть кожуха (погруженное в золу кольцо), которая для ясного отличия показана черным, с внутренней пограничной линией *f g h*. Наружная часть зольного корыта *a b* обегает вокруг оси вращения решетки как тело вращения, так и опускное кольцо. Если мы представим себе решетку в движении и корыто наполненным золой, то при вращении последнего опускное кольцо вырежет выемку и существенное движение золы произойдет только в том случае, если зола оказывает большее сопротивление и если движение золы вблизи кольца сильно стеснено. Если представить корыто наполненным песком, оказывающим вследствие округленности своих зерен слабое сопротивление, то выемка значительно расширится с обеих сторон кольца.

Иначе получается в газогенераторе, где к корыту добавляется решетка и к тому же наполняющее вещество находится под нагрузкой столба топлива, так что каждая образующаяся пустота тотчас заполняется снижающимися новыми частицами. Передача скорости решетки золе, так же как и передача скорости кольца золе, зависит от сопротивления наполняющего вещества. Величина соответствующей скорости при изменении расстояния между кольцом и решеткой меняется поэтому не по прямой *O* до *v* на фиг. 39, но, вероятно, по кривой двоякой кривизны, так что скорость в ближайшем расстоянии от погруженной части кожуха уже значительна и затем соответственно медленно возрастает, чтобы только в ближайшем расстоянии от решетки достичь скорости v', значительно меньшей, чем v. Ход кривой пояснен штриховкой до оси абсцисс. В соответствии с этим мы не сделаем большой ошибки, если придадим золе в корыте среднюю скорость v_1, которая достигает в средних условиях величины около $^1/_2 v$.

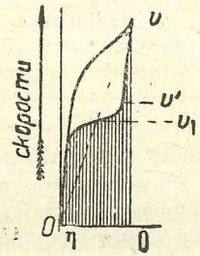
Совершенно независимо от строения решетки часть зольного наполнения отстает в движении и под влиянием действующего сверху давления стремится оторваться от совместного движения по направлению *h g f* (фиг. 40). На этом основывается известный факт, всегда наблюдаемый при наполнении и первом пуске газогенератора. Зольник наполняется через верхнюю часть газогенератора и зола располагается примерно по пунктирной линии *g b*. При движении корыта зола поднимается в корыте без помощи золоудалителя и притом тем выше, чем больше сопротивление золы (при крупнозернистой, ошлакованной, неправильной форме, сопротивление золы — наибольшее). Исключительно исходя из давления, производимого столбом топлива, обе половины корыта, разделенные кольцом кожуха, могут рассматриваться, как два сообщающихся сосуда; зола снаружи поднимается высоко, как только ей сообщается недостающая подвижность путем внешнего воздействия (в данном случае — движением корыта).

С другой стороны, распределение скоростей в горизонтальном сечении через наружную часть корыта дает подобную же картину. Только здесь наблюдается отсутствие воздействия неподвижного груза и поэтому возможно удаление вещества через верхний край. В соответствии с этим расположение золы в корыте всегда дает характерную кривую по фиг. 40. При низком корыте и сильном сопротивлении золы возможно ее удаление и без помощи плужка (золоудалителя), как это и наблюдается часто в производстве. Во многих случаях втягивание золоудалителя в верхнюю половину корыта недостаточно для предотвращения удаления, и поэтому золоудалитель располагают обычно таким образом, чтобы его можно было поднимать над краем корыта.

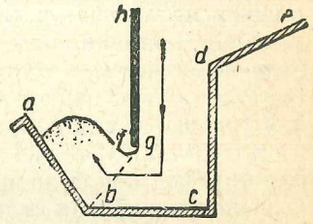
Все сказанное действительно как для концентрически поставленных круглых решеток, так и для любых эксцентрических (следовательно,



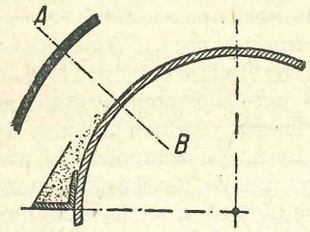
Фиг. 38.



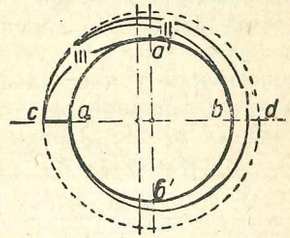
Фиг. 39.



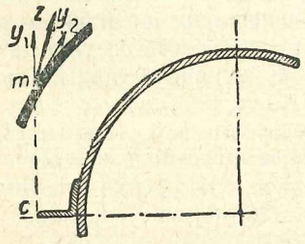
Фиг. 40.



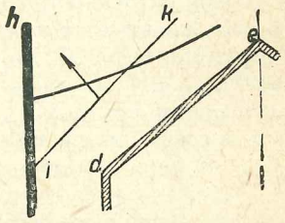
Фиг. 41.



Фиг. 42.



Фиг. 43.



Фиг. 44.

Фиг. 38—44. Определение движущего действия вращающейся решетки.

и отклоняющихся от тела вращения). Основанием для применения изобретателем эксцентрически работающей решетки вначале было следующее: для достижения потребной высокой пропускной способности аппарата должны удаляться более значительные количества золы; значительного же действия решетки в этом отношении можно ожидать лишь при ее эксцентрической форме. Обоснование же этого следующее: чем больше сопротивление наполняющей массы, а оно вообще для газогенераторной золы весьма велико, — тем меньше будет v', так как не только трение края кожуха действует задерживающим образом, но также действует и

тяжесть столба топлива, поскольку последнее не движется целиком — своей основной массой.

Так как такого общего движения едва ли можно ожидать, то v' действительно оказывается очень малым и приходится наблюдать за тем, чтобы возможно усилить воздействие движения решетки на зольный слой. Для этого-то и является наиболее пригодным эксцентрическое устройство решетки, для вывода какового заключения достаточно рассмотреть фиг. 41. Здесь взята центрическая круглая решетка, имеющая в одном месте добавочный наружный элемент (например, прикрепленный уголок). Частички золы, находящиеся в мертвом пространстве тотчас за этим сборщиком — «увлекателем», — покажут точно полную скорость решетки v. Так как трение, и соответственно сопротивление, золы с золой больше, чем между золой и чугунным гладким литьем решетки, то в общем зола будет увлекать сильнее, и уменьшение v до v' происходит не так резко, как было выведено ранее и показано на фиг. 39, но гораздо медленнее, и кривая скоростей будет итти таким образом, как показано на этой фигуре жирной верхней кривой, дающей характеристику сечения AB на фиг. 41.

Рассмотрим теперь вопрос о том, как далеко распространяется защитное действие такого сборщика с внешним ребром c, или, соответственно, как велико указанное выше мертвое пространство. При целесообразных конструкциях последнее должно быть, конечно, по возможности избегаемо в зависимости от того, насколько простирается действие собирающего ребра. Принимая теоретически сопротивление равным нулю и большую скорость решетки, мы получим защищенное пространство в виде целого круга (фиг. 42), показанного на фигуре пунктиром. Для практических случаев при малом сопротивлении мы получим верхнюю линию I, при большем сопротивлении — нижнюю линию III. Средняя линия II соответствует среднему сопротивлению и в то же время представляет собой окружность cb, которая смещена эксцентрически по сравнению с окружностью ab на половину отрезка ac. Это соответствует первой конструкции Керпели, которую в конструктивном отношении считали предпочтительной (австрийский патент 16700, 1903).

Фактическим средним условиям лучше отвечает линия III, представляющая собой эллипс с большой осью cd, превышающей свою малую ось ab на двойную величину отрезка ac. Эта форма соответствует D. R. P. 168874 и в соответствии с вышесказанным, очевидно, эллипс является идеальнейшим решением вопроса.

Сходное же действие, естественно, может быть достигнуто с ромбическими или полигональными формами поперечного сечения. Чем больше при этом форма приближается к центральной круглой решетке, тем незначительнее делается ее действие. Но, с другой стороны, решетка многоугольной формы с ребрами имеет то преимущество, что ребра образуют многочисленные опорные пункты для передачи движения и таким образом может быть достигнуто при относительно быстром следовании их одно за другим — достаточно активное воздействие. При гладких же поверхностях всегда более легко происходит отставание зольного слоя, что и является основанием для преимущественного выбора, при практическом выполнении этой конструкции, вместо формы эллипса — приближающегося к нему по форме многоугольника.

Влияние эксцентричности было бы только перемалывающим, если бы процесс имел место только между решеткой и опускным кольцом. Но он протекает иначе, так как зола имеет возможность ниже кольца выходить в наружную часть зольника. Поэтому эксцентрические части решетки одновременно оказывают сдвигающее действие, как это показывает фиг. 43. Представим себе кусок шлака m, лежащий ниже спускного кольца; на него действует давление ребра c в направлении составляющей y_1, и, с другой стороны, вращательное движение корыта с его содержимым в направлении касательной, т. е. составляющей y_2. Вместе они дают результирующую z, лежащую между ними, но по своей величине и точному направлению с трудом определяемую. Это сдвигающее действие нагляднее всего наблюдается у ромбических решеток, при которых без действия плужка (золоудалителя) можно собрать целые горы золы в корыте, если приходится работать с крупнокусковыми неправильной формы золами. Эти зольные кучи располагаются примерно на 30 — 60° перед размалывающим ребром и поэтому во многих случаях можно определить приблизительно положение решетки по виду зольного корыта. При мелкозернистой золе обычно это невозможно, однако часто наблюдается, что более крупные куски шлака большею частью именно в этом месте корыта переходят из внутренней половины в наружную, так как именно тут сдвигающее действие является наибольшим.

Смещающее действие решетки должно, естественно, освободить место за размалывающими ребрами для падающих сверху кусков. Пустоты получаются редко, так как давление столба топлива слишком велико; но, конечно, следует ожидать, что вещество за ребром лежит более свободно и рыхло, чем перед ребром.

Существенно иначе действует эксцентрическая конструкция в верхней конической части решетки. Хотя и там давит тяжесть топливного слоя — во всяком случае уже менее значительная, — но вследствие наклонного положения выталкивание кверху наблюдается лишь в незначительной степени. Если, например, в фиг. 44 линия de представляет размалывающее ребро верхней части эксцентрической решетки, то построенная согласно фиг. 43 результирующая линия не пойдет горизонтально, но имеет уклон кверху, так как одна из составляющих перпендикулярна к de. Давление столба топлива, естественно, едва допускает заметное выталкивание, но при открывании лежащих на высоте решетки шуровочных отверстий обычно можно констатировать, что зола перед сдвигающими ребрами лежит плотнее. Доказательство сказанного можно наблюдать при первом же пуске генератора. Если шлак перед зажиганием заполнит чашу до линии ik и решетку начнут вращать, то уже после одного поворота получается мгновенное уменьшение угла откоса, пока при продолжающемся вращении верхняя пограничная линия не займет положения, указанного на фиг. 44 жирной линией.

Оба последние процесса объясняют легко наступающий перекос зоны горения, так как последняя перед разгружающей частью решетки находится выше, чем за нею. По той же причине можно, например, при эксцентрически поставленных круглых решетках и соответствующих топливах (высокосортные бурые угли) наблюдать круговращение огня вместе с решеткой, в незначительных, правда, размерах. Такие же или подобные явления становятся тем более заметными, чем круче поставлена

верхняя часть решетки. Развитие генераторостроения дает нам в этом отношении характерные примеры. После успеха генератора Керпели первые же позднейшие конструкции стремились еще увеличить действие решетки, придавая ей большую крутость (Реман) или ставя на нее такие насадки, которые бы позволили увеличить действие решетки на столб топлива, в особенности в вертикальном направлении. Хотя это предложение и не было неправильным, но эти формы решеток все же не дали удовлетворительных результатов, так как процесс становился слишком чувствительным, и позднейшее развитие (в течение примерно десяти лет) предпочтительно шло по линии плоских форм решеток. Крутые формы решеток для отдельных топлив показывали хорошие результаты, но это имело характер только исключительных случаев.

Как уже вытекает из вышеизложенного, конструкция употребительных вращающихся решеток достигает желаемого действия без помощи золоудалителя. Этот последний только усиливает деятельность решетки, так как неподвижно стоящий плужок действует, подобно неподвижному опускному краю кожуха, задерживающе на движущееся вещество. Зола, упирающаяся в золоудалитель (сошник) при движении чаши, полностью прекращает дальнейшее движение и поэтому высоко поднимается по сошнику, под давлением сдвигаемых масс золы. При не достигающем дна чаши сошнике действие получается аналогичное и в этом случае совершенно сходное с действием опускного кольца кожуха. Действие сошника в основном совершенно не зависит от действия решетки и может быть сведено в своем главном назначении к полному удалению медленно поднимающейся под действием решетки в чаше золы через край чаши.

Как мы видим, вращающаяся решетка производит в первую очередь движение зольного слоя. Но и движение топливного слоя без соответствующего движения зольного слоя совершенно невозможно, так как ведь в тех самых местах слоя, где имеет место интенсивное газообразование, происходит и образование остатков золы и шлаков. Между холодным, совершенно выгоревшим зольным слоем в самой нижней части газогенератора и тем самым нижним слоем топлива, который еще может быть назван действительно топливом, находятся пространственно довольно обширные переходные слои, которые не могут быть названы ни зольными, ни топливными слоями; их называют слоями газификации. Последние особенно высоки при многозольных топливах, и это явилось причиной, почему самые старые конструкции решеток в призматической части имеют дутьевые прорезы, чтобы по возможности полностью довести до конца конечную фазу газификации, идущую, разумеется, весьма медленно.

У газогенераторов с вращающейся решеткой в производстве было повторно установлено, что влияние движения решетки на находящиеся над нею слои простирается на высоту лишь около 40—50 *см*. Во всяком случае движение решетки обусловливает более плотное состояние топливного слоя (точно так же, как встряхивание), и только этим уже достигается потребное повышение газопроизводительности. С другой стороны, непрерывная обработка зольного слоя, особенно при низкой его температуре плавления (или при значительной примеси серного колчедана), — предохраняет от большого зашлаковывания и образования золовых камней, мешающих процессу газификации. Устранение подобных крупных кусков или их своевременное раздробление является, как известно, одним из основных условий для непрерывной и правильной работы генератора.

Для определения наивыгоднейшей высоты призматической части и правильного наклона конической части изобретателем были проделаны систематические и длительные опыты. Важнейшей задачей в настоящем развитии газогенераторов с вращающейся решеткой является нахождение наиболее правильной и простой конструкции для достижения эксцентрического действия, и в последующем изложении мы укажем, какие средства для этого были применены в различных конструкциях.

IV. Конструкции газогенераторов

1. Историческое развитие газогенераторостроения

Уже в изложенных отделах можно было составить себе представление о том, как многочисленны различные формы выполнения газеров [1]. Одна патентная литература в этой области является чрезвычайно богатой. Но так как весьма многие предложения остались лишь на бумаге и никогда не были введены в практику, то возможно более полное описание этих, часто лишь немного отличающихся одна от другой, конструкций было бы интересно лишь для опытного их знатока, особенно если бы мы проследили частично медленное, частично же внезапно быстрое развитие отдельных основных идей и показали, как часто идеи предваряли техническое развитие проблемы, и как в других случаях ощущался недостаток в руководящих идеях и конструктивное карандашное фантазирование напрасно пыталось овладеть проблемой; для тех же, кто желал бы ознакомиться с данной областью, или кто практически в ней работает, более нужно описание немногих конструкций, и сравнение их по возможности с наиболее широких точек зрения, чтобы ясно выявить все основные соотношения. Комбинирование различных основных идей, так часто встречающихся в патентной литературе, при этом является весьма нужным, так как возможно точное установление характера процессов, изучение их взаимодействия и связи и ясное представление о всех химических и технических средствах дадут возможность каждому изучить существенное, откинуть ненужные побочные элементы и выбрать правильное для применения на практике.

Поэтому я сознательно отказываюсь от какого-либо полного перечисления конструкций; наоборот, я хотел бы его насколько возможно ограничить. Взамен я полагаю нужным дать лишь краткий исторический обзор развития отдельных основных идей. При этом я буду делать указания на предложенные патенты, выбирая из них лишь характерное, так как в действительности в них встречается невероятно много повторений и лишь очень немного новых идей.

Созданием первого газогенератора мы обязаны несомненно вюртембергскому инж. Фаберу дю-Фор (Faber du Faur) [2]. Уже раньше, в средние века, делали наблюдения, что при ограничении доступа воздуха под угольный слой из твердого топлива получается газ, который может быть

[1] Термин газер «Gaser» предложен Тренклером для замены терминов «Vergaser» — «Gaserzeuger» (синонимов). Для русского языка этот термин является, как мы видим, еще более удобным, заменяя слишком длинный термин «газогенератор». Ред.

[2] Dr.-Ing. Eduard Herzog, «F. du Faur's Arbeiten und Erfindungen auf dem Gebiete der Winderhitzung und Gasfeuerung», St. u. E.», 1917, стр. 102.

сожжен при помощи подвода вторичного воздуха непосредственно при его выходе из топлива, и Фердинанд Фишер с полным правом назвал поэтому «fulen heintzen» [1] Брунсвика и Ульстадиуса (Brunschwyk u. Ulstadius) предшественником газогенератора [2], так же как и полугазовые топки, весьма напоминающие этот процесс, является по существу одним из видов использования газового топлива. Газодобывание и в соответствии с этим газогенератор, однако, возникли только тогда, когда использование газа было полностью отделено от его добывания, т. е. появились такие устройства, которые позволяли употреблять газ полностью как угодно, смотря по потребностям производства.

Для развития подобных конструкций основной целью было технически возможное и в то же время необходимое применение газа, и подобная цель была поставлена газовой печью Фабера дю-Фора. Уже раньше пробовали отводить дестилляционные газы каменного угля для специального их использования, а именно наряду с освещением также и для нагревания, но эти попытки еще не давали какой-либо возможности их промышленного использования. Когда Фабер дю-Фор в 1837—1839 гг. провел свои успешные опыты в области работы плавильных печей на доменном газе, естественно, возникла потребность сделать процесс независимым от доменного газа и получить газ самостоятельно сходным путем, так чтобы плавильные и рафинировочные печи можно было отделить от доменных печей как в отношении расположения установок, так и в производственном отношении. При том интересе, который проявили к опытам Фабера дю-Фора все металлурги, не удивительно, что почти одновременно с различных сторон поступили предложения газодобывания без использования доменного производства, но изучение соответственной литературы показывает, что все эти изобретатели исходили из опытов Фабера дю-Фора, и что последний, несомненно, может быть признан идейным создателем газогенераторного дела. Установлено вполне точно, что в Вассеральфингене уже с 7/II 1840 г. начала работать газовая томильная печь на генераторном газе совместно с доменным, так как подача газа из домны была неправильной, и только при помощи добавки «специального газа» было возможно получить правильную работу. Фабер дю-Фор уже тогда установил важнейший принцип газодобывания, проведя газификацию каменного угля и торфа очень плохого качества — «топлива, которые в обычных домнах и печах не могут применяться». Однако использование газосожигания этим способом, хотя он уже использовал и водяной пар, как реакционный газ, — он не считал значительным открытием, так как его главное внимание было направлено на конструирование газовых печей для пудлингования и сваривания, почему изобретение газогенератора и приписывалось многократно другим исследователям.

Так, Фишер [3] называет самым старым газогенератор Бишофа, который был испытан впервые, вероятно, в начале 1841 г. в Лаухгаммере. По данным самого Бишофа [4] он уже в 1839 г. развил свои идеи, имевшие в основном задачей дать пламенную печь с полугазовой топкой и достичь

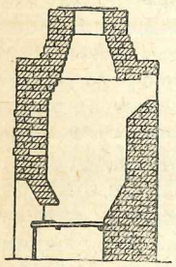
[1] Атанор — Древняя химическая печь. Ред.

[2] Fischer, «Kraft gas», 2 Aufl, стр. 85.

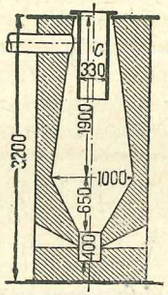
[3] Fischer, Kraftgas, стр. 85.

[4] Bischoff, Indirekte Nutzung der rohen Brennstoffe, 2 Aufl, Quedlinburg, 1856.

экономии в расходовании кокса и угля, так как при этом уже не было необходимости брать облагороженные продукты дестилляции топлив (кокс или древесный уголь), но имелась возможность обратить непосредственно в газ для плавильного процесса сырые необработанные топлива. В первую очередь Бишоф поставил целью использование торфа. Однако данные Бишофа о датах его работ весьма неточны, почему и о первых его опытах трудно что-либо сказать; точно, однако, известно, что Бишоф в 1841 г. был для изучения процесса в Вассеральфингене, и в 1844 г. имели место его дальнейшие опыты, которые и сопровождались определенным успехом. Фиг. 45 дает газогенартор, применявшийся в Мегдешрунге, представляющий собою простой шахтный генератор с плоской решеткой. Плоская решетка слегка наклонена, размеры ее были 1,25 × 1,25 *м* (квадратная). В остальном газогенератор не имел ничего существенного.



Фиг. 45. Газогенератор Бишофа.



Фиг. 46. Газогенератор Эбельмана.

Другим путем шел Эбельмен и Оденкуре, который также исходил из работ Фабера дю-Фора. В 1838 г. Робен (Robin), зная результаты этих работ, взял патент для всей Франции без согласия изобретателя, и Эбельмен по предложению французского горного управления провел в 1839 — 1841 гг. исследования доменных печей и опыты с газовыми пудлинговальными печами. Он пытался при этом улучшить состав доменного газа подводом водяного пара и при неудаче этих опытов также пришел к мысли сделать процесс газодобывания независимым от доменного. При помощи своего сотрудника Пажа (Page), который был предварительно для изучения процесса в Вассеральфингене, произвел он в 1841 г. поспешный опыт [1], причем ему удалось достичь в печи температуры белого каления и расплавить железо. В результате он делает такой вывод:

«Je crois cependant pouvoir en tirer cette conséquence: avec toute espèce de combustible, même avec ceux très chargés des matieres terreuses, on peut arriver a produire par l'emploi similtané de l'air et de la vapeur d'eau, un gaz dont la combustion par de l'air chaud peut donner les températures les plus élevées dont on ait besoin dans la métallurgie du fer». (Я полагаю, что мы можем в настоящее время осуществить такие условия: из всякого вида топлива, даже весьма загрязненного землистыми веществами, можно получить при помощи подвода воздуха и водяного пара газ, сжигание которого в подогретом воздухе может дать температуры, наиболее высокие из тех, в которых нуждается металлургия железа. Р е д.)

В 1842 г. он снова произвел опыт, при котором применил газогенератор с диаметром в 1,00 *м*, показанный на фиг. 46. Этот газогенератор по своей конструкции и разрезам вполне подобен доменной печи. Воздушное дутье подавалось через 2 фурмы со средним давлением в 35 *мм* рт. ст. =

[1] По его сообщению в Annales des Mines, том 4, 1841, опытная печь и газогенератор были установлены в 2 дня(?).

= 460 *мм* вод. ст., шлаки удалялись снизу в жидком виде. В качестве топлива для процесса был взят в первую очередь древесный уголь. Вместе с этим Эбельмен провел ряд систематических опытов на малом газогенераторе диаметром 0,5 *м* с различными топливами и также при одновременном подводе водяного пара. Этот газогенератор имел только одну дутьевую фурму, причем подвод водяного пара производился на 450 *мм* выше; количество водяного пара, нагретого до 200—250°, регулировалось вентилем. Состав газа, полученного из древесного угля, был уже указан ранее (табл. 17): газ является вполне нормальным и даже хорошим. При первых опытах с паровым дутьем температура газа понизилась с 450 до 240° и белый накал фурм снизился до красного каления, которое уже не сплавляло шлаков. Газ, следовательно, был слишком холоден, хотя уменьшение температуры газа было невелико. По этой причине Эбельмен ввел в качестве вспомогательного средства подвод пара в более верхние слои, после чего и были получены результаты, приведенные в таблице.

С другой стороны, были проделаны опыты и с другими топливами, причем в особенности изучалось взаимоотношение смолистых составных частей и водяного пара. Так, для газификации дров был найден средний состав газа в

7,23% CO_2	10,26% H_2
32,40% CO	50,11% N_2

и при опытах с торфом

7,32—10,79% CO_2	5,92—9,36% H_2
23,63—21,04% CO	64,13—58,81% N_2

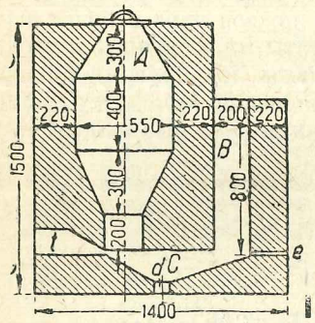
В анализах отсутствует содержание CH_4 и, кроме того, величина содержания CO для дровяного газа кажется чересчур высокой и едва ли возможной. Во всяком случае опыты показали, что газификация вполне возможна; однако разрешение вопроса о смоле и соответственно о низкой температуре выдаваемого газа опытами не было произведено сколько нибудь удовлетворительно. Эбельмен констатировал уже тогда, что при хорошо высушенных дровах теплота образования CO в нижних слоях достаточна для просушки и дестилляции топлива в верхних слоях. Чтобы сэкономить на добавлении водяного пара, он пришел к мысли спроектировать газогенератор с обращенным горением, который и представлен на фиг. 47. Основная шахта *A* не имеет отвода газа, почему газ должен уходить через вспомогательную шахту *B*, наполненную раскаленным углем. Эбельмен получил таким способом из дров газ состава:

13,20% CO_2	17,85% H_2
18,98% CO	49,97% N_2

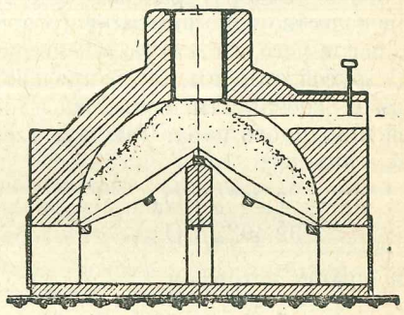
причем главная часть смолы была разложена. Эта конструкция является уже собственно двойным газогенератором, хотя она и не развита так, чтобы обеспечить длительный процесс; опыты с этой конструкцией, кажется, и не производились далее [1].

[1] Эти опыты с обращенным горением могут рассматриваться как исторические предшественники конструкции тепловика проф. Ижевского. Р е д.

Во всяком случае Эбельмену принадлежит заслуга испытания возможности применения газификации в очень широком масштабе; и если его и нельзя называть творцом газогенераторного дела, то все же эти опыты несомненно имели чрезвычайное значение для его обоснования и позднейшего развития. Весьма интересно также, что именно в месте деятельности Эбельмена, в Оденкуре, гораздо позднее — в 1900 г. — имели место опыты Сепюлькра, снова введшего в практику газогенератор с плавлением золы, в то время как сначала эта конструкция не смогла упрочиться и наиболее употребительной конструкцией на практике был простой газер с плоской решеткой Бишофа. Во всяком случае работы Фабера дю-Фора, Бишофа и Эбельмена за немногие годы привели к созданию не только вполне применимой газовой печи, но практически применимого газогенератора, сделавшего возможным независимое от каких-либо других устройств получение нагревательного газа из всех видов топлив.



Фиг. 47. Газогенератор с обращенным горением по Эбельману.



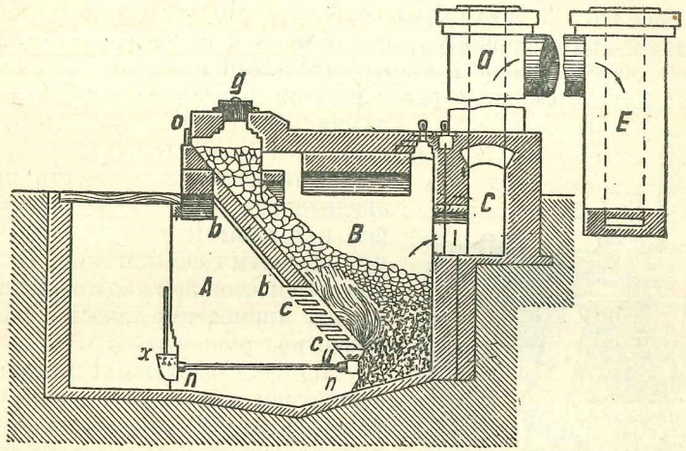
Фиг. 48. Газогенератор Бишофа для бурых углей.

В этом отношении особенный интерес в настоящее время имеет одно предложение Бишофа. Оно относится к газификации мелкозернистых, так называемых светлых бурых углей, и состоит в применении показанных на фиг. 48 двух крутых решеток, наклонных одна к другой и соответствующих углу естественного отвала топлива. При этом высота слоя топлива в соответствии с формой наполнительной шахты является вполне определенной и по возможности небольшой, что необходимо при плотнолежащих горючих. Регулировка огня и шуровка угля производятся через боковые дверцы.

Достижения названных выше трех основоположников газового дела вскоре были широко распространены руководящим техническим персоналом, в особенности в железоделательной промышленности. Так, Карстен (Karsten) уже в 1841 г. упоминает в своей «Металлургии железа» как о предложениях Бишофа, так и об опытах Эбельмена [1].

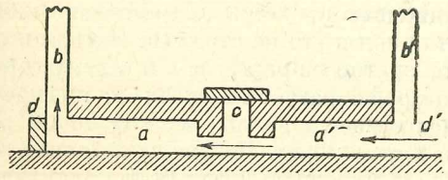
Дальнейшее развитие проблемы газификации было произведено введением регенеративной печи Ф. Сименса (F. Siemens) в 1856 г [2]. Сименс исходил из опытов Бишофа, и его газогенератор со ступенчатой решеткой (фиг. 49) весьма сильно напоминает обычные колосниковые решетки для топок. Первоначальной идеей и было именно не создание газогенератора, а применение подогретого воздуха в топках [предложение Нильсона (Neilson) в 1828 г., английский патент 5701], для получения

[1] Том 3, стр. 279.
[2] Прусский патент от 2 декабря 1856 г.

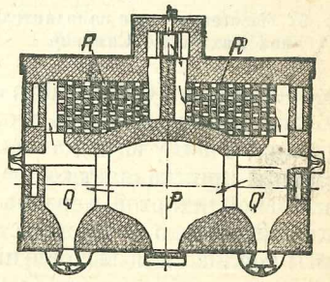


Фиг. 49. Газогенератор по Сименсу.

высокой температуры пламени, для чего он и передал своему брату Вильгельму изображенный на фиг. 50 эскиз. В c расположена угольная топка, которая должна иметь по возможности более высокую температуру, чем до сих пор достигавшиеся. Для этой цели оба боковых канала наполняются футеровкой, которая во время прохождения отходящих газов воспринимает их тепло, чтобы отдать его после обращения тока подводимому для сжигания воздуху. Это и есть принцип регенерации, между тем как Нильсон предусматривал наружный подогрев воздуха, независящий от топки. Сименс вполне сознавал, что подогрев воздуха для горения должен повлечь значительное ошлакование топлива, и что поэтому этот способ в производстве должен встретить значительные трудности; в 1858 г. поэтому он уже спроектировал газовую печь, представленную в основном на фиг. 51. Опыты с ней были проведены Шварцкопфом в Бер-

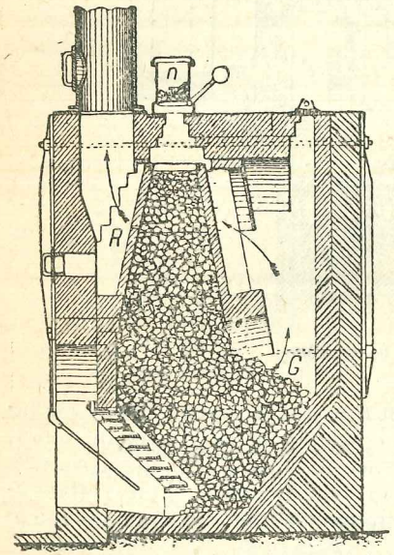


Фиг. 50. Эскиз Ф. Сименса для регенеративной печи.



Фиг. 51. Первая газовая печь Сименса.

лине с торфяным полукоксовальным газом (швельгазом) [1], лучшие результаты дали дальнейшие опыты Вагемана, Зейбель и К° в Лизинге около Вены (Wagemann, Seybel и Co, Liesing), и на основании этих опытов была построена стекольная фабрика в Бирмингаме. Ф. Сименс находился впоследствии во главе основанной им стекольной фабрики в Дрездене, но как он, так и его брат Вильгельм Сименс имели чрезвычайный интерес к газогенераторному делу и топочной технике, почему мы и обязаны этим обоим пионерам многочисленными ценными предложениями. Во всяком случае создание регенеративных печей привело дело газификации к той высоте и значению, которые оно впоследствии получило, так как эти печи дали возможность получения значительно более высоких температур, чем при сжигании топлива в топке или при обычном газосжигании, без необходимости постоянного подогрева газа. Этим самым применение газовых топок стало почти неограниченным.

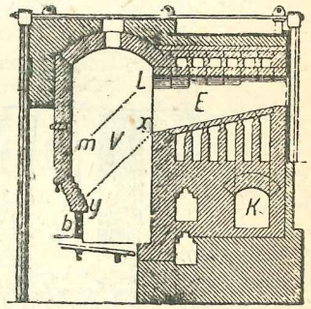


Фиг. 52. Газогенератор с наполнительной шахтой по Сименсу.

Из многочисленных предложений в отношении измененных конструкций некоторые имели существенное значение для развития дела. В английском патенте 1864 г. (в соответствии с фиг. 52) мы в первый раз находим шахту, выполненную в виде реторты, через которую и протекают горячие газы, так что дестилляционные процессы происходят сами собой; этот газ вынужден уходить книзу, причем смоляные и водяные пары разлагаются в горячих зонах. Только значительно позднее была эта основная мысль снова воспринята и привела, с одной стороны, к конструкции Гребе-Лермана (Gröbe-Lürmann, D. R. P. 519, 1877 г. и 13 617, 1880), предложивших разделить дестилляционные процессы от собственно газификации, о чем уже собственно было упомянуто на стр. 116. Первая конструкция представляет собою газогенератор с пристроенной к нему горизонтальной ретортой, перекрытие которой образует в то же время под печи; отходящее тепло печи нагревает находящееся в каналах под подом реторты топливо для выполнения его дестилляции. Позднейшая конструкция Лермана показана на фиг. 53 и конструктивно может быть характеризована, как косая реторта; нагревание реторты производится уже не при помощи отходящего тепла, так как газогенератор по проекту должен быть отделен от печи, но собственным теплом генераторного газа. В принципе эта конструкция представляет собою швель-газогенератор, хотя конструктивно она значительно отличается; впрочем косолежащая реторта вновь встречается во многих позднейших предложениях [например, у Шрамля (Schraml), 1904 [2]].

[1] «Ceschichte d. Industrie und Technik», 1920.
[2] См. Fischer «Kraftgas», том 2, стр. 368.

В другом направлении развивали конструкцию вертикальной реторты преимущественно следующие исследователи. Горман (Gormann, D. R. P. 2155, 1877) предложил решительное видоизменение процесса и ввел в газогенератор верхнее дутье, чтобы ускорить процесс сухой перегонки топлива с помощью одновременной частичной газификации. Далее, нужно упомянуть о специальном устройстве среднего газоотвода (стр. 119 и сл.) и соответственно двойного огня. Казаловский (Kasalowsky, D. R. P. 2697 и 5163, 1877) предложил форму шахты и реторты как для топок паровых котлов, так и для газогенераторов конструкции, сходной с типом Сименса. Меллер (Möller, D. R. P. 6113, 1878) предложил разделение реторты, чтобы достичь лучшей дестилляции, а также устроил угольный бункер с указателем уровня топлива. Эти предложения имеют в настоящее время меньший интерес, но патент очень поучителен на том основании, что в нем уже предлагалась подвижная решетка, введенная еще раньше Дугаллом (Dougall) для котельных топок (1877). Были предложены две системы колосниковых прутьев (для плоской решетки), которые могли изменять их взаимное положение по высоте без открывания газогенератора; решетка частично была образована из охлаждаемых водой трубок. Кожух выполнялся двойным для подогрева воздушного дутья. В патенте D. R. P. 7024, 1879 того же изобретателя подразделение реторты проведено еще далее (4 квадранта), предусмотрен подвод верхнего дутья на половинной высоте реторты, охлаждающий кожух верхней части выполнен как паровой котел. Незе (D. R. P. 8668, 1879) использовал теплоту шахты генератора для подогревания воздушного дутья, причем он присоединил газогенератор непосредственно к печи. Крупп (D. R. P. 13282, 1886) первый предложил кольцеобразные реторты для наивозможного увеличения поверхности нагрева.

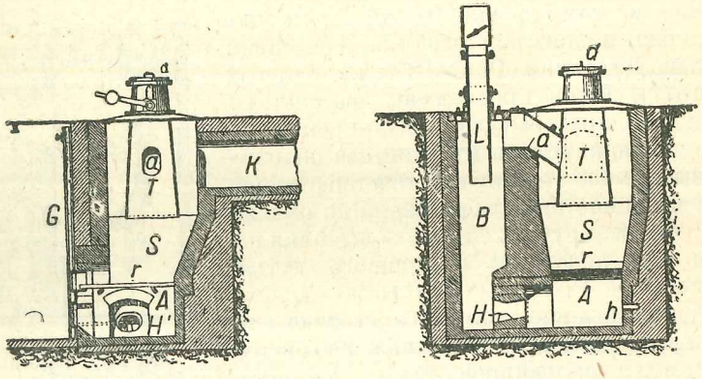


Фиг. 53. Газогенератор Лермана.

Более важной представляется другая основная идея — отсоса дестилляционных газов и их последующего подвода с обеспечением их полного разложения. Первое такое предложение было сделано Незе (D. R. P. 6015, 1878), он построил собственно газогенератор с обратным горением и устроил отсасывающие каналы в верхней части, с устьями их в самой зоне накала. Ниже последней сделан выход для газа. Сходное и лучше проработанное предложение сделал Брукман (D. R. P. 5856, 1878 и 9418, 1879) для генераторных камерных печей, где дестилляционные газы вводятся в воздушное дутье. Действительно, применяемое усовершенствование внес, наконец, Ольшевский (D. R. P. 15147, 1880), предложивший газогенератор со средним отводом газа, а также с двумя раздельными газоотводами, напоминающий конструкцию Гормана. Дестилляционный газ собирается, как показывает фиг. 19, в верхний сборный канал, из которого соединительный газопровод ведет к воздушному каналу. Проносящийся по каналу воздух действует, как инжектор, отсасывающим образом на верхнюю часть газогенератора. Дестилляционные газы из верхней части шахты проходят совместно с воздушным дутьем через нижние горячие

слои топлива и покидают их уже свободными от смолы, но, правда, бедными и газообразными углеводородами, направляясь через средний газоотвод к месту использования. Конструкция приводит поэтому к полному разложению дестилляционных составных частей; но так как для печного отопления разложение последних не является безусловно необходимым и разложение смолы желательно лишь постольку, поскольку нужно предохранить от тяжелых загрязнений газопроводы, вентили и т. п., то хотя эти различные устройства и предлагались многократно, но на практике они применялись довольно редко. Только позднее они получили большее значение, когда перешли к применению газа в моторах.

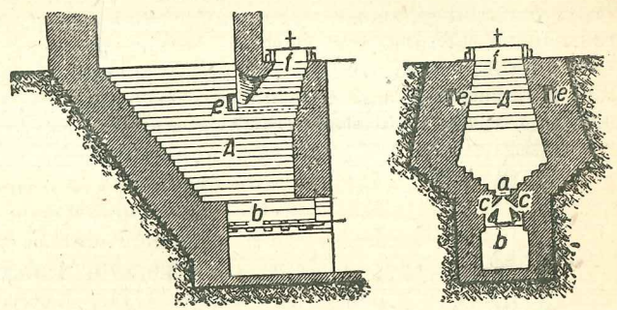
Необходимо упомянуть о проекте В. Сименса (D. R. P. 16223, 1881 и 20726, 1882), предложившего высокий подогрев воздушного дутья;



Фиг. 54. Газогенератор Сименса для химической регенерации.

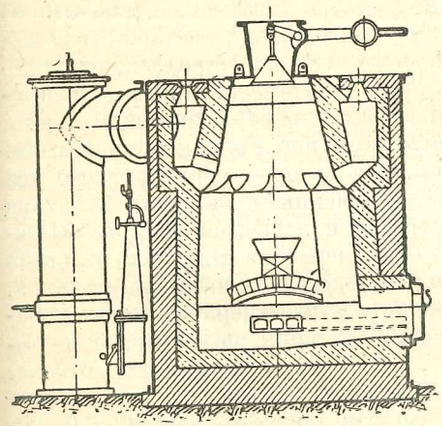
одновременно должно быть вызвано богатое парообразование в наполненном водой зольном корыте, чтобы по возможности сэкономить на подаче водяного пара.

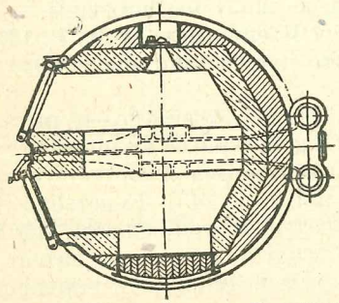
Областью деятельности, в которой позднее преимущественно работал В. Сименс, было так называемое химическое регенерирование с целью достижения экономии топлива. Старейшим патентом в этой области (D. R. P. 69650, 1891) является газогенератор, подобный представленному на фиг. 54, также сходный с конструкцией по фиг. 52, только с тем изменением, что дестилляционные газы отбираются сверху и сжигаются в устроенной рядом с газогенератором шахтообразной камере. Смолистые составные части переводятся таким образом в CO_2 и в то же время в этих продуктах горения содержится много водяного пара (частично также и из влаги топлива); эти сгоревшие газы вводятся в газогенератор снизу совместно с воздухом, причем паровое сопло используется как инжектор. В газогенераторе CO_2 снова восстановляется до CO. Кроме продуктов горения дестилляционных газов могут быть добавлены и другие отходящие газы (от печей). Принцип химической регенерации был уже рассмотрен подробно ранее (см. стр. 76 и сл.), так что здесь достаточно привести краткое описание соответствующего устройства. Патент D. R. P. 72891, 1892 дает расширение предыдущего патента в отношении подвода отходящих газов, следовательно, в отношении собственно химической регенерации отходящих газов, в то время как патент D. R. P. 72899, 1892 дает конструктивное изменение, дающее возможность производить газификацию в соединении с химической регенерацией отходящих газов в газогенераторе без решетки с соответственно наклоненной поверхностью отвала топлива.



Фиг. 55. Газогенератор по Лигелю.

Из этого же периода заслуживают упоминания еще следующие предложения. Лигель (Liegel, D.R.P. 31, 1877) предложил уже безрешеточный газогенератор, с суживающейся ступенчатыми переходами книзу шахтой, образующей в конце узкую щель (устье), к которой и подводится воздух по двум боковым каналам (фиг. 55); ниже отверстия для дутья в устье поставлена вспомогательная решетка. Вследствие суженной шахты конструкция предотвращает поднимание воздуха по стенам, так как он все время встречает непосредственно куски угля. Суживающиеся шахты мы позднее встречаем у Цана (Zahn, D. R. P. 35262, 1885) и даже в новейшее время, когда эта конструкция привлекла внимание, как безрешеточная.

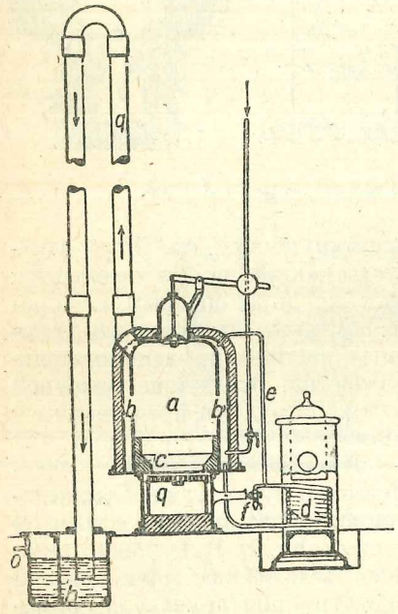




Фиг. 56. Газогенератор Вильсона.

Е. Брук и Вильсон (D. R. P. 5588) предложили также безрешеточный газогенератор, у которого топливо находится непосредственно на дне, охлаждаемом расположенными под ним воздушными каналами. Воздух входит с боков через две дутьевые коробки, причем на обоих других сторонах устроены шлаковые дверцы. Конструкция позднее особенно распространилась с незначительными изменениями в Бельгии и Франции, как газогенератор Вильсона, причем его позднейшие конструкции имеют уже средние дутьевые камеры с несколькими выходными отверстиями. Эта позднейшая конструкция показана на фиг. 56.

Значительное влияние на генераторостроение оказало введение газомоторов Лангена и Отто (Langen u. Otto, 1867). Первая их конструкция была рассчитана на светильный газ, но очень скоро наметилось стремление использовать для них гораздо более дешевый генераторный газ. После того как уже Эбельмен (1843) показал, что путем разложения паров смолы раскаленным углеродом может быть получен очень чистый газ, а газогенераторы с срединным отбором газа и переводом дестилляционных газов (Гормана, Ольшевского и многих других, стр. 119) расширили эти возможности, — многие конструкторы обратились к разрешению этой интересной задачи. Важное развитие предложения Эбельмена дал двойной газогенератор Твайта (D. R. P. 15621, 1880, стр. 117). Газогенератор Сетзерленда (Sutherland, D. R. P. 24238, 1883) дал дальнейшее завершение работы, причем он особенно интересен с двух точек зрения. Оба спаренных газогенератора имеют вверху один соединительный отвод для отбора газа; далее, каждый из них имеет тотчас над решеткой отвод для подлежащего разложению газа, покидающего второй газогенератор; этот газ приносит значительное физическое тепло, которое при последующей очистке теряется. Сетзерленд пропускает этот газ через поставленный сбоку газогенератора регенератор и нагревает его, чтобы затем после переключения использовать тепло для нагревания воздушного дутья. Кроме того, газогенератор имеет нововведение — зольник, помещенный на каретку, снабженную винтом для отвода, так что ее можно менять по наполнении. Сама же решетка неподвижно соединена с газогенератором. Эту идею передвижного зольника (с поставленной под него вспомогательной решеткой) мы находим, далее, значительно позднее в расширенном виде у Блецингера (D. R. P. 167469, 1904 и 173405, 1904), конструкция которого нашла многочисленные применения на практике.



Фиг. 57. Газовая установка по Даусону.

Имея в виду необходимость очистки газа для силовых целей, пытались понизить его физическое тепло, добавляя значительные количества водяного пара к воздушному дутью; уже Эбельмен проделал соответствующие опыты на основе более старых предложений (стр. 143). Констебль (Constable) еще в 1845 г. получил английский патент в этой области, Пфейфер (Pfeiffer, D. R. P. 15210, 1880) также получил подобный же патент, достигнув при помощи пароструйного аппарата возможности варьировать содержание паровоздушной смеси. Решающими в этом развитии были работы Даусона D. R. P. 27165, 1883), впервые давшего применимую практически аппаратуру для добывания силового газа. Его газогенератор (фиг. 57) имеет двойной кожух, в котором подогревается вода, затем

обращаемая в пар в специальном нагреваемом змеевике. Таким образом удается получить пар сравнительно дешево. Для охлаждения газа служит удлиненная труба, имеющая большую поверхность, а кроме того, промывной сосуд, в котором газ пропускается через воду, чтобы очистить его от загрязнений. Наконец, Даусон предложил также газометр для выравнивания давления и аккумуляции газа. Хотя по сравнению с уже известными в то время техническими данными все это едва ли представляло существенно новое, в общем эта установка была все же первой, имевшей определенный успех, в силу которого по автору установки долгое время называли получаемый полуводяной газ вообще даусоновским газом, хотя он был совершенно идентичен с тем, который получал уже Эбельмен [1]. По собственному сообщению Даусона при газификации антрацита (т. е. топлива бедного летучим) получается газ следующего состава:

6,57% CO_2	18,73% H_2
25,07% CO	0,03% O_2
0,31% CH_2	48,98% N_2
0,31% C_nH_m	

Конструкция эта была впоследствии в особенности разработана газомоторной фирмой Дейц и Кертингом; обе эти фирмы явились пионерами применения газомоторов. Сам по себе газогенератор остался все еще простым шахтным газогенератором и нововведения относились лишь, главным образом, к очистительным устройствам и т. п., о чем позднее будет сообщено подробно (стр. 264). Завод газомоторов Дейц принял к разработке в то же время также и газогенератор Тейлора и улучшил его конструкцию.

Существенное нововведение сделал Бенье (Bènier, D. R. P. 73945, 1892), присоединивший к мотору насос, который высасывал газ, так что подача воздуха происходила под дополнительным давлением. Этим и был введен в практику способ получения газа со всасыванием, который оказался особенно пригодным для малых установок, так как при нем газометр отпадает, все устройство получается проще и дешевле и процесс самостоятельно регулируется. В качестве парообразователя у Бенье служит полая решетка своеобразной формы, конструкция которой ясна из фиг. 58. Газоочистка также выполнена своеобразно.

Вообще при газосиловых установках всегда придается особое значение получению пара в самой установке, чтобы сделать ее по возможности независимой [2]. Так же и в некоторых других отношениях к подобным

[1] Задача снижения физического тепла в газе Даусона требует такого состава паровоздушного дутья, при котором на 1 атом углерода, прореагировавший с водяным паром по уравнению

$$C + H_2O = CO + H_2 - 42{,}9 \text{ кал},$$

приходилось бы два атома C, прореагировавших с кислородом по уравнению

$$2C + O_2 = 2CO + 2 \cdot 26{,}1 \text{ кал}.$$

Общее направление реакции, таким образом, будет

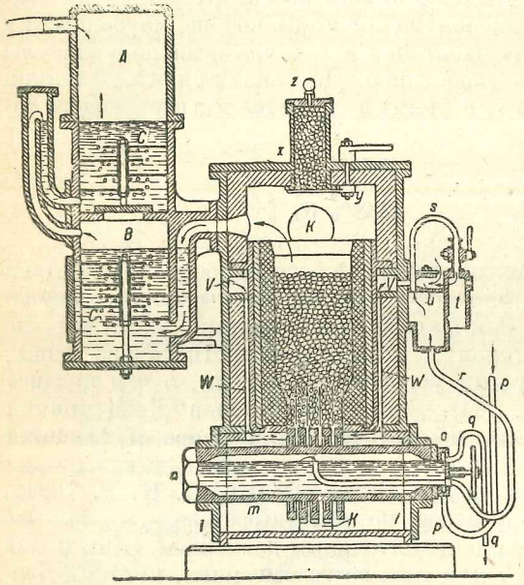
$$3C + H_2O + O_2 + 4N = 3CO + H_2 + 4N_2$$

Ред.

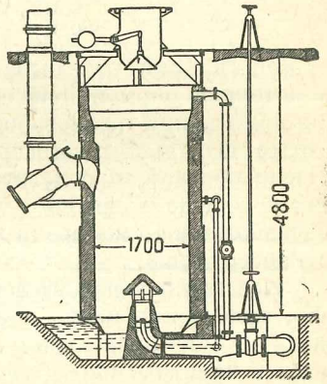
[2] О многочисленных, относящихся к этой области предложениях, перечисление которых здесь было бы невозможно, см. Fischer «Kraftgas».

установкам предъявляются совершенно иные требования, для осуществления которых нужны особые приспособления, описание которых здесь не может быть, однако, приведено.

В то время как в начале применялись преимущественно бедные летучими топлива (кокс и антрацит), позднее все большее и большее внимание обращалось на более дешевые богатые летучими топлива (каменный уголь, бурый уголь, торф и дрова). Для этих топлив подходящей конструкцией газогенератора явился генератор со срединным отводом газа, почему эта система была снова применена и усовершенствовалась далее. Очень удачную форму дает, например, газогенератор, примененный на газосиловой установке в Гредице [1], показанный на фиг. 59. Мы видим



Фиг. 58. Газовая установка Бенье.



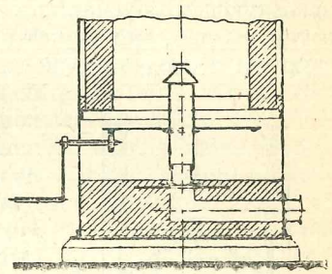
Фиг. 59. Газогенератор на заводе Гредиц.

из него, что здесь использованы усовершенствования, сделанные в других областях, без внесения чего-либо специально нового. Двойные газогенераторы также нашли себе вновь применение, в особенности для переработки дров и т. п. (конструкция Рише); с другой стороны, мы встречаем также и прямоточные газогенераторы, как, например, Герлицского машиностроительного завода — для торфа, конструкции Дешампа и Фоже для дров (Deschamps u. Fougé).

Другим важным моментом в историческом разрезе явилась задача удаления золы, которая находится вообще в связи с задачей механического регулирования процесса. Опуская первые попытки удаления золы в виде расплавленного шлака, надлежит считать основными применявшимися ранее типами решеток плоские и слабо наклонные. Только Сименс ввел сильнее наклоненную ступенчатую решетку. При этом часто устраивали под решеткой водяную ванну для тушения золы. Примерно в начале 80-х годов появился в качестве новой формы подвода

[1] Krumbiegel, «Braunkohle», Jg. 8, стр. 563.

дутья центральный дутьевой колпак, пришедший в Германию из Англии; это привело вскоре к старейшим газогенераторам с вращающимся дутьевым колпаком и зольной тарелкой (в патентах Брука D. R. P. 29316, 1884 и Тейлора 50137, 1889), которые и послужили исходными пунктами для новых конструкций. Из многочисленных прочих предложений для удаления золы следует упомянуть: шнеки для золоудаления рекомендует уже Зикель (Sickel, D. R. P. 937, 1877) и Геринг (Hering, D. R. P. 9364, 1879), причем последний предлагает шнек и для подачи топлива. Подвижные зольные тележки Сетзерленда (стр. 150) были уже упомянуты. Еще раньше Гребе (D. R. P. 7003, 1878) предложил сделать лестничную решетку передвижной, чтобы регулировать высоту слоя по требованию и чтобы иметь возможность при каких-либо препятствиях удалить решетку вместе с огнем.



Фиг. 60. Газогенератор Тейлора (патент).

Вращающийся дутьевой колпак Брука, приведенный уже на фиг. 37, на практике не получил значительного распространения, по крайней мере, в современной журнальной литературе данных об этом не имеется. Это можно было бы объяснить тем, что неподвижное соединение с образующей дно пластинкой и сходящая на острие форма в связи с сужающейся шахтой не могут обеспечить этой форме дутьевого колпака значительного действия. Под действием давления, направленного наружу, и, конечно, усиливающегося вследствие ступенчатой формы шнека, зола при вращении легко может быть направлена кверху и удаляющее действие должно быть весьма невелико. Сравнительно сложная и дорогая по тому времени конструкция не давала никакого крупного преимущества.

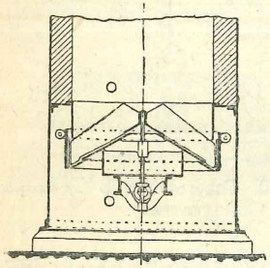
Вращающаяся зольная тарелка Тейлора, изображенная на фиг. 60 согласно патентному описанию, оказалась, напротив, значительно более простой конструкции. Путем применения неподвижно прикрепленной к кожуху зольной камеры получилась возможность в зависимости от ее установки и от скорости плиты легко воздействовать на зольный слой и действительно регулировать работу генератора. Этим объясняется быстрое распространение этой конструкции в практике и ее дальнейшее развитие. Дутьевой колпак у Тейлора неподвижен.

Другие авторы пытались сконструировать вращающийся поддон, работающий одновременно как решетка и как подводящий и распределяющий дутьевой воздух элемент. Так, в патенте Гопкрафта (Hopcraft, 52296, 1889) имеется косо поставленная вращающая плита с дутьевыми отверстиями; конструкция эта предназначалась больше для топок, чем для газогенераторов. Кетхум (Ketchum, D. R. P. 71778, 1893) применил для газогенераторов две вращающиеся плиты — одна над другой, из которых верхняя снабжена дутьевым каналом, нижняя же является массивной; между плитами помещается выбрасывающая золу неподвижная крестовина с четырьмя лапами. Падающая через дутьевую полость верхней плиты зола скапливается на нижней плите, при вращении собирается лапами, отбрасывается к краю и сбрасывается с нижней плиты.

Своеобразную конструкцию дал Китсон (Kitson, D. R. P. 81763,

1893) с кольцеобразной гребневидной решеткой в нижней части шахты, имеющей внутри вращающуюся и поднимающуюся плиту, футерованную шамотом с небольшим наклоном. В середине этой плиты имеется небольшая центральная плоская решетка, также одетая шамотом или асбестом. Конструкция эта дает следующие возможности.

При опущенном положении плиты, дутье идет преимущественно через периферийную решетку с вертикальными дутьевыми канальцами. Если плиту опустить, то скопившиеся на ее краю шлаки под давлением столба топлива падают вниз. Если образуются пришлакования, то посредством поднимания и одновременного вращения, при котором работает возвышенная сторона плиты, — они могут быть сняты со стены и при последующем опускании удалены. Наконец, плита может быть поднята и так высоко, что периферийные дутьевые канальцы будут совершенно закрыты и средняя решетка вступит в работу, несмотря на значительно большее сопротивление. Как мы видим, эта конструкция позволяет значительное приспособление; на практике только весьма трудно, если не невозможно, вести точное наблюдение за огнем и выполнять необходимые передвижения решетки. Но вследствие своей вертикальной работы конструкция представляет значительный интерес, так как и при вращающихся решетках стремились после первых успехов к подобному же улучшению, правда, как и в этом случае без особенного успеха [1].



Фиг. 61. Газогенератор Мюллера.

Следующей конструкцией, могущей считаться предшественницей газогенератора с вращающейся решеткой, является газогенератор Мюллера (Рурорт, D. R. P. 87444, 1895), представленный на фиг. 61. Запор шахты образован кеглеобразной плитой, имеющей на краю достаточное количество дутьевых канальцев. Самая нижняя часть шахтной стенки сделана подъемной, чтобы иметь возможность удалять золу, которая при поднимании, вследствие наклона дна, сбрасывается собственной тяжестью. Острие плиты сделано вращающимся и имеет четыре выступа, идущие от кеглеобразной плиты до шахтной стенки. Они образуют зольную камеру. В то же время в месте соприкосновения неподвижной решетки и вращающегося колпака устроено дополнительное кольцеобразное дутьевое устройство.

Другая конструкция вращающейся решетки предложена де-Лавалем (de Laval, D. R. P. 81545, 1894 и 88505, 1896). Вместо одной плиты мы встречаем здесь несколько лежащих одна над другой, все уменьшающегося диаметра, снабженных горизонтальными дутьевыми канальцами. По сравнению с простой продырявленной плитой, которая может быстро засоряться, здесь мы видим значительные шаги вперед. Эта конструкция явилась отправной точкой для изобретения вращающейся решетки Керпели (1900), расположившего эксцентрически в генераторе состоящую из одной плиты решетку в подобном же, только конструктивно улучшенном, выполнении и сделавшему нижнее размалывающее кольцо большей высоты. Эта первая решетка была расположена на поддерживающих лапах, как у де-Лаваля. Газогенератор имеет, подобно Моргановскому, нижний водяной запор и верхняя раздробленная сверху зола падает между размалывающим кольцом и стенкой шахты в водяную ванну; оттуда она удаляется ручным способом, но уже гораздо легче. Однако, так как при этой конструкции отсутствовало правильное и равномерное распределение воздушного дутья, и, кроме того, она оказалась несколько неустойчивой в работе, и поэтому сильно снашивалась, — она не вполне удовлетворила требованиям производства. Только комбинация этой решетки с одновременно вращающимся неподвижно соединенным зольным корытом принесла разрешение вопроса (1902), причем было достигнуто и автоматическое удаление золы (стр. 133 и сл.). Из этой первой конструкции австрийского патента 16700, 1903 развился далее D. R. P. 168874, 1904 и впоследствии большое число позднейших конструкций, которые частично будут еще описаны и показаны в следующем разделе.

[1] Китсон изменил конструкцию в патенте D. R. P. 108183, 1897, сделав выпуск золы через решеточную плиту с косыми канавками. Эта конструкция напоминает о значительно более старой конструкции Гопкрафта и показывает нам, как и очень хорошо продуманная конструкция не удерживается на практике.

Основным условием окончательного решения явился водяной запор. Как и дутьевой колпак, этот запор дан производственной практикой, и также появился впервые в Англии. Так, уже газогенератор Вильсона (английский патент 4697, 1882) имеет водяной запор в виде боковой водяной камеры, в соединении с дутьевым колпаком; в то же время позднейшие конструкции того же изобретателя уже имеют известную решеточную коробку с водяной ванной. Для решеточной коробки также были сделаны предложения — сделать ее подвижной, чтобы сбивать этим шлаки [Шнеефус (Schneefuss), D. R. P. 165061, 1904, трясущаяся решеточная коробка Смита, D. R. P. 291500]. Около 1895 г. конструкции с нижним водяным запором в соединении с центральным дутьевым колпаком были уже широко известны, многочисленные английские и американские патенты уже имеют эти детали. Наиболее известной конструкцией является газогенератор Моргана (стр. 169), который относится примерно к 1896 г. Также и более старый газогенератор Дуффа (стр. 170) имеет водяную ванну в двухстороннем расположении с седловидной решеткой, движущейся через нее.

Последним важным моментом в развитии газогенератора является охлаждение шахтной стенки для предупреждения присадки шлаков. Подобно тому, как в то же время пробовали осуществить охлаждение решетки или ее основания (Меллер, D. R. P. 6113, 1878, стр. 147), и устраивали верхнюю часть шахты в виде двойного кожуха для охлаждения и одновременно для получения пара (Меллер, D. R. P. 7024, 1879, стр. 147), конструкторы были вынуждены перейти к охлаждению шахты, и в тех местах, — тотчас над решеткой, — где наиболее легко при высоких температурах процесса вследствие сплавления золы образуются присадки шлаков. Первое предложение этого рода сделано Кнаудтом (Knaudt, D. R. P. 18719, 1881), но у него охлаждающая камера помещена в кладке стены весьма скрыто и хорошо защищена, между тем, как целью устройства является охлаждение обмуровки. Обычно делались открытые охлаждающие камеры и они имеются во многих предложениях. Только гораздо позднее пришли к мысли заменить вообще в этих местах шахты обмуровку

железными охлаждаемыми стенками, как это сделал Доусон (стр. 150). Подобный охлаждаемый кожух, иногда защищенный изнутри обмуровкой, частично охлаждаемый водой и частично — воздухом, встречается очень часто в газосиловых установках, так как для них весьма важно самостоятельное снабжение паром; предохранение от шлаковых присадок в данном случае вследствие обычно прерывистого производства отходит на задний план. Для целей предохранения от зашлакования ватержакеты применялись в широком масштабе Керпели, и притом с полным успехом для очень многих углей. Так как все же охлаждаемые стенки имели в начале многие конструктивные недостатки и легко портились, в особенности при горячих процессах, то впоследствии стремились снова ограничить их применение. Про охлаждаемые стенки говорили при этом, что шлаки от охлаждения затвердевают и садятся именно как раз на стенку; это, несомненно, невозможно — отводимое охлаждением тепло весьма незначительно (не более 2%, в то время как потери излучением естественно понижаются). Так как охлаждаемые стенки дороги, то их избегали, где в них не было необходимости. Однако при газификации очень многих многозольных топлив охлаждение стенок обеспечивает не только получение лучшего газа вследствие предотвращения зашлакований, но и получение гораздо лучше выгоревшей золы (с меньшей потерей в ней топлива). Случаи, когда охлаждение стенок должно быть исключено, несомненно, вовсе не так часты. Другие конструкции, например [Штапф (Stapf), D. R. P. 175131, 1905], применяют чугунные охлаждающие кольца с трубчатыми змеевиками в них, через которые пропускается охлаждающее средство; подобная конструкция применена также Турком (Turk, фиг. 64 по D. R. P. 131529).

Применялись также и простые железные, снаружи охлаждаемые водой стенки (см. конструкцию железопрокатного завода Шульц-Кнаудт)[1].

Историческое развитие конструкций в других отношениях (загрузка и прочие детали) заняла бы слишком много места. Важные предложения обычно сохранились в практике и их читатель найдет в отделе: Описание отдельных конструкций. Развитие загрузочных устройств было уже кратко изложено (стр. 120 и сл.). Во всяком случае верхнее и нижнее замыкания шахты, т. е. как подача топлива и отвод газа, так и удаление шлаков и подвод воздуха — заслуживают нашего внимания в первую очередь, так как выполнением этих частей процесс характеризуется не только в химическом, но и в механическом отношении [2].

[1] Simmersbach, «St. u. E.», 1912, стр. 1478.

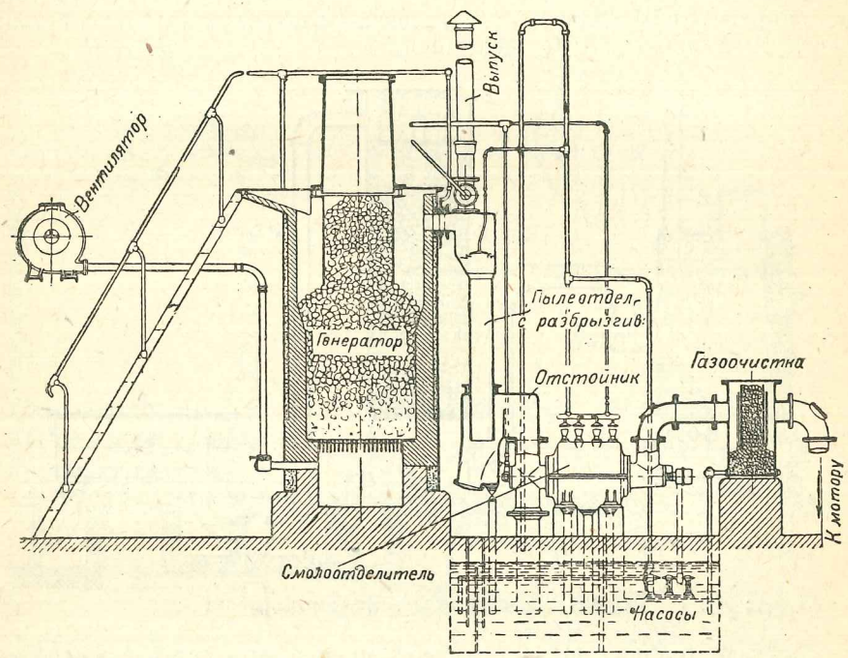
[2] В отношении многих конструкций мы отсылаем читателя к труду Fischer-Gwosdz, Kraftgas, а также к следующим двум работам: Körting, «St. u. E.», 1907, № 20 и J. Hofmann, «St. u. E.», 1910, стр. 493.

Советский газогенераторный актив в настоящее время начинает быстро расти: до 1931 г. в основном наша металлопромышленность работала на старых газерах Сименса, Моргана и Дуффа (5 — 10 *m* в сутки), и более новых Хильгера и Керпели (18 — 20 *m* в сутки); все с ручным обслуживанием (лишь у последних — механическое золоудаление); в 1930/1931 г. ввезено около 50 новых газеров (из них несколько для водяного газа). Более требовательная к качеству газа силикатная промышленность применяет также более сложные установки — Вельмана, Гертей (Heurtey), Пинч и др. Советское газогенераторостроение до последнего времени почти не было развито; изготовлял газеры почти исключительно Краматорский завод (системы Керпели с секционным ватержакетом). В настоящее время (1932 г.) начал работать специальный орган по газогенераторостроению — контора «Газогенераторстрой». Данные об условиях эксплоатации промышленных газеров в нашей промышленности — см. в ст. инж. А. М. Брискиной в Бюллетене ВТИ № 6, 1932; небрежное ведение процесса доходит до того, что содержание горючего в шлаке достигало иногда 47% (см. табл. 28б). Ред.

2. Описание употребительных конструкций

а) Газогенератор с плоской решеткой

Эта конструкция развилась из газогенератора Бишофа и представляет собою простейшую конструкцию шахтного газогенератора. Выложенная из кирпича шахта имеет выше выхода для золы плоскую решетку из прямых колосников, которая и держит топливный слой и в то же время служит для подвода воздушного дутья. Остатки собираются по мере хода газификации на решетке и должны время от времени удаляться, для каковой цели над плоской решеткой делаются боковые дверцы. Дутьевое



Фиг. 62. Высасывающая установка моторной фабрики Дейц.

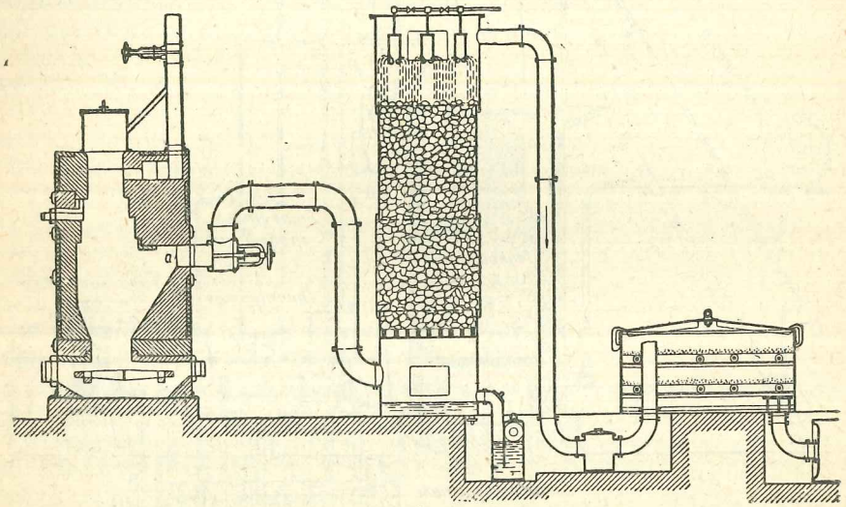
пространство под решеткой также имеет очистную дверцу, так как часть остатков проваливается через просветы решетки.

Эти газогенераторы в настоящее время применяются лишь в установках малой производительности и в особенности при таких топливах, которые дают очень хорошую в эксплоатационном отношении золу, следовательно не имеют склонности к зашлакованиям. В особенности часто их еще применяют для получения силового газа; на фиг. 62 изображена установка О-ва Газомоторов Дейц, предназначенная для газифика-

ции дров, торфа и бурого угля. Как показывает фигура, здесь сохранена плоская решетка, хотя здесь мы имеем дело с относительно новой конструкцией, и газогенератор снабжен, например, наполнительной шахтой, чтобы предотвратить образование пыли [1].

Подобную же конструкцию газогенератора дает фиг. 63, представляющая газогенератор с всасыванием газа фирмы Кертинг, работающий на брикетах, со срединным отбором газа; в этой конструкции особенно должна быть отмечена доступность решетки.

Газогенераторы с плоской решеткой еще и в настоящее время часто применяются в тех странах, где в качестве топлива служат дрова и торф, как, например, в Швеции. В этом отношении следует указать на детальные работы Р. Аккермана [2] (R. Ackermann).



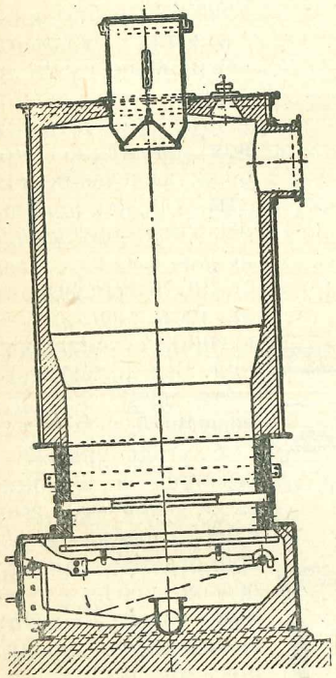
Фиг. 63. Высасывающая установка Кертинга.

Для всех топлив с высоким содержанием золы и притом не особенно хорошей для работы, конечно, нецелесообразно применение конструкций с плоской решеткой. Если поэтому приходится работать все же на плоской решетке, то ищут средства, чтобы максимально облегчить золоудаление. Для этого может служить так называемая вспомогательная плоская решетка, точно так же составленная из прямых колосников, вдвигаемых примерно на $^1/_2$ *м* выше основной решетки через отверстия в кладке. Эта вспомогательная решетка поддерживает во время удаления золы весь столб топлива, так что получается полная возможность снятия золы и выбирания больших ее масс. Подобные газогенераторы с простой плоской решеткой встречаются еще очень часто при потребности в аппаратах

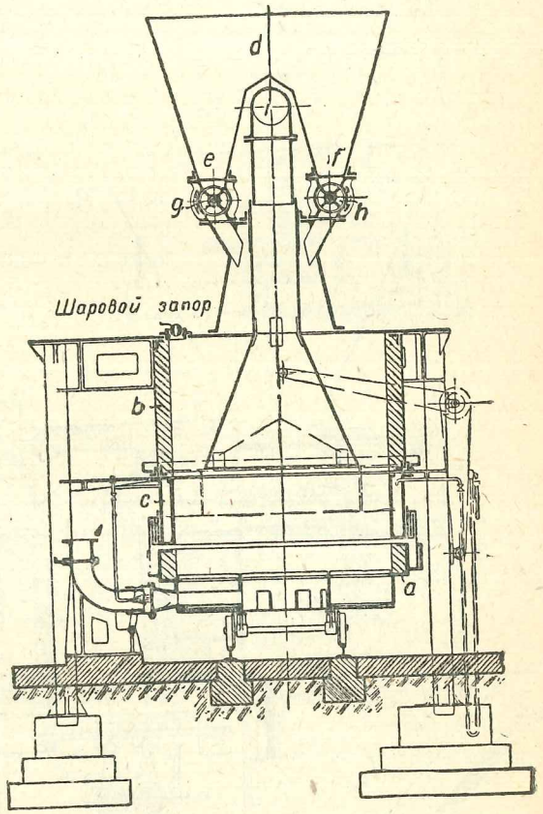
[1] См. ниже, стр. 279. Ред.

[2] В «Jernkontorets Ann» за годы 1878 — 1891 (из новых конструкций надлежит отметить плоскую решетку Keula Werke, Muskau, состоящую из ряда колосников, пронизанных дутьевыми щелями подобно решеткам топок; производительность ее при сортированном топливе — до 150 *кг/м² час.* См. H. Hermanns, Gasgeneratoren u. Gasfeuerungen, 2-е изд., 1924. Ред.).

с малой нагрузкой на различных газовых заводах в соединении с ретортными печами. Использование вспомогательной решетки привело, конечно, к дальнейшему развитию конструкции плоской решетки; вследствие возможности иметь положение, когда столб топлива не давит на решетку, можно было ввести некоторую механизацию. Как пример подобных попыток следует привести складную решетку Турка, представленную на фиг. 64. После введения вспомогательной решетки основная решетка со-



Фиг. 64. Газогенератор Турка.

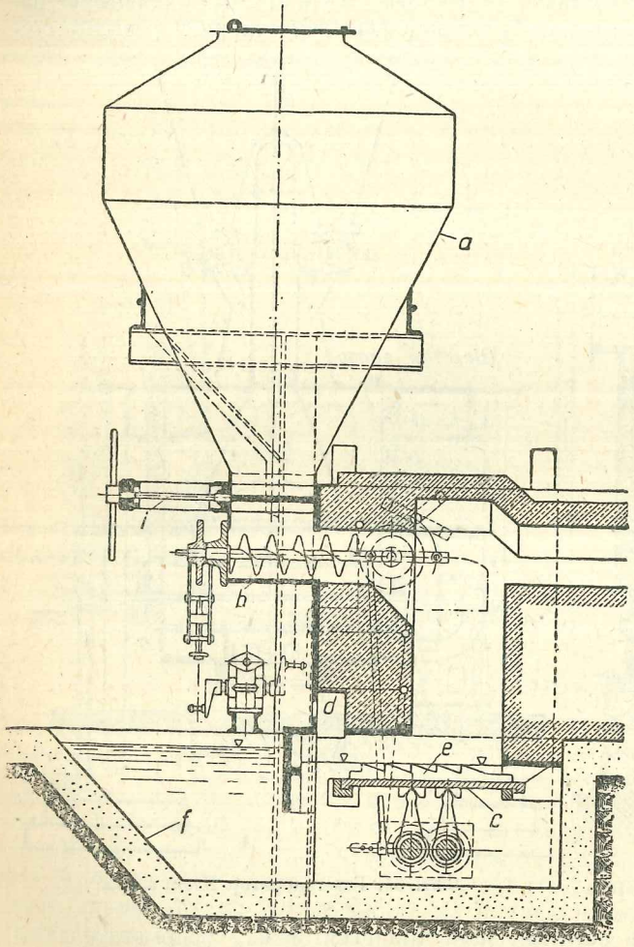


Фиг. 65. Газогенератор Блецингера.

бирается, так что все остатки, накопившиеся между вспомогательной решеткой и основной — падают в зольник. После того как основная решетка снова возвращается в свое положение, вспомогательная решетка удаляется и топливный столб снижается при помощи шуровки на основную решетку.

Подобная же схема положена в основу выкатывающейся решетки, примером которой может служить представленная на фиг. 65 конструкция Блецингера. Здесь также после введения вспомогательной решетки и подъема нижней части кожуха решеточная тележка с накопившимися ниже вспомогательной решетки остатками выкатывается и на ее место вкатывается другая решеточная тележка, покрытая тонким слоем зерни-

стой золы. После этого вспомогательная решетка снова удаляется. В этой конструкции работа золоудаления совершенно упрощается и в особенности значительно сберегается время, потребное на эту операцию. Однако эти конструкции, несмотря на все это, не привились. С одной стороны, очевидно, что в остатках совместно с золой удаляется и значительное количество негазифицированного топлива, теряющегося, если последующая переработка остатков не производится. Далее, обрушение загрузки после удаления вспомогательной решетки является весьма неприятным обстоятельством, особенно при больших сечениях шахты, так как топливный столб опускается не равномерно, а местами, в зависимости от размеров образовавшихся зашлакований. Вследствие этого очень часто едва перешедший в зону накала уголь уже сбрасывается в зольный слой, причем весь слой горения перетряхивается, так что обычно после удаления золы проходит значительное время, пока процесс газификации снова принимает правильное течение. Поэтому, хотя самая работа золоудаления весьма ускоряется, но зато нарушение хода процесса при этом таково, что его налаживание отнимает столько же времени, как это было и раньше. Вообще и без дальнейших рассуждений ясно, что процесс газификации меняется в зависимости от величины зольного слоя, вследствие чего подобное периодическое удаление золы не может быть рекомендовано.

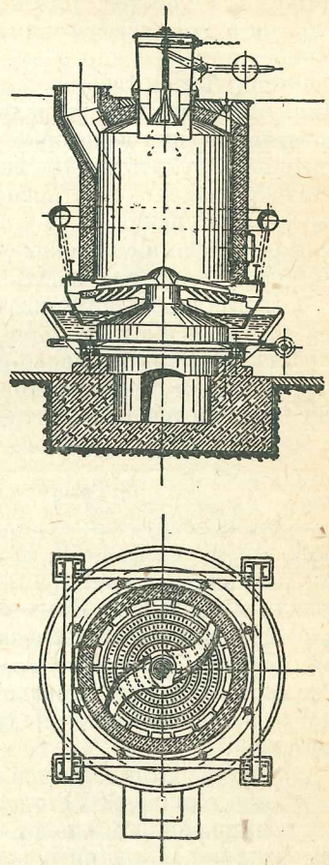


Фиг. 65а. Газогенератор системы Анжу.

Поэтому пытались так изменить конструкцию плоских решеток, чтобы удаление золы происходило непрерывно, как в топках паровых котлов, применяя сходные с топочными конструкции цепных решеток [1]. Однако эта конструкция, неоднократно предлагавшаяся, едва ли может быть введена на практике, так как условия ее работы здесь будут значительно отличаться от работы в топке. Сопротивление вышележащего столба топлива в газогенераторе, очевидно, должно значительно затруднить и сделать неравномерным удаление золы и с помощью цепной решетки. Так как к тому же цепная решетка является очень дорогой и быстро снашивающейся конструкцией, то применение ее в газогенераторах не представляется целесообразным.

В последнее время плоские решетки были предложены неоднократно для таких низкосортных топлив, которые вследствие их высокой влажности и мелкозернистости могут газифицироваться только с низкой реакционной зоной; для подобных газогенераторов с плоской решеткой спроектированы различные золоудаляющие устройства, или сбрасывающие золу за край решетки с помощью подвижного скребка (плужка), или же сдвигающие золу с решетки путем перемещения (линейного) зольной коробки, как, например, в патенте Ф. Гофмана (288127). Подобные же системы имеются у машиностроительной фабрики Аугсбург-Нюрнберг (MAN), у Акц. о-ва газификации топлива (A. — G. für Brennstoffvergasung) и других фирм, причем эти конструкции обычно встречаются у прямоугольных шахтных газогенераторов [2].

Однако и у газогенераторов круглой формы делают теперь плоские решетки, именно в соединении с конструкцией вращающегося зольного корыта, как это


Фиг. 66. Газогенератор с вращающейся решеткой по Гецу.

[1] В газерах системы Анжу (шведской фирмы Lindholmen Motala), довольно распространенных в настоящее время в Швеции, удаление золы производится непрерывно при помощи горизонтальной решетки *c* с зубцами *e* (фиг. 65а), приводимой в колебательное движение специальным приводом. Решетка опущена в бетонную ванну *f* с водой; воздух подается через *d*; топливоподача непрерывная шнеком *b*, захватывающим уголь из бункера *a* (*i* — шибер). Движения решетки и шнека согласованы (на одном приводе) таким образом, что количество удаляемой золы отвечает количеству подаваемого топлива (производительность газера может меняться от 0,72 до 12 *m* в сутки). Газ — около 1 130 *кал*/*м*³. Коэфициент полезного действия генератора около 90,5% (коэфициент газификации — 64,5% и физическое тепло газа и пара — 26,0%). См. Д. В. Заикин, «Торфяное дело» № 6, 1931.

О цепной решетке системы Пинч для газификации мелкого угля см. у Германса, Gasgeneratoren u. Gasfeuerungen, 2-е изд., стр. 56, фиг. 63. Ред.

[2] См. об этом патентную литературу и работу Gwosdz, «Feuerungstechnik», Jg. 10, стр. 269.

имеется, например, в конструкции Гетца (Металлозавод Кейла). В этом случае спиралевидный зольник вращается над круглой, только совсем немного наклонной плоской решеткой и сбрасывает золу с края решетки в движущееся корыто. Из последнего остатки удаляются совершенно таким же способом, как и в газогенераторах с вращающейся решеткой. Такой газогенератор представлен на фиг. 66. Детальные испытания этого газогенератора были описаны Ротом [1] (Roth) и дают основание ожидать, что для некоторых определенных топлив могут быть достигнуты хорошие результаты. Несмоненно, что при всех топливах, которые допускают низкую зону горения, плоская форма решетки должна представлять преимущество, но с другой стороны, удаление золы даже механическими способами с плоской решетки никогда не может быть равномерным, так как отклонение остатков от их вертикального движения в шахте в горизонтальное движение по решетке всегда должно вызывать нарушение и торможение хода процесса. Вследствие этого также и новейшие типы плоских решеток не являются каким-либо окончательным решением задачи создания газогенератора для низкосортных топлив; на этом основании попытки нового оживления в области плоской конструкции решеток не должны иметь прочного успеха.

б) Газогенератор со ступенчатой решеткой

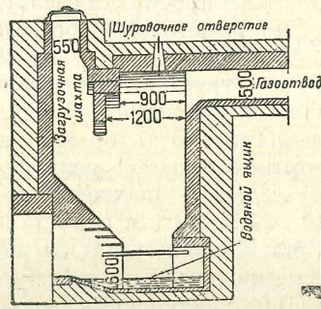
Эта конструкция возвращает нас к газогенератору Сименса, представленному на фиг. 49, причем, конечно, нужно принять во внимание, что наклонные решетки были предложены уже гораздо раньше, между прочим и Бишофом. Наклонные решетки могут быть в сущности образованы или из наклонных решеточных плит, или же из лежащих одна над другой подобно ступенькам лестницы горизонтальных колосниковых пластин. Последняя конструкция является предпочтительной. Наклонные решеточные плиты мы снова находим в конструкциях с корзиночной решеткой.

Газогенератор Сименса имеет прямоугольную газогенераторную камеру, которая с одной стороны скошена и имеет снизу решетку, над которой топливо сползает толстым слоем, по мере уменьшения его объема при газификации. Нижний конец или замыкается плоской решеткой или же снабжается открытым зольником, откуда зола удаляется время от времени, примерно один раз в 12 час. Перекрывающий свод имеет на переднем конце загрузочную воронку, на заднем конце — газоотвод. Между ними помещается поперечный сводик, регулирующий высоту угольного слоя и предохраняющий от выхода газа при загрузке. Этот газогенератор вполне подобен так называемым полугазовым топкам, у которых вместо газоотвода устраивается пламенный порог с подводом вторичного дутья. Если представить себе такую полугазовую топку пространственно отделенной от печи, то мы и получим газогенератор Сименса в его первоначальной форме.

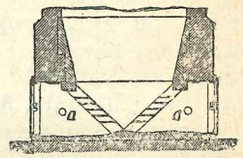
Принимая в расчет значительное сопротивление топливного слоя для прохождения воздуха и часто имеющие место затруднения вследствие зашлакований, уже в начале применения этого газера начали примешивать водяной пар, подводя воздух через пароструйные дутьевые устройства Кертинга; при этом пространство под решеткой должно быть отъединено от наружного воздуха, что достигается при помощи простого железного кожуха, который обычно устраивается съемным или наподобие системы дверей, чтобы при удалении шлаков можно было работать с решеткой. Эти замыкающие двери частично снабжаются жалюзи, подобными клапанам, чтобы иметь возможность регулировать подвод воздуха.

[1] Braunkohle VI, Jg. 21, стр. 754.

Новая конструкция газогенератора Сименса с комбинированной ступенчатой и плоской решеткой показана на фиг. 67. Подобные газогенераторы часто применяются и в настоящее время для газификации бурых углей.

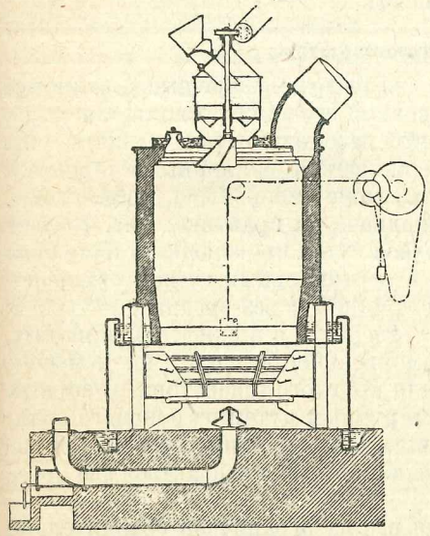


Фиг. 67. Новый газогенератор Сименса.



Фиг. 68. Газогенератор по Одельстьерна.

Как уже ранее сообщалось, газогенератор Сименса в своем развитии все более приближался к шахтной форме, в связи с чем одностороннее расположение ступенчатой решетки оказалось уже недостаточным. Уже комбинация с плоской решеткой дает значительное увеличение поверхности решетки. Часто также выполняли верхнюю часть в виде круглой шахты, а ступенчатую решетку или двухсторонней или же полигональной вокруг всей шахты. При конструкции с двумя противолежащими ступенчатыми решетками, как, например, на фиг. 68 у Одельстьерна (Odelstjerna), по сторонам зольника сохраняют дверцы. Представленный на фиг. 69 газогенератор с полигональной решеткой имеет нижнюю часть обычно с подъемной стенкой, чтобы иметь возможность всестороннего подхода к решетке. Эта конструкция была вплоть до последнего времени сравнительно широко распространена, конечно, с различными отклонениями, в особенности в отношении подвода дутья. На чертеже представлен газогенератор с полигональной решеткой и центральным дутьевым колпаком, что соответствует уже более поздней конструкции. В начале воздух подводили обычно через несущие стойки решетки, или же делали просто каналы в фундаменте для подвода воздуха, которые перекрывались только для защиты от выпадения золы.



Фиг. 69. Газогенератор со ступенчатой решеткой.

Если представить себе на месте полигональной решетки наклоненную сходным же образом решетку с вертикальными колосниковыми прутьями, то мы и получим корзиночную решетку, которая уже многократно применялась, в особенности же известна после первых газогенераторов Монда. В этой конструкции также пробовали сделать решетку подвижной, чтобы облегчить снятие золы с решеточных просветов, как уже это ранее указывалось (стр. 155).

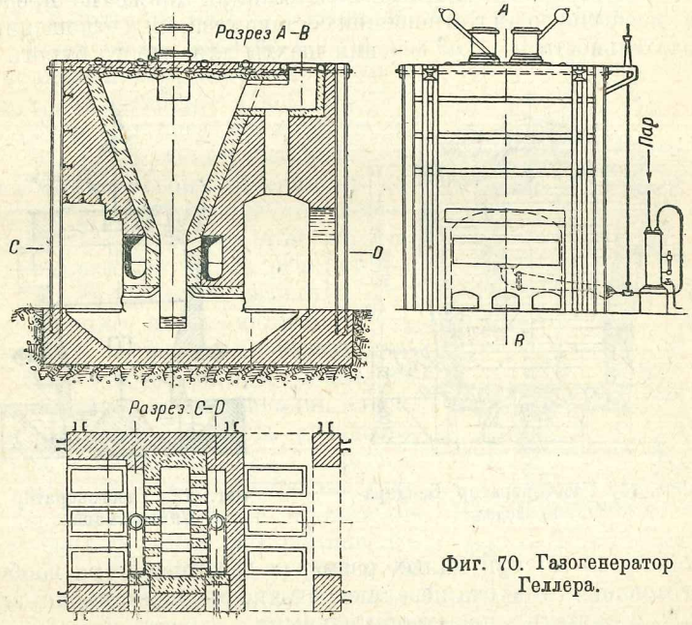
Шахтообразная конструкция дает возможность работать со значительно более высокими давлениями воздуха и большими съемами газа с 1 $м^2$ поверхности шахты. В то время как в газогенераторе Сименса даже при высокосортном топливе нельзя считать производительность выше 30—40 *кг* на 1 $м^2$/*час*, в шахтных газогенераторах при тех же топливах получают 50—65 *кг* на 1 $м^2$/*час*. В этой конструкции газификация при работе со шлаком или удалении золы приостанавливается или сильно уменьшается; производство поэтому получается неравномерным и легко нарушается. Часто получаются зашлакования решетки, если огонь спускается слишком низко и раскаленный уголь приходит в соприкосновение с колосниками или дутьевым колпаком. Всегда должно оставаться некоторое количество золы; так как одновременно удалять золу равномерно со всех сторон невозможно, то несгоревший уголь часто попадает среди золы и теряется; огневой слой, необходимый для образования хорошего газа, сильно сдвигается при удалении шлаков, так что после него необходимо сильное промешивание сверху, чтобы придать топливному слою снова возможную равномерность.

Безрешеточные газогенераторы

Безрешеточный газогенератор, как уже было показано выше, является также очень старой конструкцией. Основной его мыслью является такое суживание шахты генератора книзу, что необходимость в решетке уже собственно отпадает, и топливо поддерживается наклонными стенками шахты. В последнее время эта конструкция вновь была предложена, в особенности Геллером (Heller), и выполнена на практике; фиг. 70 дает тип безрешеточного газогенератора. Подвод дутья производится или через боковые дутьевые камеры из каналов в вертикальных стенах суживающейся шахты, или у более старых конструкций через среднюю дутьевую камеру, которая также имеет выходные отверстия в нижней части шахты. Газогенератор имеет обыкновенно прямоугольное сечение, но, конечно, конструкция может быть применена и для круглого генератора. В первых выполненных аппаратах зола удалялась ручным путем из бокового зольного мешка. В более новых конструкциях уже применяется водяной запор из боковых корыт, чтобы золоудаление могло производиться без перерыва процесса.

Во всяком случае эта конструкция всегда ограничена сравнительно небольшими размерами. Так как по всем данным основным измерителем газопроизводительности является величина поперечного сечения прибора в зоне газификации, то значительное расширение шахты в верхней ее части не имеет влияния на газопроизводительность. Так как размеры зольника по крайней мере в одном измерении могут быть только весьма небольшими, то эта конструкция пригодна лишь для камерных газогенераторов, причем во всех случаях их производительность будет меньше, чем для шахтных генераторов. Поэтому нет никаких оснований считать эту конструкцию обещающей какие-либо особенные преимущества в том или ином отношении.

Сильное суживание нижней части должно вызвать интенсивную реакцию перед воздушными соплами; в генераторе Геллера были сделаны, однако, наблюдения [1], показавшие, что в противность этому господствующие там температуры являются весьма низкими (650—750°); это объясняют совершенно иными процессами горения, протекающими в этой зоне.



Фиг. 70. Газогенератор Геллера.

чем это должно бы иметь место согласно анализам, показывающим в этой зоне содержание 22—23% CO. После основных опытов Вендта [2] (Dr. Wendt, 1905) является вполне доказанным фактом, что кислород воздуха в первую очередь преимущественно дает с углеродом CO; работы Неймана [3] установили это точно [4]. Температуры при получении смешанного газа по этим опытам не превышают 950—1000°, что согласуется и с другими

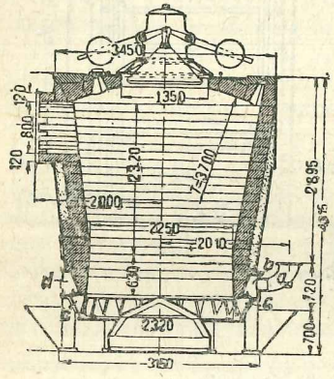
[1] См. «J. f. G.», 1913, стр. 692.

[2] Dr. Wendt, Untersuchungen an Gaserzeugern, «Forschungsarbeiten», № 31.

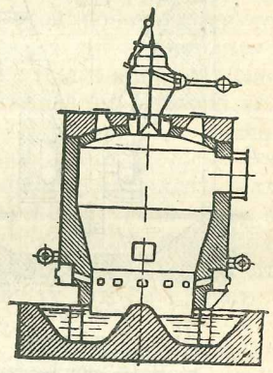
[3] Neumann, Die Vorgänge in Gasgenerator auf Grund des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik, «Forschungsarbeiten», № 140.

[4] Принимаемая Тренклером «первичная теория» образования CO поддерживалась весьма многими авторитетами (Bäckar, Dieon, Lang, Read, Wheeler и др.). Однако не меньше было сторонников и «редукционной теории», по которой CO получалась восстановлением образующейся сначала CO_2; см. об этом подробнее в предисловии М. К. Гродзовского к книге Ауфгейзера, Топливо и его горение, перевод под редакцией Гродзовского, 1933. Последние данные говорят скорее за редукционную теорию (против Ауфгейзера), а именно за «комплексную» теорию, по которой в начале образуется физико-химический комплекс с последующим выделением CO_2, восстанавливающейся затем в CO. Ред.

наблюдениями. Генератор Геллера обычно работает с обильным подводом пара (так как применяется пароструйное дутье), почему и представляется возможным, что вследствие этого и происходило снижение температуры, хотя температуры ниже 900° по всем данным едва ли вообще могут быть приняты в расчет при химических превращениях. Однако, так как анализы при опытах Вендта и при работе газогенератора Геллера почти полностью сходятся между собой, нет никакого основания считать, что в генераторе Геллера имеют место другие процессы, что и химически совершенно невероятно Данные эксплоатации также не представляют чего-либо необычного ни в отношении состава газа, ни в отношении к. п. д.[1] Производительность на 1 $м^2$ сечения шахты для сырого бурого угля до-



Фиг. 71. Газогенератор Бендера и Фреледса.



Фиг. 72. Газогенератор Гинзельмана.

стигает около 50 *кг*; при малых размерах газогенератора вообще стоимость изготовления и пуска невелика, однако эксплоатационные расходы никак нельзя считать удовлетворительными.

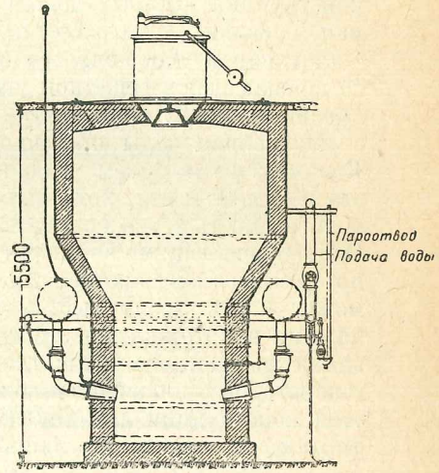
Безрешеточным газогенератором можно считать также предложенный фирмой Бендер и Фрембо (Bender u. Frambs) и представленный на фиг. 71 [2]. В этой конструкции мы также встречаем расширяющуюся кверху шахту, а также дутьевую камеру для подвода газификационного воздуха. Сужение шахты книзу здесь, однако, сравнительно невелико и вследствие большого сечения зольного пространства отвод золы здесь поэтому значительно труднее; поэтому эта конструкция подходит только для определенных легко газифицируемых топлив. Можно, конечно, облегчать удаление золы устройством неподвижного среднего конуса. Сходной конструкцией является представленный на фиг. 72 газогенератор Гинзельмана (Gebr Hinselmann, Эссен, Рур). Однако основная идея безрешеточного газогенератора едва ли получит дальнейшее развитие, если не будет разрешена одновременно задача плавления золы, так как иначе равномерное оседание столба топлива является чрезвычайно затрудненным.

[1] Результаты опытов, опубликованные, например, в журнале «Braunkohle», 1917 г., тетр. 41/42, Крейссигом (Kreyssig), не могут считаться безупречными, так как при пересчете давали невозможные к. п. д.

[2] K r i e g e r, «St. u. E.», 1919, стр. 1202.

г) Газогенератор с плавлением золы

Эта конструкция возвращает нас к первоначальной конструкции Эбельмена. Ранее она была сравнительно скоро оставлена. Основная идея газогенераторного процесса с удалением золы в расплавленном состоянии была, однако, вновь разработана Сайлером в Витковицах (Sailler, стр. 108) и до 1890 г. подобные газогенераторы находились там в работе. Позднее эта конструкция была вновь введена Сепюлькром в Оденкуре и с удовлетворительным успехом газифицировала низкосортные лигниты. Оттуда заимствовала эту конструкцию фирма Фише и Гертей (Fichet et Heurtey) в 1907 г. и ввела ее снова в практику как генератор S-F-H. Дальнейшее развитие конструкции выполнено преимущественно Паулем Вюртом в Люксембурге (Paul Würth), газогенератор которого представлен на фиг. 73. Эта конструкция уже более отличается формой своих сечений от доменной печи, чем это имело место у первоначальных газогенераторов этой системы, причем поверхности около решетки получали гораздо большее развитие. Это было необходимо, чтобы достичь потребных высоких степеней производительности. Эти газогенераторы оказались очень удачными для газификации кокса, так как высокая стоимость установки полностью компенсировалась чрезвычайно высокой производительностью. Была достигнута часовая производительность до 1350 *кг*/$м^2$ рабочей поверхности или соответственно до 300 *кг*/*м* шахтного сечения, в то время как с подобными же топливами в газогенераторах с вращающейся решеткой нельзя газифицировать в час свыше 180 *кг* на 1 $м^2$ сечения шахты. Более высокая производительность понижает, конечно, потери на лучеиспускание. Напротив, особенно неприятным является значительное образование пыли при применении высоких давлений, так что в теплотехническом отношении мы все же не можем установить значительных преимуществ конструкции по сравнению с газогенератором с вращающейся решеткой. Только для газификации кокса этот тип представляет определенные преимущества, если нужно рассчитывать на равномерный газоотбор. Получение жидких шлаков, которые могут быть использованы иным путем, а также получение жидкого железа при этом являются ценными моментами, но необходимо помнить, что для шлакообразования необходимо примешивание к шахте специальных добавок.



Фиг. 73. Газогенератор Ворта.

Сходная конструкция была позднее разработана заводом Георгс-Мариен-Хютте (Georgs-Marien-Hütte) и введена в практику в Бохуме фирмой Эйкворт и Штурм (Eickworth u. Sturm). Эта конструкция получает форму уже чрезвычайно близкую к шахтной. Работа газогенератора завода Георгс-Мариен-Хютте отличается от конструкции Вюрта только тем, что первый избегает применения пара и вырабатывает очень горячий,

но сухой газ. Исчерпывающие данные об эксплоатации и результатах работы с обеими названными конструкциями сообщает Маркграф [1]. В последнее время эту конструкцию применяют и другие фирмы, так как, например, для химических целей и многих других областей использования газа является ценным получение газа с высоким содержанием CO. Так фирма Пинч и фирма Копперс строют совершенно сходные газогенераторы; в особенности последняя фирма имеет многочисленные патенты по выполнению деталей подобных газогенераторов. Газогенераторы с плавлением золы вырабатывает также фирма Реман в Дюссельдорфе, в особенности для мелкозернистых топлив с пристройкой больших пылевых камер, конструкция которых довольно интересна [2]. Во всяком случае последняя, насколько мне известно, еще не испытана на практике. Генератор с плавлением золы является конструкцией, которая наряду с генератором со вращающейся решеткой может считаться в настоящее время наиболее предпочитаемой; многократно высказывался даже взгляд, что генератор с плавлением золы превосходит генератор с вращающейся решеткой. Как мы еще покажем в дальнейшем (стр. 218), на самом деле вообще это не имеет места, хотя является правильным, что высокая газопроизводительность первых значительно уменьшает эксплоатационные расходы. Однако решающими являются все же расходы на топливо и соответственно потери при газификации, вследствие чего генератор с плавлением шлака может иметь преимущество только при очень малозольных топливах, но даже и в этом случае это имеет место лишь при возможности использования физического тепла газа в полном объеме. Дальнейшее развитие генераторов с плавлением золы должно итти в направлении применения этой конструкции для других видов топлива, так как до сих пор они фактически назначались лишь для газификации кокса.

д) Газогенератор с дутьевым колпаком и водяным затвором

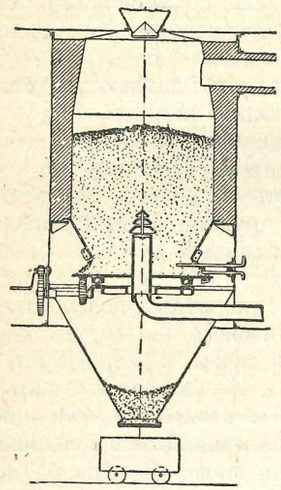
Уже газогенератор, представленный на фиг. 69, имеет дутьевой колпак простой конструкции. Этот тип многократно применялся на практике, так как дутьевой колпак в его совершенной форме обеспечивает энергичный подвод воздуха для газификации. В то время как в более старых газогенераторах с плоской и ступенчатой решеткой при увеличении количества шлаков подвод дутья через решетку делается весьма неравномерным и, с другой стороны, при сравнительно крупных поверхностях решеток возможно работать только с небольшими давлениями дутья, — все эти обстоятельства значительно улучшаются при введении дутьевого колпака. Кроме того, старой практической истиной является максимальная скорость течения газификации краев, вследствие чего подвод воздушного дутья в средине вообще является совершенно правильным.

Эта конструкция имела особенно большое значение для дальнейшего развития генераторостроения, так как она сделала возможным применение новой системы золоудаления. Уже в 80-х годах Тейлор пришел к мысли осуществить автоматическое золоудаление в соединении с дутьевым колпаком путем применения вращающейся плиты и передвигающегося золоудаления. На фиг. 60 представлена конструкция, положенная

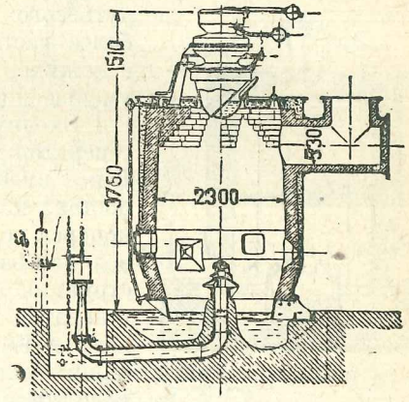
[1] «St. und E.», 1919, стр. 649.
[2] Hermann, «Z. d. V. d. I.», 1920, стр. 351.

в основу патентного описания, и разработанная впоследствии в особенности французской фирмой Фише, Гертей и Соважен [1], а также германской фирмой Дейц. Относящиеся к этой области конструкции известны из литературы и не представляют сравнительно с первоначальными никаких существенных усовершенствований.

Конструкция с зольной плитой сохранилась до последнего времени, в особенности в Америке, причем ниже зольной плиты помещают коническую воронку, в которую собирается зола, легко затем удаляемая. Эта конструкция изображена на фиг. 74; она долго применялась, напри-



Фиг. 74. Газогенератор Тейлора новой конструкции.



Фиг. 75. Газогенератор Моргана.

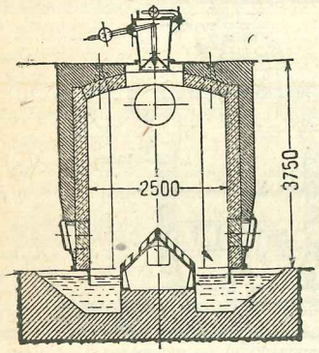
мер, в газогенераторе Юза (Hughes, фиг. 99). Она может быть названа нормальной американской конструкцией генератора конца прошлого столетия.

Однако в Европе эта конструкция не могла долго удержаться и именно вследствие того обстоятельства, что движущиеся части конструкции под воздействием горячей золы механически очень сильно изнашиваются, что вызывает не только частые нарушения процесса, но и прежде всего весьма высокие эксплоатационные расходы.

Как мы уже раньше указывали, одновременно начало прививаться применение водяного запора для охлаждения золы перед ее удалением, для охлаждения самого газогенератора и облегчения этим работы со шлаками. Упоминание этой конструкции мы постоянно встречаем в современной литературе, однако без какого-либо существенного изучения. Только в конце 90-х годов удалось двум соответствующим конструкциям достичь большего распространения и значения. Одну из этих конструкций представляет газогенератор Моргана, изображенный на фиг. 75 [2]. Вокруг дутьевого колпака устраивается фундаментальной кладки кольцеоб-

[1] В настоящее время — Гершен и К°. Ред.
[2] Wolff, «St. und E.», 1905, стр. 387.

разная водяная ванна, в которую погружается нижняя стенка шахты, выполненная в виде чугунного опорного кольца. Непрерывно поступающая в водяной запор по ходу газификации зола удаляется затем из водяной ванны ниже этой шахтной стенки лопатами. Эта работа может выполняться длительно без нарушения производства, причем нужно учесть то обстоятельство, что еще горячая зола рассыпается в воде и делается мелкозернистой; получающийся при гашении золы в водяной ванне пар действует разлагающе на золу в верхних зонах и ускоряет ход процесса. Несмотря на это рабочий ход этого газогенератора только в редких случаях бывает непрерывным. Если даже водяной запор устроен со всех сторон и выполнение нижней части генератора вполне совершенно,— все же имеет место частое образование шлаковых камней над и около дутьевого колпака; это делает неизбежным более частое опускание шлаков через двери в кожухе, что, конечно, связано с временным уменьшением газопроизводительности [1].



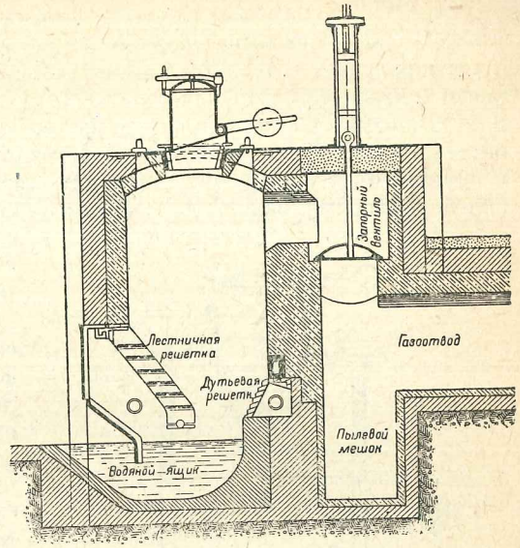
Фиг. 76. Газогенератор Дуфф.

Сходную конструкцию имеет также газогенератор Дуффа, представленный на фиг. 76. В нем вместо центрального дутьевого колпака поставлена седлообразная решетка, идущая поперек всего газогенератора, вследствие чего водяная ванна делится на две части. Эта конструкция является менее удачной, чем газогенератор Моргана, но она более распространена в Европе, чем последняя, так как для наших углей всегда приходится предпочитать решетки с большей поверхностью. С другой стороны, седловидная решетка подпирает с обеих сторон, где нет водяной ванны, топливный слой, почему золоудаление не удается без энергичного проталкивания слоя сверху. Обычно бывают вынуждены держать шлаковые дверцы открытыми все 24 часа и сбивать шлак с решетки, чтобы достичь хорошего золоудаления. В особенности редко удается удалять через водяную ванну большие шлаковые камни. Очень часто последние ложатся поперек между шахтной стенкой и седловидной решеткой, находящаяся между ними зола удаляется водяной ванной и при шуровании сверху раскаленные шлаковые камни разламываются и обрушиваются в воду, причем происходит интенсивное парообразование наподобие взрыва, часто ведущее к ранениям обслуживающих решетку рабочих. Несмотря на это газогенераторы с водяными затворами находят большее распространение, чем газогенераторы с вращающимися поддонами. Водяная ванна может применяться также и в совместной конструкции со ступенчатой решеткой, как показывает фиг. 77, причем

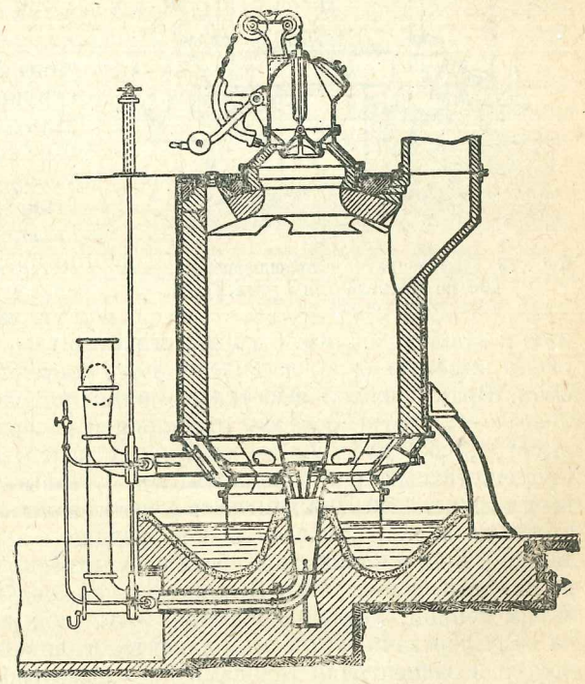
[1] О конструктивных формах затворов для отъединения зоны газификации от наружного воздуха см. у Германса (Gasgeneratoren und Gasfeuerungen, 2-е изд., 1924); кроме обычного гидравлического затвора он описывает затвор в виде подъемного железного цилиндра (применялся до гидравлики), жалюзийный затвор Крафта, специальный сухой затвор Ремана для топлив с гидравлическими золами, затвердевающими с водой подобно цементу и, наконец, гидравлический затвор Черни с разделением зольной тарелки от водяной ванны затвора (очень полезен при топливах с сильно гигроскопическими золами). Р е д.

напротив ступенчатой решетки располагают дополнительную дутьевую камеру, чтобы достичь возможно равномерного распределения дутья по всему сечению.

Газогенераторы с водяной ванной и дутьевым колпаком имеют весьма значительное распространение еще и в настоящее время. В своей форме и выполнении они многократно видоизменялись и усовершенствовались, чтобы добиться по возможности равномерного распределения воздушного дутья по всему сечению шахты. Часто присоединяется краевой подвод дутья, причем нижнюю часть шахты выполняют в виде дутьевой коробки с каналами или соплами, как показывает фиг. 78. Центральные дутьевые колпаки с их небольшими размерами вообще всегда ведут к более легкому образованию зольных камней, мостов и пустот, если распределение воздуха не будет улучшено совершенно равномерным и крупнозернистым зольным слоем. Спекание и зашлакование одновременно ведет и к следующему серьезному нежелательному явлению, имеющему место более или менее во всех упомянутых до сих пор конструкциях, а именно примешиванию к золе частично несгоревшего или не полностью газифицированного угля. Работа по удалению золы, или, вернее, шлака, во всех этих конструкциях остается все еще тяжелой.

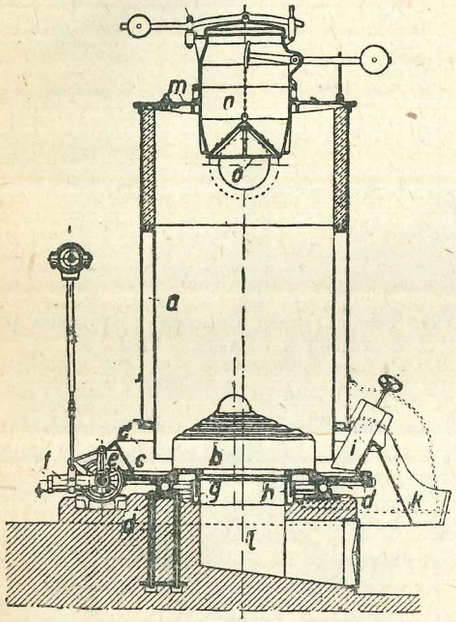


Фиг. 77. Газогенератор Сименса с дутьевой решеткой и водяной ванной.


Фиг. 78. Газогенератор с дутьевым колпаком и периферическими соплами.

е) Газогенераторы с вращающейся решеткой

Как уже ранее было указано, были испытаны различнейшие пути для предотвращения зашлакований и их легкого удаления. В действительности оказалось легче овладеть химическим процессом газификации и установить его так, как это желательно, между тем, как удаление остатков и обусловленное этими остатками равномерное распределение воздушного дутья по всему сечению газогенератора оказались гораздо более тяжелыми задачами. Основной конструкцией, устранявшей эти трудности, явился газогенератор с вращающейся решеткой, строение которого и работа были описаны уже ранее (стр. 133 и сл.). Он получил окончательную форму в результате многочисленных переработок, которые, впрочем, отличались между собой лишь деталями.



Фиг. 79. Газогенератор с вращающейся решеткой по Керпели для бурых углей.

Изображенная на фиг. 79 более старая форма газогенератора с вращающейся решеткой была разработана Керпели на Штирийском железном заводе Донавиц, где вместе с более старыми газогенераторами со ступенчатой решеткой были испытаны без особенного успеха конструкция Бильдта и Моргана. Для газификации применялся высокоценный альпийский бурый уголь с незначительной влажностью и теплопроизводительностью, примерно 5 000 *кал*, который, однако, не только был многозолен (13—20%), но и имел богатую железом золу, сильно склонную к зашлакованиям. С расчетом на это газогенератор по фиг. 79 имеет очень высокую охлаждаемую стенку, соответственно необычной высоте слоя. Вращающаяся решетка представляет собою эксцентрично поставленную круглую решетку с большой поверхностью и незначительной высотой, составленную из отдельных колец, образующих при помощи промежуточных ребер перекрытые дутьевые каналы примерно на $^3/_4$ всей окружности. Нижняя часть решетки вначале делалась очень высокой, чтобы несколько уменьшить образующиеся шлаковые камни; она имеет также и в цилиндрической части еще дутьевые каналы, чтобы обеспечить полное выгорание золы. Зольное корыто снабжено по окружности зубчатым венцом, медленно передвигаемым с помощью шнека; шнек сидит на валу передачи, которая приводится в движение при помощи храпового колеса и эксцентрика толчками от общего рабочего вала газогенераторной установки. Для удаления золы в зольное корыто был поставлен радиально золоудалитель, касавшийся самого дна, а вследствие наклона последнего, заходивший также под стенку шахты. Этот сошник был укреплен на одной из несущих колонн шахты или на самой шахтной стенке.

Эта конструкция имела решительный успех, причем в первую очередь она повысила вдвое пропускную способность старых конструкций. Кроме того, состав паза значительно улучшился и потеря с золой весьма уменьшилась. С этим естественно связано большое число других преимуществ, которые мы приводим ниже в специальном перечислении:

1) большая пропускная способность,
2) более равномерный газ,
3) лучшее выгорание золы,
4) снижение расходов на удаление золы,
5) возможность применения более дешевых сортов угля,
6) непрерывное многомесячное производство при незначительных ремонтных работах,
7) меньший объем,
8) понижение образования пыли при удалении шлака.

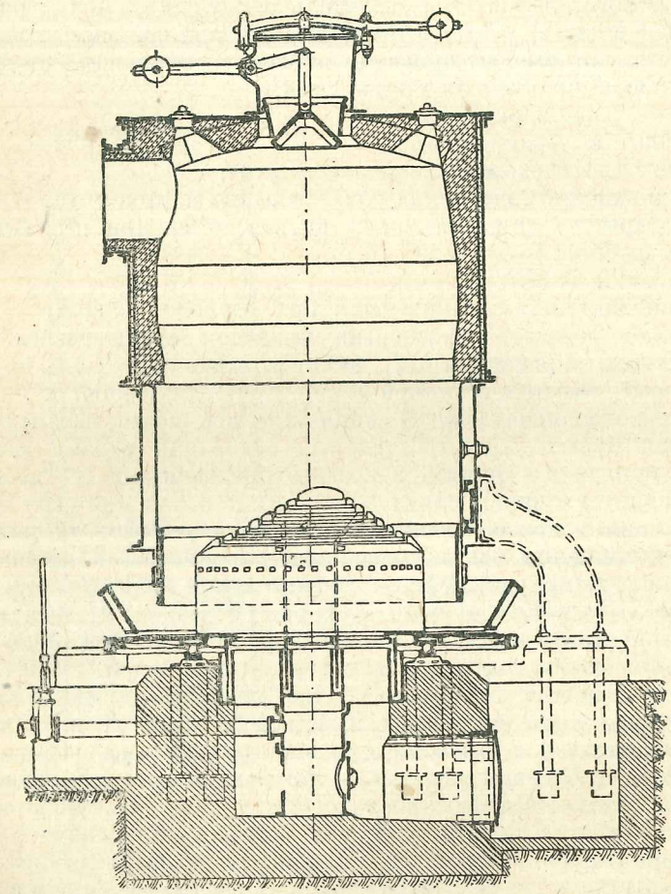
При этом потребление энергии приводом вращающейся решетки является весьма незначительным, достигая лишь 0,5—1,5 *л. с.*, так как зольное корыто вместе с решеткой делает лишь один оборот в 1—5 час.[1].

Эта первоначальная конструкция осталась почти неизменной для газификации бурых углей. Только на основании первых испытаний несколько понизили решетку, а позднее предпочитали ее продолговатую (или полигональную) форму (стр. 136), так как при этом нагрузка основания чаши и привода является наименьшей, и поэтому снашивание этих частей является более умеренным. Ставящиеся в нижней части шахты защитные кольца, деформирующиеся под влиянием нагревания, были заменены сильным чугунным опорным кольцом, которое заканчивается косым срезом, подходя к охлаждаемой стенке. В такой измененной форме газогенератор годен и для переработки каменных углей, только в расчете на горячий ход процесса. Все клепаные швы охлаждаемой стенки должны быть устранены и заменены сваркой и отбортовкой. Наибольшие заслуги в развитии этой конструкции имеет фирма Тиссен и К⁰ (Thyssen u. C⁰), вводившая этот тип газогенератора в Рейнской области и Вестфалии. На фиг. 80 дано выполнение газогенератора Керпели с полигональной решеткой для газификации каменных углей.

Значение этой конструкции газогенератора было вскоре понято промышленностью и сначала медленно, затем все быстрее стали поступать на рынок различные улучшения и приспособления этой системы. Однако основной тип едва ли претерпит существенную дальнейшую переработку; изменения касались лишь конструктивных улучшений, многократно патентовавшихся. Здесь, конечно, невозможно дать полное перечисление многих предложенных типов, так как к этому времени в одной Германии уже имелось 28 фирм с так называемыми собственными конструкциями, конкурировавшими между собой; кроме того, многие заводы разработали специальные конструкции или улучшения. В Бельгии, Франции и Англии также были разработаны своеобразные конструкции.

[1] В зависимости от рода топлива. Более крупные газеры в настоящее время требуют мощности в среднем 1,5—2 *л. с.* Ред.

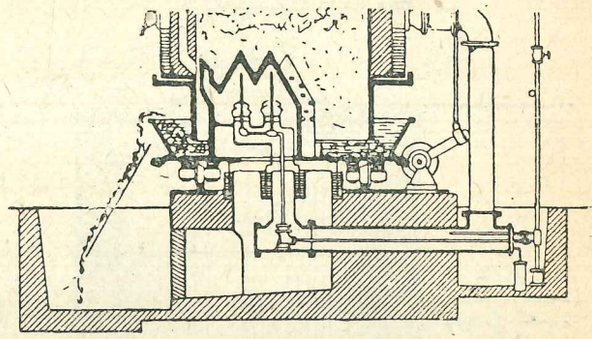
Германских государственных патентов в этой области после Карпели до конца 1922 г., следовательно, в течение 18 лет, было выдано 85, из них только 7 иностранным фирмам (т. е. кроме австрийских и германских фирм).



Фиг. 80. Газогенератор с вращающейся решеткой по Керпели для пламенных углей.

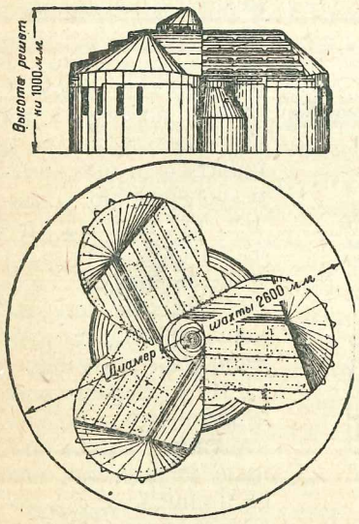
Особенного внимания заслуживают из времени развития этой конструкции работы Гуго Ремана. Реман поставил на теле решетки весьма эффективные разгружающие острые возвышения, чтобы сильнее и до более высокой зоны воздействовать на топливный слой. Фиг. 81 показывает нижнюю часть этой решетки по патенту 216786 (19 VI 1906), который был выдан после длительного патентного спора. Нельзя отрицать, что этот тип решетки дал хорошие результаты для многих топлив, но сам Реман позднее возвратился к более простой и плоской конструкции решетки, показанной на фиг. 82. Основным контуром очевидно,

однако, остается полигональная конструкция с меняющимися расстояниями от кожуха, снабженная почти центрально расположенными решеточными остриями для усиления размешивающего воздействия. Конструкция Ремана интересна также и в конструктивном отношении. Вместо шариковых опор он впервые применил роликовые, которые позднее были приняты многими фирмами. Охлаждаемый кожух генератора изнутри снабжен защитной обмуровкой из шамота, что может значительно сберечь его сложную отбортовку. Реман сделал в охлаждаемой стенке также дутьевую коробку и провел туда воздух для газификации, так что последний мог быть насыщен влагой из горячей охлаждающей воды.



Фиг. 81. Вращающаяся решетка по Реману (патентный чертеж).

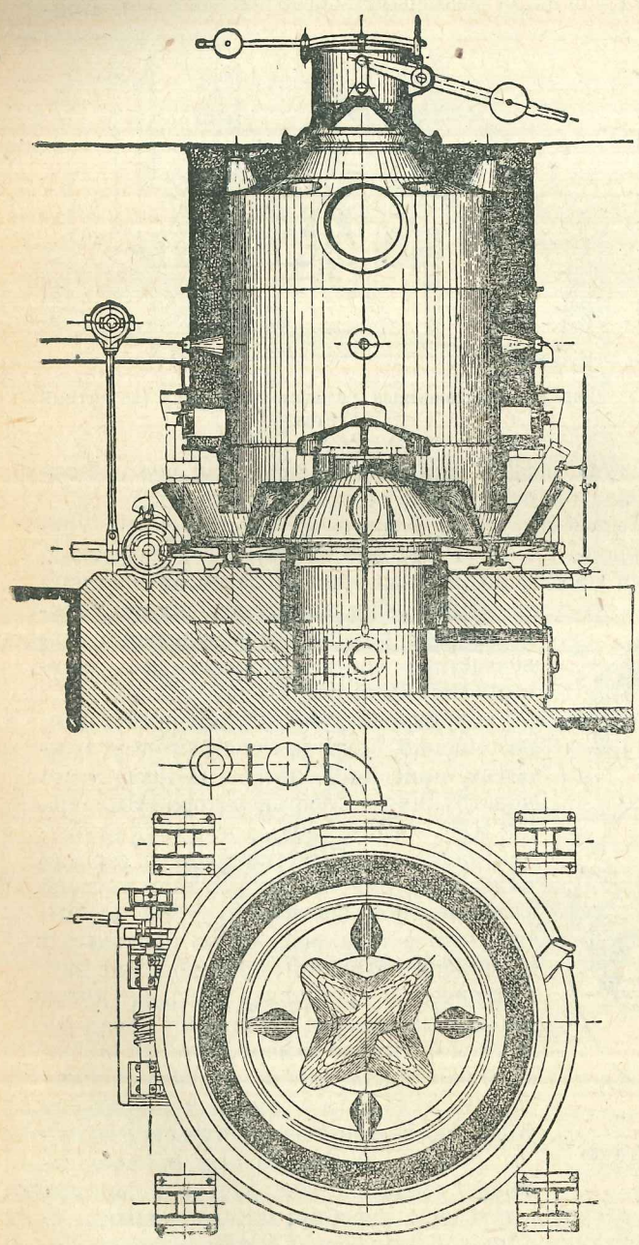
Особенно глубокое воздействие на топливный слой пытался осуществить Кипперс (Küppers, D. R. P. 210889, 1908) своей решеткой, снабженной радиальными ножевидными резаками. Позднее он поставил такие же ножи на стенку шахты, вращавшуюся в обратном направлении. Но вследствие своей сложности эта конструкция была оставлена.



Фиг. 82. Новая плоская решетка Ремана.

Стремление упростить конструкцию, несомненно более важное чем ее усложнение, привело Гильгера (Hilger) к его конструкции газогенератора Петтера (D. R. P. 230124, 1909), который представлен на фиг. 83. Решетка сделана гораздо ниже в форме звезды, только в своей фундаментной части — круглой формы, так что в верхней части получаются носовидные отростки, производящие эксцентрическое действие. Подвод дутья производится через приподнятую над решеткой дутьевую камеру, которая полностью перекрыта, чтобы устранить наблюдавшееся до сего времени прохождение золы через решеточные дутьевые каналы; решетка, таким образом, точно напоминает вращающийся дутьевой колпак, так как верхняя часть, несущая дутьевую коробку, по сравнению с сечением шахты весьма невелика. Эта конструкция решетки, несомненно, дешева и пригодна для всех топлив, при которых образуется равномерный слой золы, принимающий на себя распределение дутья. Для более

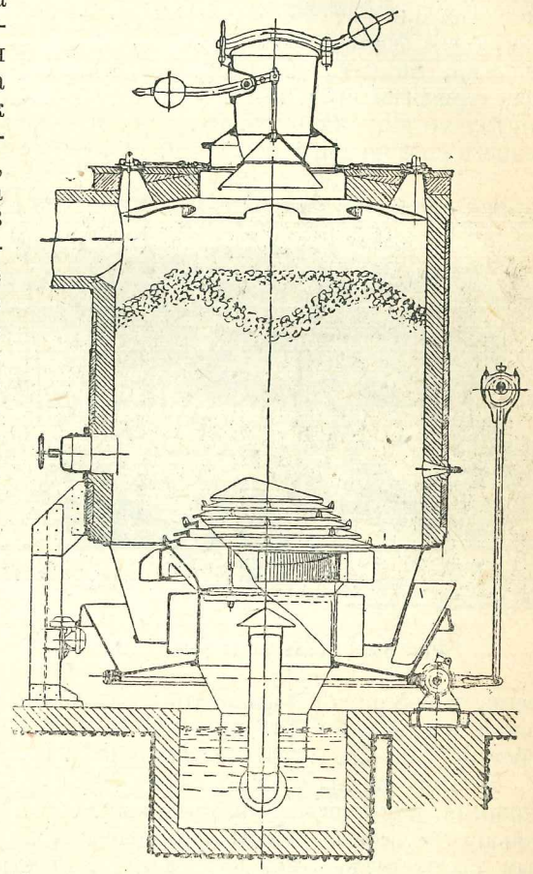
тяжелых топлив она, однако, оказывается неподходящей, так как эксцентрическое действие ее слабо и высота особенно ограничена. Газогенератор Петтера вызвал все же значительный интерес так называемым «пилигримным шагом», попятным движением решетки, при котором вращение возможно в обоих направлениях. Этим путем стремились получить более сильное воздействие на топливный слой, без одновременного удаления золы, так как ее выбрасывание не должно иметь место, если движения решетки вперед и назад будут одинаковыми. Для достижения этого двойного движения в приводной механизм вводят вместо храпового колеса зубчатое колесо с обратным движением. Этот «пилигримный шаг» не удержался в практике и был вскоре совершенно оставлен, так как его преимущества не были существенными, а необходимость перестановки привода затрудняла обслуживание.



Фиг. 83. Газогенератор с вращающейся решеткой Хильгера (фирмы Петтер).

В дальнейшем в этой конструкции уничтожили охлаждающую стенку, так как ей приписывалось неблагоприятное влияние. Несомненно, что это не совсем так, и существуют многочисленные топлива, при которых водяное охлаждение шахты

имеет определенные преимущества. С другой стороны, однако, оказывается, что действительно часто можно было отказаться от охлаждения шахты без ухудшения процесса в отношении зашлакования или в отношении его хода. Соответствующим выбором огнеупорных материалов можно и в более тяжелых случаях обойтись без охлаждения шахты, но при этом необходимо всегда обеспечивать энергичную шуровку. Заслуживает внимания в этих случаях подвод пара по окружности шахты, как это испробовал, например, металлозавод в Кладно (Kladno), и позднее выполнила фирма Хут и Ретгер, Дортмунд. В первом случае было применено парораспределительное кольцо, глубоко заделанное в шахтную стенку в наиболее низком ее месте; кольцо снабжено маленькими отверстиями, простая конструкция которых вполне удовлетворяет своему назначению. Хут и Ретгер применили паровые сопла, введенные в шахту и присоединенные к парораспределительному кольцу снаружи, так что каждое сопло может включаться отдельно.



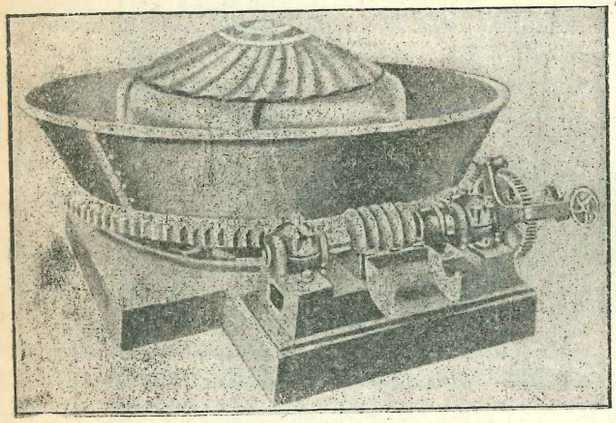
Фиг. 84. Газогенератор с вращающейся решеткой.

Из других фирм, имеющих заслуги в области развития или введения газогенераторов с вращающейся решеткой, надлежит упомянуть: Гутe-Хофнунгс-Хютте, Эргардт и Земер (Ehrhardt u. Sehmer), Пинч, Бамаг (Bamag), Фридрих-Аугуст-Хютте (König Friedrich-August-Hütte), MAN, Гроссе (Grosse), Барт (Barth), Гетц, Петтер, Де-Фонтен (de Fontaine) и др. В конструктивном отношении является особенно интересной система MAN (фиг. 84), так как весь ее водяной затвор выполнен в виде одной отливки с нижней частью решетки, этим устранены неплотности и достигается существенное снижение стоимости изготовления конструкции.

Ценной конструкцией решетки является так называемая веерная решетка Бамаг [1] (D. R. P. 255341), представленная на фиг. 85. Она вполне круглой формы и расположена центрически в зольном корыте, но имеет

[1] Bamag, Berlin, Anhalitische Maschininfabrik A. G. Ред.

систему специальных изогнутых приливов — ребер веера, — обусловливающую движение шихты и удаление золы. В то время как старые конструкции применяли или эксцентрически поставленные круглые решетки или какие-либо полигональные формы, позднее перешли к более частому употреблению центрических круглых решеток с различными выемками или насадками («носами»). Однако ни одна из сохранившихся в практике форм решеток не отказалась полностью от эксцентрического действия; но самые конструкции весьма разнообразны, причем часто эксцентрически выполняется только верхняя часть (например у Пинча) или только нижняя часть. Это объясняется тем, что вращательное движение в соединении с обычно применяемым сошником достаточно полно осуществляет автоматическое золоудаление; причем, конечно, опускание слоя топлива под действием его собственной тяжести происходит нормально даже если в верхних задеваемых решеткой зонах и не имеет место эксцентрическое воздействие. В средних условиях, однако, является предпочтительным большее влияние на слой, примерно как при решетке Керпели, так как в этом случае мы всегда в состоянии уменьшать это воздействием путем замедления движения, уменьшения отбора золы и т. д., в то время как усилить воздействие выше известного максимума невозможно.

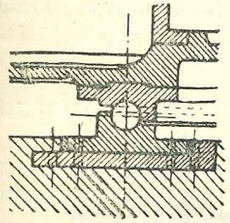


Фиг. 85. Вращающаяся решетка Бамаг.

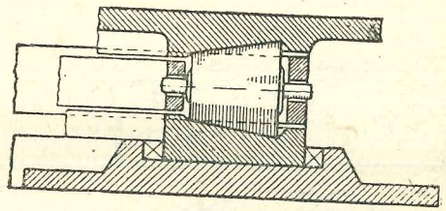
Многие из предложенных усовершенствований оказались или излишними, или иногда даже вредными. Они почти всегда имеют следствием большую чувствительность механической части, что является недостаточным на практике. Вообще позднее для строительства газогенераторов были приняты следующие отправные пункты. Щели решетки должны быть или достаточно сильно перекрыты или поставлены обратно направлению движения (как, например, в веерных решетках), чтобы устранить провал золы и закупорку шлаковыми камнями. Сошник должен ставиться не радиально, но несколько тангенциально или наклонно, чтобы облегчить его работу и, кроме того, избежать слишком большого подпора шлака по окружности чаши. Делают также зольник с несколько поднимающимися стенками, чтобы иметь возможность временами уменьшать золоудаление.

В конструктивном отношении особенно важны опорные элементы решетки и передача движения; поэтому мы должны сделать здесь некоторые указания. В качестве опорных элементов обычно применяются шары или ролики. Шариковые опоры по фиг. 86 проще, так как они не

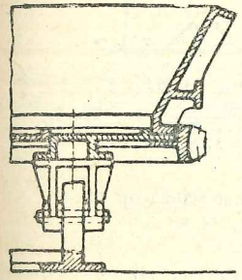
нуждаются в специальной установке каждого элемента, зато они легче загрязняются. В некоторых случаях они вообще не рекомендуются; все же применение сменяемых опорных колец и точеных или с некоторым толеранцем прокованных стальных шаров оказывается, вообще говоря, на основании длительного опыта достаточно удовлетворительным. Применявшиеся вначале роликовые опоры с полыми роликами, центрированными кольцами из полосового железа, как показано на фиг. 87, во многих случаях не сохранились в производстве, так как ролики



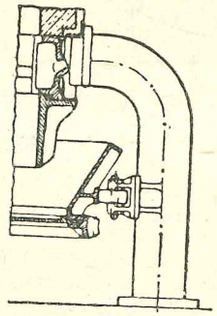
Фиг. 86. Шаровая опора.



Фиг. 87. Роликовая опора с направляющим кольцом.

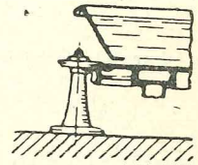


Фиг. 89. Опора с бегунками и рельсами.



Фиг. 90. Боковой направляющий ролик.

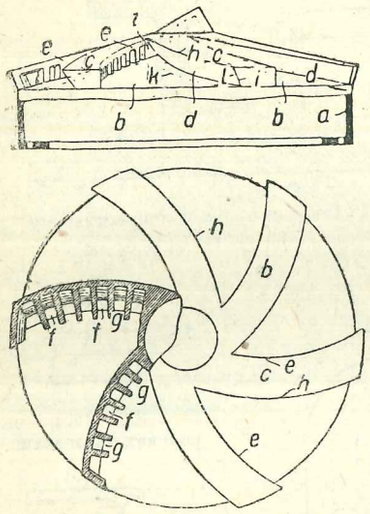
Фиг. 88. Опора на роликах с козелками.



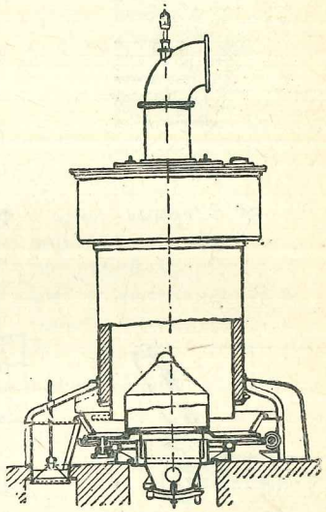
Фиг. 91. Боковой направляющий ролик.

легко выскакивали и направляющие кольца растягивались. Поэтому теперь применяют почти исключительно козелковые ролики и на подшипниках по фиг. 88, или бегучие ролики с рельсами по фиг. 89. Во всяком случае все же необходимо устройство боковых направляющих примерно как на фиг. 90 или 91. Роликовые опоры не являются закрытыми, как шариковые, поэтому они доступнее для наблюдения и ремонта. Однако тем легче получается возможность нарушений их работы, так как посторонние тела могут проникнуть к роликовому пути. Поэтому в случае применения роликовых опор нужно наиболее рекомендовать роликовые стояки (фиг. 88), в особенности потому, что они допускают легкий монтаж, если все опоры расположить на общей основной плите, что, впрочем, повышает стоимость конструкции. Во многих случаях из-за этого снова возвращаются к простым шариковым опорам.

Движение корыта производится при помощи поставленного по его окружности зубчатого колеса и шнека. Шнек посажен на вал привода, колесо которого имеет или храповую передачу, или эксцентриковый шатун для снижения скорости трансмиссии ($n = 45 — 60$) до скорости шнекового вала ($N = 2 — 0{,}3$). Скорость самой чаши очень невелика, обычно 1—0,2 поворота в час. Перечисленные типы приводов применялись с весьма различным успехом, причиной чего, конечно, являются различные местные условия и различная внимательность обслуживания. Пробовали также присоединить эксцентриковую передачу непосредственно к чаше (трещеточный привод Барта, Дюссельдорф), причем



Фиг. 92. Фрезерная решетка по Коллеру.



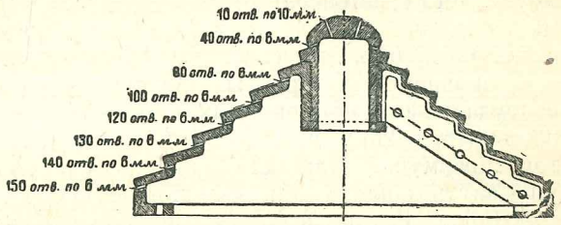
Фиг. 93. Газогенератор высокого давления по Керпели.

снижение скорости производится с помощью червячной передачи или ступенчатого шкива. Эта конструкция оказывается дешевле, но зато менее устойчива в производстве; передаваемая мощность для движения поддона даже при прерывистой (толчкообразной) работе все же настолько велика, что передачи при помощи ступенчатого колеса не рекомендуются [1].

Для облегчения удаления золы при многозольных топливах неоднократно предлагались специальные конструктивные улучшения, так, Керпели предложил зольное корыто с укрепленными на нем несколькими захватывающими лопатками, в то время как нижняя часть шахты имеет поднимающиеся в направлении вращения поверхности, полностью занимающие сечение между шахтой и поддоном. Эти поверхности, следовательно, соответствуют полого поднимающимся золоудалителям, в то время как укрепленные на поддоне вращающиеся сборные лопатки увлекают золу и не дают ей возможности обратного втягивания (D. R. P.

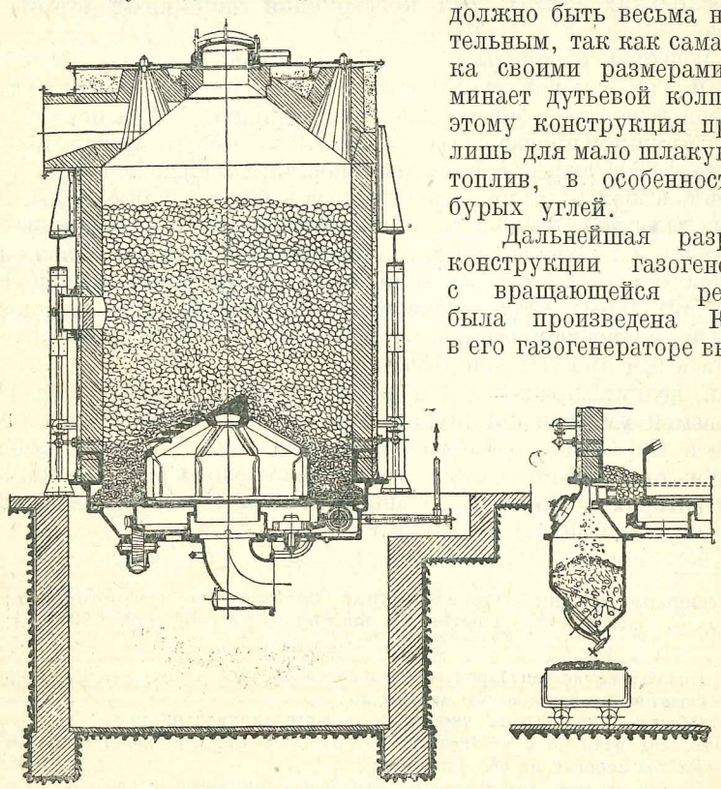
[1] На установках Союза предпочитают зубчатые передачи фрикционным, часто отказывающимся работать в сырую погоду (приходится посыпать песком, кулачки часто стираются; зубчатки же почти не требуют ухода). Р е д.

22170, 1910). Эта конструкция рекомендуется для глубоких зольных корыт, имеющих применение при работе с высоким давлением дутья. Сходное решение дает конструкция Коллера (D. R. P. 242685 и 287525), представленная на фиг. 92 и имеющая спиральной формы собиратель для золы на наклонном дне корыта. Эта конструкция в последнее время известна под названием фрезерной решетки (Fräserrost); снабженные дутьевыми отверстиями собиратели обеспечивают хорошее распределение воздуха для газификации, но эксцентрическое воздействие должно быть весьма незначительным, так как сама решетка своими размерами напоминает дутьевой колпак; поэтому конструкция пригодна лишь для мало шлакующихся топлив, в особенности для бурых углей.



Фиг. 94. Решетка для газогенератора высокого давления Керпели (тонкосопельная).

Дальнейшая разработка конструкции газогенератора с вращающейся решеткой была произведена Керпели в его газогенераторе высокого



Фиг. 95. Газогенератор с сухим золоудалением Бамаг.

давления (фиг. 93), назначенном для газификации мелкозернистых и порошковатых топлив. Основной мыслью конструкции является, с одной стороны, дальнейшее уменьшение решеточных отверстий (тонкосопель-

ная решетка, фиг. 94), чтобы достичь лучшего распределения воздушного дутья, и, с другой стороны, создание над зольным корытом воздухонепроницаемого запора; оба изменения имеют целью дать возможность вести газогенератор на более высоких давлениях дутья. Несмотря на частичные удовлетворительные результаты газогенератор высокого давления не оправдал связанных с ним ожиданий. Однако, идея воздухонепроницаемого запора была использована в газогенераторах с сухим золоудалением, применяемых в особенности для топлив с богатой известью цементирующейся золой. Сухое золоудаление удержалось поэтому преимущественно для рейнских бурых углей; в этой области можно упомянуть конструкции Фридриха-Аугуст-Хютте, Гуте-Хофнунгс-Хютте, Пинча, Ремана и Бамага, из которых последняя дана на фиг. 95. В то время как первоначальная конструкция Керпели сохранила полные размеры корыта и при сухом золоудалении без воды работали с ним же, позднейшие конструкции стремились обойтись без корыта и сохранить лишь его дно, с которого зола удаляется при посредстве скребка в одном или нескольких местах. Эта конструкция напоминает старые формы Тейлора.

В качестве специального типа газогенератора со вращающейся решеткой для большой производительности Пинчем был спроектирован кольцевой генератор (фиг. 96), который, однако, до сих пор не был испытан в крупном производстве. В качестве общего вывода можно сказать, что в настоящее время газогенератор с вращающейся решеткой вытесняет в больших производствах все более старые типы. Простые шахтные газогенераторы находят себе применение только в малых производствах и в тех случаях, когда топливо очень малозольно и зола не имеет наклонности к шлакообразованию. Однако реальные соотношения размеров капитальных затрат и ремонта с эксплоатационными расходами — должны в дальнейшем решить вопрос — насколько экономичными можно считать эти простые конструкции.

Как велики преимущества вращающейся решетки, в особенности в отношении уменьшения шуровочной работы, лучшего использования топлива и устранения работы по шлакоудалению [1], можно лучше всего вывести из того обстоятельства, что эта конструкция решеток применяется и в генераторах водяного газа, двойного газа и газа Монда (см. фиг. 108 и фиг. 97) — новый газер Монда).

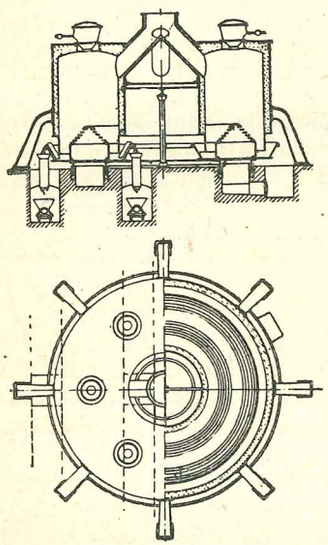
---

[1] Основные средние характеристики производства генераторного газа на аппаратах с вращением решетки в настоящее время (1930/1931 г.) следующие:

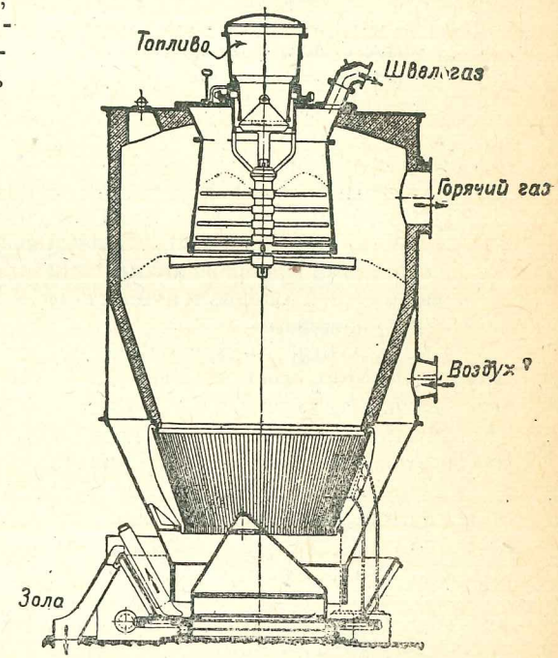
Использование теплопроизводительности топлива	92—94%
Остаток горючего в золе снижен до	1%
Обслуживание газера упрощено до автоматичности: расход воды на 1 $м^3$ угля	ок 4 $м^3$
Расход энергии на обслуживание	0,5—2 *квт*
Стоимость газа, как правило, ниже, чем в установках с неподвижной решеткой на	50%
(себестоимость газа на обычных топливах не свыше 0,15—0,2 коп. на 1 $м^3$)	

См. H. Winkelmann, Konstruktion und Vorzuge des Drehrostgenerators, «Chem. Techn. Rundschau», т. 44, стр. 762. Ред.

Развитие конструкций с вращающейся решеткой за границей (т. е. вне Германии и Австрии) тесно примыкало к указанным типам. Один из старейших газеров был предложен французом Шаванном (Chavanne D. R. P. 21167, 1907). В Англии собственные конструкции возникли очень поздно, здесь можно назвать лишь Лаймна и Рамбуша (Lymn a. Rambush, D. R. P. 271995, 1913)[1]. Наиболее поздно примкнула к их разработке Америка; здесь в первую очередь выступила с патентом D. R. P. 304986 известная газогенераторная фирма Моргана (Morgan Construction C°) Ворчестер; сходную конструкцию имеет показанный на фиг. 101 газогенератор Чепмана (Chapman) [2].



Фиг. 96. Кольцевой газогенератор Пинч.



Фиг. 97. Газогенератор с корзиночной решеткой с самостоятельным золоудалением Германского о-ва по получению газа Монда и побочных продуктов.

---

[1] Слабое распространение механизированных газеров в Англии наблюдается до самого последнего времени, вследствие нежелания промышленников итти на значительные капитальные затраты по сравнению с простыми кирпичными газогенераторами. (См. N. E. Rambush and F. S. Townend, Proclucer gas Practice, 1930, доклад на II Всемирной энергетической конференции). Объяснение к этому факту видимо кроется в очень низкой цене газогенераторного газа в Англии, являющегося одним из наиболее дешевых топлив (около 0,25 коп. за 1 000 *кал*, см. H. C. Armstrong, Доклад на II Всемирной энергетической конференции, 1930). Ред.

[2] Интересный в конструктивном отношении, но очень сложный проект газогенератора для торфа и бурых углей с вращающимися дисковыми колосниками предложен Т. Ф. Макарьевым и П. П. Мочаловым в 1929 г. (патент № 45725, СССР): состоит из двух камер — сожигательной и восстановительной, с 4 системами колосниковых решеток, образуемых трубчатыми вращающимися колосниками с дисковыми насадками. Ред.

ж) Газогенераторы с автоматическим шурованием

Наибольшее развитие газогенератора с вращающейся решеткой получили в Германии и Австро-Венгрии. Во Франции, Бельгии и Англии были введены большей частью германские конструкции. Значительно иначе шло развитие генераторостроения в Соединенных штатах.

Если мы рассмотрим это развитие сравнительно с другими странами, то встретим существенные различия, и мы не можем ограничиться здесь лишь простым установлением факта этого различия; мы можем получить много поучительного из рассмотрения развития техники газификации в других странах, если одновременно будем учитывать те влияния, коорые имели при этом место. Так, несомненно, отставание английского генераторостроения частично объясняется тем обстоятельством, что там легко газифицируемые угли гораздо дешевле, чем в Германии. Подобных примеров имеется достаточно. Всегда развитие техники обусловливается экономическими соображениями; для примера мы ниже приведем рассмотрение одной специальной конструкции, имевшей в свое время существенное значение.

Как известно, газификация спекающихся каменных углей очень трудна, почему всегда существовало большее или меньшее стремление назначать для газогенераторного производства по возможности неспекающиеся угли. Также необходимо подчеркнуть, что важные вопросы развития техники топливоиспользования, а именно получение первичной смолы из сырых топлив при одновременном получении полукокса, оказывали весьма существенное влияние на развитие дела газификации.

Кроме того, нужно принять во внимание, каким темпом протекает это развитие и учесть возможно ли общее решение вопроса, применимое во всех случаях. С другой стороны, мы должны считаться с тем, что неспекающиеся каменные угли Саарской области и Верхней Силезии, ранее преимущественно применявшиеся для газификации в рейнско-вестфальском промышленном районе, в будущем будут полностью или частично исключены из эксплоатации газоцентралей. Замена их буроугольными брикетами ограничена тем, что хорошие теплоплотные бурые угли относительно редки, газификацию же низкосортных бурых углей со значительной влажностью надлежит считать задачей, к сожалению, еще не вполне разрешенной. Отсюда следует, что в будущем газификация спекающихся каменных углей должна привлечь больше внимания, чем до сих пор. Между тем, как с 1900 г. буроугольный брикет в Германии постепенно вытеснил каменный уголь как топливо для газогенераторов даже в собственно каменноугольных районах, в наступающем периоде должно иметь место обратное явление [1].

[1] До последнего времени (1932 г.) развитие газификации бурых углей в Германии прогрессирует: в 1931 г. д-ром Альнером разрешен вопрос получения из бурого угля высококалорийного газа с применением ретортных печей и отъемом газа из средины реторты на разных глубинах (установка в Касселе дает уже свыше 1 млн *куб. м* в год газа в 3 800 — 4 000 *кал.*, вводящегося в городскую сеть). Проф. Франк в Галле применил печи системы Дидье для той же цели, промывая при этом газ в колонке Рашига содовым раствором (снижается содержание CO_2 с 22,8 до 9,4%); калорийность газа после промывки 4 300 (до промывки 4 100); содержание CH_4 — 20,1%, CO — 11,9%, H_2 — 49,8%, C_nH_m — 4,8%, $N_2 + O_2 = 4{,}0\%$. См. A. Thau, Gas aus Braunkohle № 17, «G. W. F.», 1931.

На установке в Галле были между прочим проведены опыты проф. Франка по газификации наших торфов. См. также A. Faber, «Braunkohlengeneratorgas», 1928. Ред.

Мы должны поэтому проработать вопрос газификации спекающихся каменных углей таким образом, чтобы удовлетворить требованиям как настоящих производственных условий, так и будущих, последние же характеризуются следующими показателями: высокая зарплата, уменьшение тяжелой работы, недостаток квалифицированной рабсилы, трудности непрерывного обслуживания. Кому при этом не придут в голову американские условия. Поэтому мы должны подвергнуть обязательному исследованию вопрос о развитии американского газогенераторостроения.

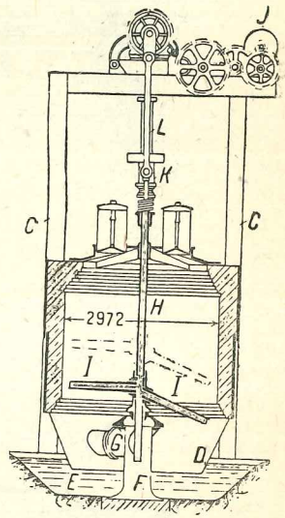
Америка известна, как страна механизации. Поэтому удивительно, что в ней чрезвычайно медленно укоренялся тип газогенератора с вращающейся решеткой. Там уже раньше было обращено внимание на легкое и по возможности автоматическое золоудаление, а также на автоматическую загрузку (см. известные конструкции Тейлора, Моргана и др.) [1], но вращающуюся решетку мы едва ли встретим до начала войны. Объясняется это двумя обстоятельствами, являющимися определяющими моментами в Соединенных штатах.

Там рассчитывают на:

1) дешевые угли, поэтому потери топлива с золой не являются важными;

2) неквалифицированную рабочую силу, — это создает угрозу сжигания решетки и других находящихся в огне частей, а также вообще возможность неправильного обслуживания.

Очень распространенной является автоматическая загрузка (конструкция Моргана) и уже сравнительно рано мы встречаем попытки устройства автоматических мешалок и шуровочных приспособлений [2]. Старейшая конструкция Тальбота (Talbot, 1897) и соответственно Фрезер-Тальбота по фиг. 98 уже имеет охлаждаемую водой ось, помещенную по срединной линии (оси) газогенератора, и снабженную горизонтальными или слабо наклоненными лапами; это размешивающее устройство приводится в непрерывное движение, чтобы перемешивать топливный слой [3]. Однако эта конструкция не привилась и никогда не получала значительного распространения вследствие значительного потребления энергии, частых поломок и эксплоатационных трудностей.



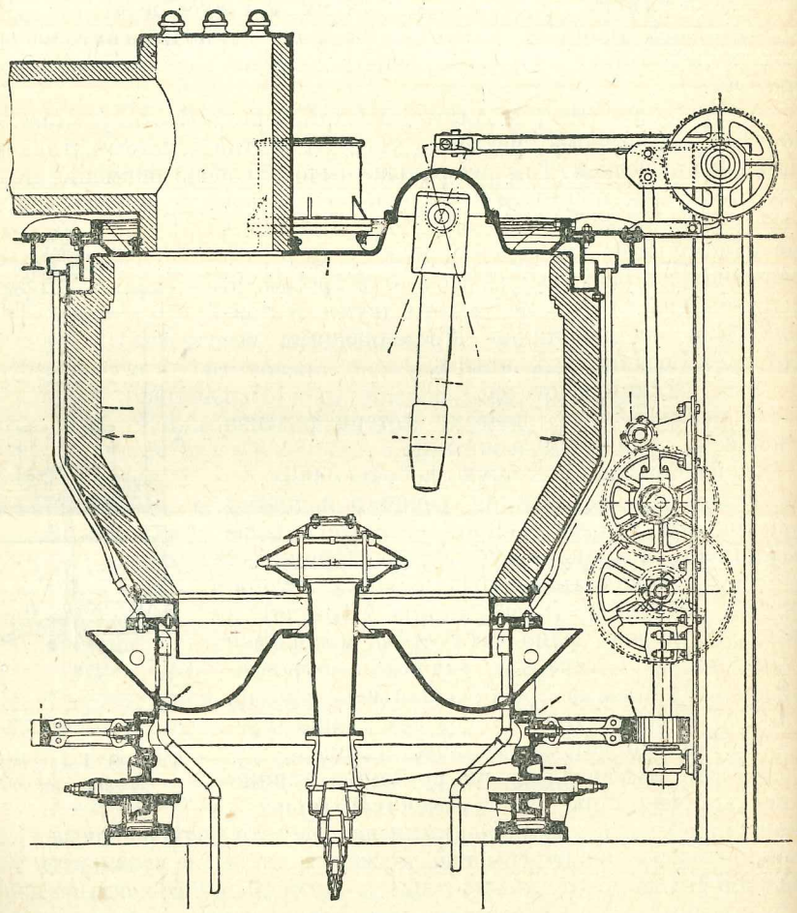
Фиг. 98. Газогенератор Фрезер Тальбот.

[1] Körting, Uber Gasgeneratoren, «St. u. E.», № 20, 1907.

[2] Denk, Die Entwicklung der amerikanischen Gaserzeuger, «F. T.», Jg. 2, Seite 218.

[3] Кроме того, Тальботом была предложена конструкция газа с вращением шахты и выдвижной дутьевой штангой, поставленной в средней части шахты (см. Германс, Gasgener u. Gasfeuer., 2-е изд.). Ред.

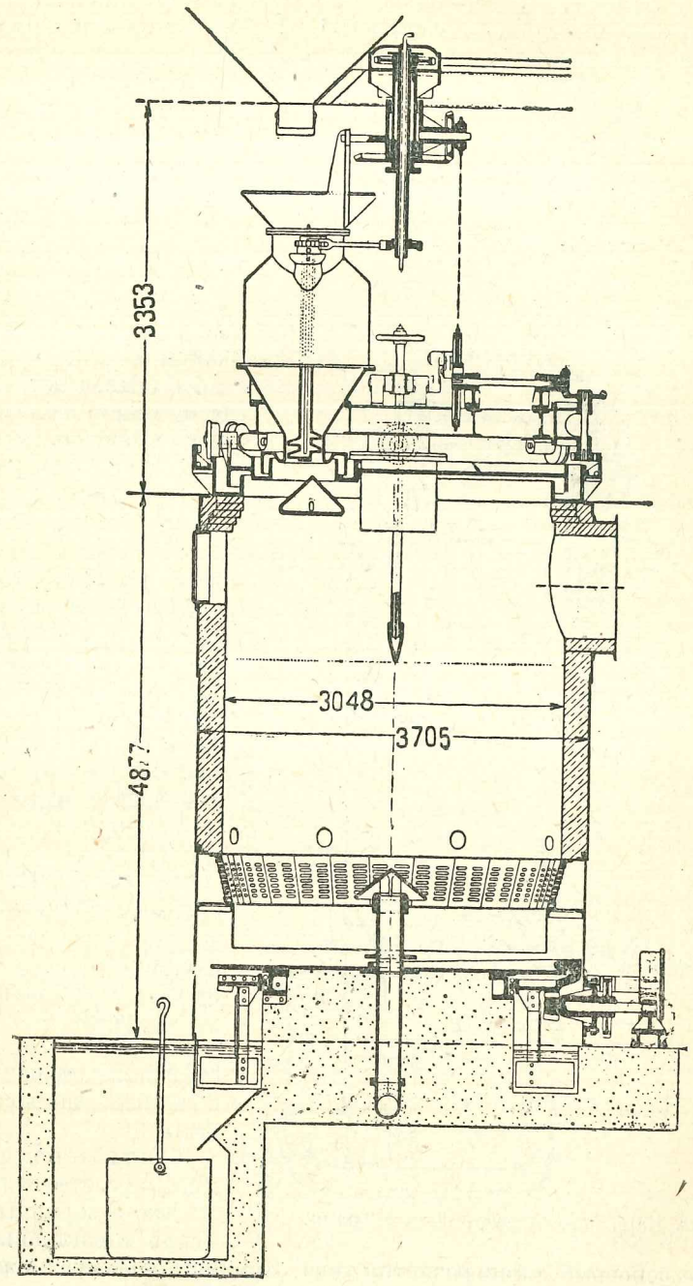
Наоборот, конструкция Юза [1] получила широкое распространение. В этом газогенераторе в перекрывающем своде укреплена также снабженная водяным охлаждением размешивающая лапа — агитатор, — шахта же со всем содержащимся в ней топливом вращается. Агитатор сам может быть приведен в качательное движение при помощи пальце-



Фиг. 99. Газогенератор Юза.

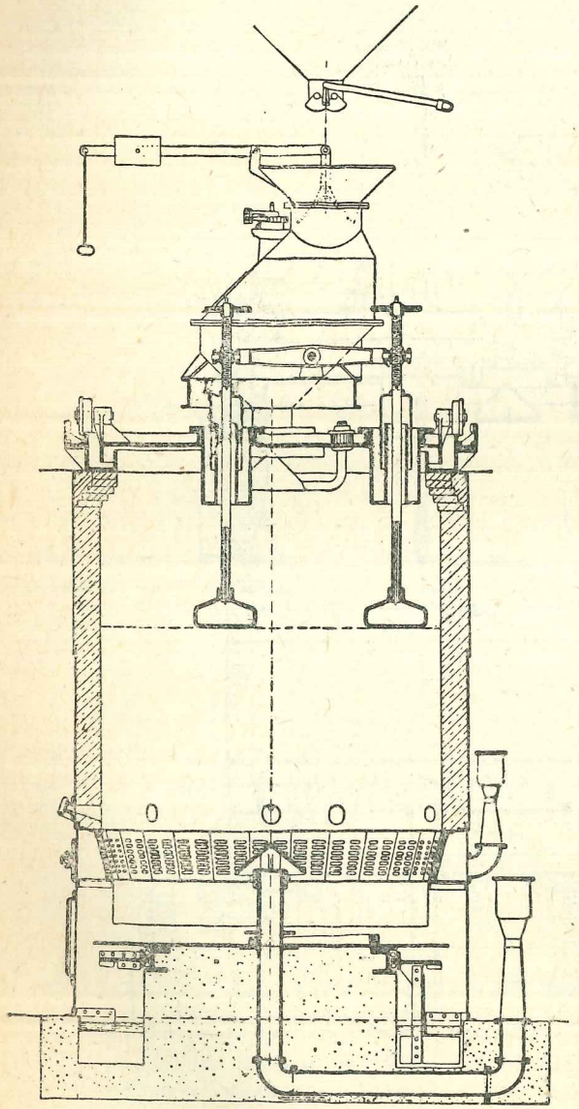
вого сцепления, так что в течение одного оборота шахты все частицы угольного слоя могут быть затронуты. Фиг. 99 дает конструкцию этого газогенератора и позволяет очень хорошо уяснить способ его работы. Сходной с шуровочным устройством Юза является конструкция Моргана. В последние годы перед войной были разработаны новые конструкции, как например, газогенератор системы Фортер-Трамп [2] (Forter-

[1] Quasebarth, Der Gaserzeuger von Hughes, «F. T.», Jg. 1.
[2] По «F. T.», 1913/14, стр. 220.



Фиг. 100 а. Газогенератор Фортер—Трамп.

Tramp), представленный на фиг. 100а и 100б, а также газогенератор Чепмана, изображенный на фиг. 101 [1]. Первая конструкция имеет вращающийся потолочный запор, с загрузочной воронкой и шуровочными устройствами. Последние состоят из двух охлаждаемых водой ножевидных, эксцентрически расположенных мешалок, которые при движении крышки генератора движутся вверх и вниз, врезаясь при этом в топливный слой и разбивая при этом образующиеся корки кокса. Оба шуровника описывают при вращении кругообразное движение, причем путь одного находится ближе к средине, другого же—ближе к краю. Шуровники могут работать по требованию глубже или выше и могут быть использованы при правильном устройстве также и для разравнивания топлива. Конструкция Чепмана не имеет собственно мешалки, но производит при помощи вделанного в крышку планирующего устройства в соединении с вращением шахты хорошее разравнивание (фиг. 101). При непрерывном движении встречающиеся более крупные куски угля раздробляются, причем разрушаются и образующиеся коксовые мостики, так что эта конструкция дает значительное облегчение шуровочной работы.

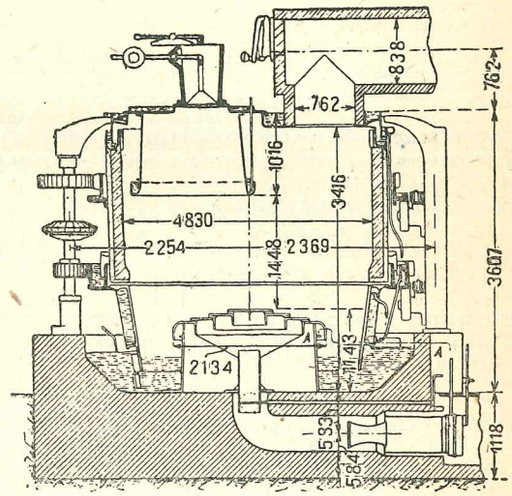


Фиг. 100 б. Газогенератор Фортер-Трамп.

Описанные конструкции представляют собою только избранные и особенно характерные формы, дающие основные линии развития типа. При беглом обзоре американской патентной литературы мы видим насколько большим вниманием пользовалось развитие этой системы. В самом деле, не менее 70% всех поставленных до войны газогенераторов было снабжено механической шуровкой. Наиболее применялась конструкция Юза; состав получавшегося в различных конструкциях и при различных топливах (обычно рядовой уголь) газа колебался незначительно, а именно в границах:

$$5 - 7\%\ CO_2 \qquad 11 - 13\%\ H_2$$
$$21 - 24\%\ CO \qquad 2{,}5 - 4\%\ CH_4$$

Для характеристики производственных отношений могут служить следующие соображения. Стоимость угля обычно была низкой. Стоимость самого газогенератора была примерно в 1,35 раза выше, чем в Германии. Ремонт был также дорог, как вследствие более высокой стоимости сменяемых деталей, так и вследствие более высокой стоимости монтажа. Длительность работы размешивающих рычагов (агитаторов) была очень ограничена. Несмотря на это, мы встречаем всеобщее применение этих механических устройств, так как зарплата в 2,5 раза выше, чем в Германии, и, кроме того, приходится рассчитывать только на неквалифицированную рабочую силу, так как на эту тяжелую работу можно было найти обычно лишь недавно ввезенных в округ рабочих. На одном заводе, имевшем в производстве газогенераторы с механическим шурованием и без него, были получены следующие показательные данные (в центах):



Фиг. 101. Газогенератор Чепмена.

	Газогенераторы	
	Дуффа	Юза
Стоимость на 1 *m* ремонта .	4	14
Зарплата по обслуживанию газогенератора	24	6
Итого	28	20

На заводе один человек обслуживал 6 газогенераторов Юза или 2 газогенератора Дуффа, причем при одинаковых размерах шахт пропускная способность первых — была 16 *m*, и вторых 10 — 12 *m*.

Мы имеем теперь высокую зарплату. К тому же шуровки вовсе не являются привлекательной работой. Поэтому является вполне своевременным исследовать вопрос, могут ли подобные механические устройства быть введены у нас в наших настоящих условиях.

За основу расчета могут быть приняты производственные данные по различным установкам с вращающейся решеткой, собранные автором

[1] По «F. T.», 1913/14, стр. 240.

при различнейших условиях работы. Эти данные относятся к довоенному времени и для настоящего времени слишком низки. Но для сравнения они чрезвычайно удобны, особенно вследствие их точности.

Таблица 29

Эксплоатационные расходы при газогенераторах с вращающейся решеткой

Элементы расхода	Газифицируемое топливо		
	Бурый уголь	Тощий каменный уголь	Спекающийся каменныйуголь
	Марок за тонну		
Зарплата по газогенератору	0,210	0,648	1,97
» » золоудалению	0,055	0,061	
» прочая	0,028	—	
Ремонт { зарплата	0,227	0,425	
Ремонт { материал	0,127		
Обмуровочные и смазочные материалы	0,064	0,088	—
Электроэнергия	0,175	0,252	0,103
Пар	0,318	0,247	1,048
Вода	0,007	—	--
Расходы брутто	1,211	1,721	3,121
Амортизация и проценты на капитал	0,52	0,85	1,55
Контроль состава газа, содержание лаборатории и т. д.	0,08	0,14	—
Стоимость газификации 1 *т*, марок	1,811	2,711	4,671
Выход газа на 1 *т*, *м*³	2 000	3 200	3 600
Стоимость газификации 1 *м*³, марок	0,09	0,085	0,13

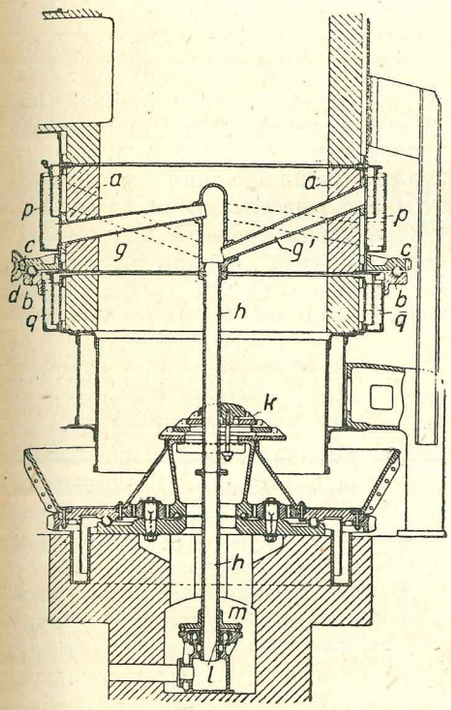
При этом можно для последнего случая принять, что около 1,10—1,20 марки идут на зарплату по газогенератору, а остальное — на зарплату по ремонту и пр. Цифра 1,55 марки включает не только амортизацию и проценты, но и стоимость ремонта (материал), обмуровочные и смазочные материалы и общие расходы.

Приведенное сопоставление наглядно показывает сравнительные свойства различных топлив и, в особенности, зависимость зарплаты от вида топлива. Если мы, чтобы получить сравнимые цифры, выведем данные о стоимости такого чистого обслуживания по расчету на 1 *м*³ газа, то увидим, что они колеблются от 0,01 пфенига для бурых углей до 0,03 пфенига для спекающихся углей. Разница достигает, таким образом, тройной величины. Нужно, однако, иметь в виду, что многие заводы показывают еще более высокую долю зарплаты, так как обычно делают расчет на обслуживание одним обученным работником одного газогенератора с 15 *т* суточной производительности на каменном угле. Можно бы полагать, что в связи с этим будет достигнут по меньшей мере более удовлетворительный состав газа, однако этого почти не наблюдается. Как среднее из большого числа анализов при газификации каменных углей на различных установках, можно считать:

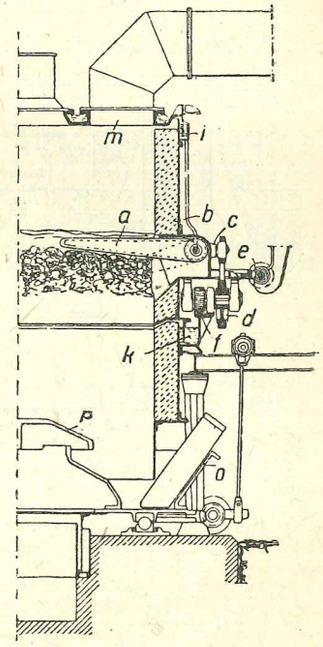
5% CO_2 12 — 13% H_2
23 — 24% CO 2 — 3% CH_4

При этом на многих заводах состав газа бывает значительно хуже. Во время войны условия были вообще менее благоприятны. В настоящее же время почти невозможно найти достаточно обученную рабочую силу для обслуживания газогенераторов. Поэтому облегчение обслуживания означает большую помощь не только самому заводу, но и непосредственно занятым на производстве рабочим.

Современное состояние этих экономических соотношений еще не привело к техническому развитию, достаточному для их преодоления.



Фиг. 102. Газогенератор с механической мешалкой Гуте—Хофнунге—Хютте.



Фиг. 103. Шуровочный механизм Петтер.

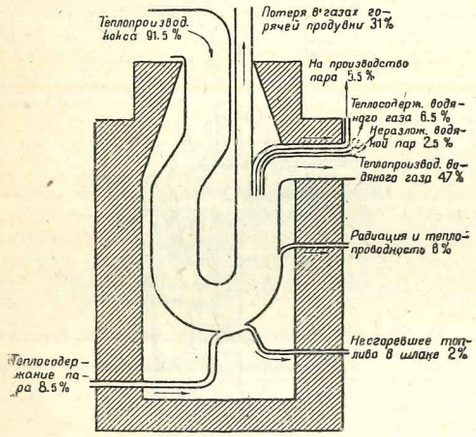
Однако в Германии уже ранее занимались этим вопросом. Так, в патенте Виденбрюга (Wiedenbrug, 76967, 1894) было предложено применение падающей кочерги для шурования и раздробления коксовых корок. Подобная же идея положена в основание патента Голля (D. Hall, D. R. P. 77554, Чикаго).

Значительное сходство с конструкцией Тальбота имеет D. R. P. 229879, 1909 Гуте-Хофнунгс-Хютте, представленный на фиг. 102. Более удачной конструкцией представляется газогенератор Петтера (D. R. P. 283196, 1913), показанный на фиг. 103. Оба они не требуют каких-либо пояснений. Достойны упоминания также более простые устройства Дихмана (Dichmann, D. R. P. 238597, 1911) и Эйермана (Eyermann, 291225, 1913), которые, однако, еще требуют значительной ручной работы. В соответствии с американским опытом можно во всяком случае утверж-

дать, что горизонтально работающие мешалки не будут иметь полного успеха, и вертикальное их движение является предпочтительным, если одновременно осуществляется какое-либо разравнивающее приспособление. В этом отношении мы должны еще раз указать на предложения Копперса. Большие возможности в этой области представляет конструкция Фортера-Трумпа, дальнейшее развитие которой является очень желательным [1].

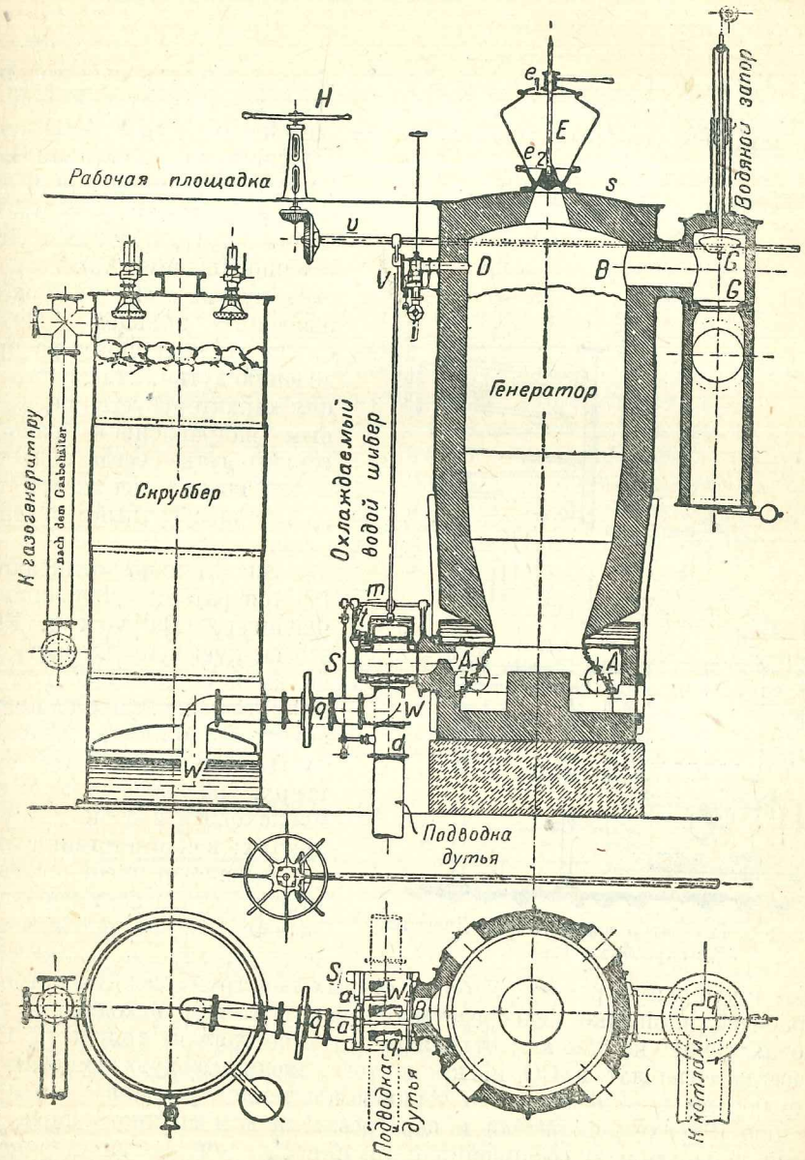
з) Газогенераторы для водяного газа, для двойного газа; газогенераторы — паровые котлы

Для получения водяного газа, так же как для всасывающих установок, обычно применяются простые газогенераторы с плоскими решетками. Часто даже ограничиваются опорой топливного слоя просто на шахтный под, так как при высокой температуре процесса легко образуются зашлакования и весьма страдает решетка. В соответствии с характером процесса генераторы водяного газа должны строиться на высокое давление дутья; кроме того, должно обращать особое внимание на качество и высокое рабочее сопротивление запорных частей, переключающих устройств и на особую плотность пригонки частей аппарата, обеспечивающую газонепроницаемость. Поэтому как для верхних загрузочных отверстий (загрузочных воронок), так и для шлаковых дверец применяют обычно запорные устройства системы Мортона, удаление шлака производится при помощи вспомогательной решетки и является чрезвычайно трудной операцией. В больших газогенераторах требуется для этого 4 чел. и время $^1/_2$—1 час. Для малых аппаратов — 1—2 чел. Операция должна повторяться каждые 6, 8 или самое большое —10 час. Частые операции со шлаком обусловливают большие потери в золе, так что тепловой баланс процесса практически является неудовлетво-



Физ. 104 Тепловой баланс процесса получения водяного газа.

[1] Из более новых конструкций, не вошедших в работу Тренклера, надлежит выделить применяемый в нашей стеклопромышленности газогенератор Вельмана (Wellmann, Англия). Генератор является полностью механизированным: автоматическая загрузка, механический агитатор с охлаждением водой, вращающийся корпус. Очень полезен для газификации спекающихся углей. Фирма выпускает 2 размера газеров: диаметром 2,4 *м* (L-8, суточная производительность 15 — 25 *m*) и диаметром 3,0 *м* (L-10, суточная производительность 24 — 40 *m*, «Engineering», 1925 г., 9 января). Проф. Н. А. Костылев, Тепловые расчеты. Газогенераторы, изд. 3-е, Томск, 1931. N. E. Rambush, Modern Gas Producers. Интересен также новый механизированный газер фирмы Дуфф, снабженный механической разравнивающей топливный слой мешалкой («Chimie et Industrie» № 3, 1932, стр. 560). Гильгер также взял патент на газер с вращением шахты (см. у С. Ф. Фролова стр. 37, у Германса стр. 83). Ред.



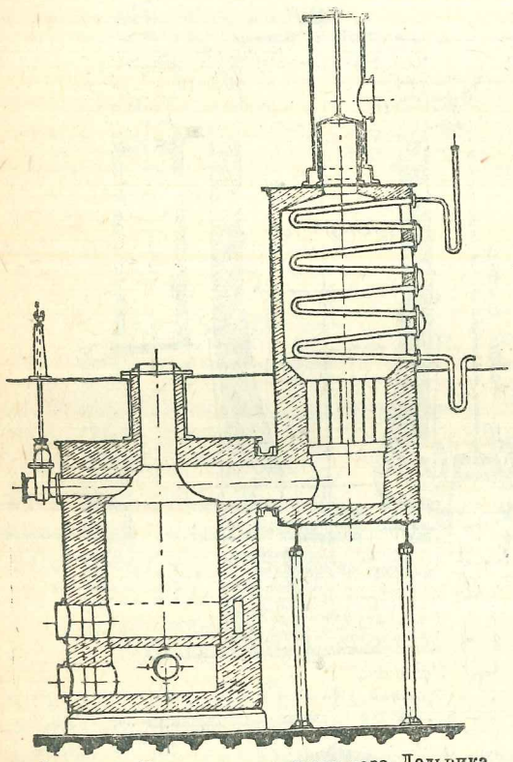
Фиг. 105. Установка для водяного газа по Бласу.

рительным, как можно видеть на схеме 104, составленной проф. Карлом Бунте [1] (Prof. Dr. Karl Bunte); при этом нужно заметить, что часто потери в шлаках бывают еще выше, и, кроме того, теплосодержание водяного

[1] «Die Wärmewirtschaft auf Gaswerken», «I. f. G.», 1920, стр. 477.

газа, а также неразложившегося водяного пара теряется при последующем охлаждении и очистке газа.

Чтобы предупредить образование шлаковых настылей на стенах шахты, часто устраивают в нижней части шахты охлаждающее кольцо, как это показано на фиг. 105, представляющей газогенератор Европейского акц. о-ва Газовых установок (Europäische Wassergas A-G), конструкция, разработанная Бласом (Blass) и принятая к выполнению многими фирмами (Pintsch A-G, Warsteiner Gruben und Huttenwerke). Устройство отступа стенки под охлаждающим кольцом способствует равномерному распределению дутья. Эта конструкция характеризуется переменным направлением работы: горячее дутье всегда подается снизу вверх, ход газа и пара всегда обратный — сверху вниз.



Фиг. 106. Генератор водяного газа Дельвика с парообразователем.

Значительно отличаются газогенераторы Дельвика и Флейшера (Dellwick u. Fleischer), имеющие плоскую решетку и работающие как по прямоточному, так и по противоточному принципу. Горячее дутье здесь также идет снизу вверх, но газование может происходить в обоих направлениях; в соответствии с этим газогенератор имеет два газоотвода, что делает необходимым центральное переключающее устройство, чтобы обеспечить правильную работу. У более старых конструкций была устроена на рабочей площадке непосредственно над вентилем отходящего газа дымовая труба; но так как отходящие газы состоят не только из CO_2, но всегда содержат и CO и, кроме того, имеют высокую температуру, то пробовали использовать это теряющееся тепло, устраивая по предложению Штрахе испарители и перегреватели для водяного пара. Подобный испаритель в соединении с газогенератором Дельвика показан на фиг. 106. Таким путем возможно сберечь значительные количества топлива, потребные в ином случае для нагревания испарителя [1].

[1] Газогенераторы Дельвик-Флейшер получили большое распространение в СССР на гидрогенизационных заводах жировой промышленности. См. Е. К. Машкилейсон, Гидрогенизация жиров, 1931. Необходимо, однако, отметить чувствительность этой конструкции к качеству горючего, из-за чего этот тип был снят с эксплоатации на Франкфуртском газовом заводе (см. «G. W. F.» 1926, стр. 546). Ред.

В последнее время стали применять и в генераторах водяного газа конструкции с вращающимися решетками. Действительно, именно в этом процессе можно ожидать значительных преимуществ от механических решеток, так как здесь имеют серьезное значение и сама работа по частому и тяжелому удалению шлаков, и связанные с этим потери. Правда, применение вращающейся решетки вначале вносило известные трудности, так как гидравлические запоры не могли быть приспособлены к высоким давлениям дутья — до 600 *мм* вод. ст. и выше. Поэтому введение вращающейся решетки могло быть произведено только с одновременным устройством сухого золоудаления (стр. 182). Особенные заслуги в этой области имеют фирмы Бамаг и Пинч. Введение вращающихся решеток позволило значительно повысить — почти удвоить — производительность старых конструкций газогенераторов, дававших 180—200 $м^2$ водяного газа — на 100—120 *кг* кокса в час.

Технические трудности установок водяного газа по меньшей мере настолько же связаны со вспомогательными устройствами, как с самой конструкцией генератора. Однако в объеме этой работы мы не можем касаться ближе этих деталей (например, переключающих устройств, паровых задвижек, очистительных и карбюрирующих устройств) [1]. Тем более, что мы должны еще рассмотреть конструкции, предназначенные для применения в процессе получения водяного газа вместо кокса — естественных топлив [2]. Сюда в первую очередь относится разработанный Штрахе и в 1913 г. испытанный в Бергедорфе около Гамбурга генератор

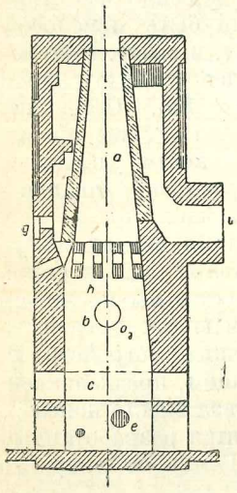
[1] «Handbuch der Gastechnik», Bd. G. Oldenbourg.

[2] Обширный материал по получению водяного газа из битуминозных углей собрал I. Gwosdz («G. W. F.» № 51, 1928 г., для характеристики соотношения между работой на коксе и на каменном угле приведем следующие эксплоатационные показатели (газер диам. 3,0 *м*):

Эксплоатационные факторы	Получение водяного газа	
	из кокса	из битумин. углей
Длительность рабочего цикла в сек.	282	228
Продолжительность горячего дутья в % от цикла	25	33
Воздушное рабочее дутье	—	3
Паровое дутье	75	61
Продувка (ausblasen) в сек.	—	30—37
Обратный газ—в % от паров. дутья	50	40
Расход дутья в $м^3$/*мин*	390	230
Средний расход пара в *кг*/*мин*	75	82

Возрастающее значение водорода для химической промышленности делает целесообразным использование и кокса для получения водяного газа. Так Штедингом предложен в последнее время даже способ получения водяного газа в самой коксовой установке пропусканием водяного пара в кокс после окончания отделения дестилляционных газов, что дает в общем максимальный выход водорода (Dr. A. Steding, Бохум; «G. W. F.», № 16, 1931), «Wassergasgewinnung im Horisontal-Grosskammerofen»), см. Л. Ф. Фокин, Синтез аммиака и органических продуктов из коксового и водяного газа. Этот метод учтен уже соответствующими конструкциями коксовых печей Отто, на Штутгартском газовом заводе, на Vereinigte Stahlwerke и др. (см. «Chimie et Industrie», № 4, 1933, стр. 990); об аналогичном методе

двойного газа, показанный на фиг. 107. Эта фигура позволяет легко воспринять как основную идею конструкции, так и разрешение задачи; непосредственно над газогенератором устраивается реторта, нагреваемая имеющими высокую температуру отходящими газами горячей продувки, проходящими вокруг наружных стенок реторты; в этой реторте происходит коксование [1] угля, прежде чем он достигнет шахты генератора. Выше отверстия, соединяющего шахту генератора с обогревающими реторту каналами для ввода в них газов горячей продувки, устроен подвод вторичного воздуха, чтобы полностью дожечь содержащие CO отходящие газы. Дестилляционный газ (газ сухой перегонки) выходит из реторты в верхней ее части рядом с питательной воронкой, причем отвод его регулируется так, чтобы газы горячей продувки одновременно не проходили через реторту.



Фиг. 107. Генератор двойного газа Штраха.

Газификация происходит в этом газогенераторе в том же направлении, как и горячая продувка — снизу вверх, и водяной газ проходит через реторту, чтобы ускорить коксование топлива и чтобы отвести дестилляционные газы. Первые же опыты доказали практическую выполнимость этого способа, так как коксование при таком внутреннем нагреве заканчивается почти в течение 2 час., в то время как в реторте, обогреваемой снаружи, оно требует по меньшей мере от 4 до 6 час. К сожалению, мало подходящие производственные условия (прерывающийся процесс) обусловили неудачу опытов и помешали развитию конструкции. Опыты в Зиммеринге (Вена) в 1916 г. все же оправдали ожидания, связанные с этим процессом, и новая конструкция генератора двойного газа (фиг. 108) дала удовлетворительные результаты, приведшие в период топливного голода, после войны, к постройке дальнейших

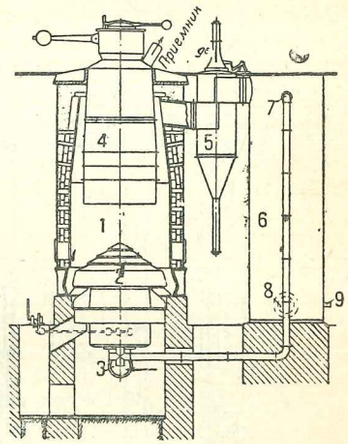
Ф. И. Коллина (Дортмунд) см. у G. Gekel, Gas World, 3, XII, 1932 г., стр. 12, «Бюллетень ВТИ» 24, 1932, стр. 40.

Подробнее о работе с двойным водяным газом см. И. Гвоздь, Rückgewinnung der Abhitze und die Wärmebilanz bei Kohlenwassergasanlagen, «W.» № 15, 1930; И. Гвоздь, Kohlenwassergas, 1930; C. Lanthaler, Generator für Doppelgas, «F. T.» № 21, 1928.

Основные трудности при переходе от кокса к работе на более дешевом битуминозном топливе были охарактеризованы еще Оделлем (амер. «G. J.» № 6, 1924), отметившим следующие отрицательные моменты: 1) усиление нашлакований, 2) большее сопротивление слоя, 3) значительно меньшую производительность (почти вдвое), 4) повышение теплопроизводительности газов горячей продувки за счет полезного газа, 5) повышение затраты топлива не только на 1 *м*³ газа, но и на 1 000 *кал*; часть этих затруднений может быть устранена подбором надлежащего режима. В частности, Оделль сделал интересное предложение, облегчающее работу на спекающихся углях (Simplex-verfahren, английский патент 1379038, 1924): добавляют в горячее дутье немного пара, а в паровое — немного воздуха (как в тригаз-процессе); это смягчает процесс, предупреждает шлакование и удлиняет рабочий период — продувку до 5 мин. и газование — до 15 мин. (см. W. B. Davidson, Gas Manufacture, 1923). Ред.

[1] Вернее, полукоксование. Ред.

установок этого типа, хорошо себя зарекомендовавших экономически. В этих новых конструкциях [1] наружный обогрев реторты устранен в связи с производимым отъемом смолы и физическое тепло газов горячей продувки используется в присоединенном перегревателе. Далее, здесь уже не заботятся вовсе о предотвращении прохода газа горячей продувки через реторту, так как ухудшение состава газа вводимым при этом азотным баластом незначительно, если периоды горячей продувки длятся, как это и выполняется практически, всего лишь 1—2 мин. против 6—8 мин. периода газификации [2]. Для низкосортных топлив оказалось, что физическое тепло водяного газа недостаточно для дестилляции и необходимой просушки сырого топлива; с этим можно бороться путем возможно более сильного перегрева пара; но проще проводить через реторту часть газа горячего дутья (соответствующего по составу воздушному газу). Что это делается на самом деле, доказывают как анализы существующих установок двойного газа, так и последующий подсчет термических соотношений.

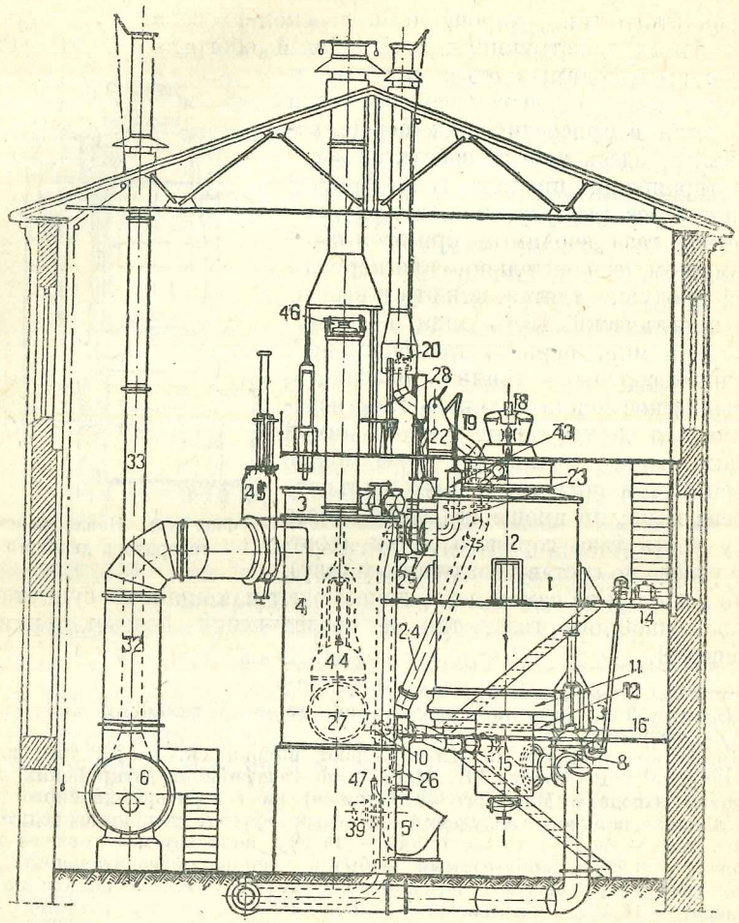


Фиг. 108. Новая конструкция генератора двойного газа.

[1] Strache, Das Doppelgas und seine Verwendung in Gaswerken, «J. f. G.», 1920, стр. 230.

Новые конструкции по Штрахе дают высокие к. п. д.; так, в опытах проф. Штрахе и Р. Микша (R. Miksch) по газификации штирийских лигнитов на газовом заводе в Марбурге (Югославия) на генераторе двойного газа системы Штрахе получен следующий полезный эффект: теплопроизводительность двойного газа — 44,1%, то же смолы — 14,1%, используемое горючее в шлаке и провале — 3,2%, используемый избыток теплопроизводительности генераторного газа сверх идущей на парообразование (уголь сушился по методу Флейснера) — 16,4%, использование физического тепла генераторного газа и отходящих газов — 5,7%, всего 83,5%, хотя собственно к. п. д. газификации (химический) весьма невелик — 44,1% или со смолой — 58,2%. Плауенская установка (см. ниже), работающая с карбюрацией (фиксир-камерой), дает значительно больший к. п. д. газификации — 54,66% (термический — невысок — 71,7%), при выходах в 1,1—1,4 *м*³/*кг*. О к. п. д. установок Пинча см. Dr.-Ing. Schroth, «G. W. F.», 24/VII 1930, стр. 18. Интересные конструкции двугазеров для небольших газовых заводов дали: Стассфурт (легко обслуживаемый газер, газ в 3 000 *кал*, см. A. Schäfer u. E. Langthaler, «Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes», 1929, стр. 350), Мур (Moore, англ. «G. J.», 17/VII 1929, стр. 135), Гертей и К⁰ (ранее Гертей и Соважен, конструкция сходна с Тулли). Патент Штрахе используется в Австрии фирмой Vergasungs Industrie A. G. Вена (о ее конструкциях см. у Н. Н. Гаврилова, Вопросы химико-энергетического использования торфа, 1931; в Германии по патенту Штрахе работает A.-G. für restlose Vergas., см. Gwosdz, стр. 43); детальное исследование газера A. G. f. r. V. в Вейзенау проведено K. Bunte (Газовый институт в Карлсруэ), см. «G. W. F.» 18/VI 1927, стр. 617. Ред.

[2] В одной из последних установок для получения «угольного водяного газа» (Kohlenwassergas, наш термин — двойной водяной газ), Газового завода в Плауене (дир. д-р Мюллер), поставленной фирмой Ю. Пинч, рабочий период доведен до 10 мин., при горячей продувке в 2 мин. Для повышения

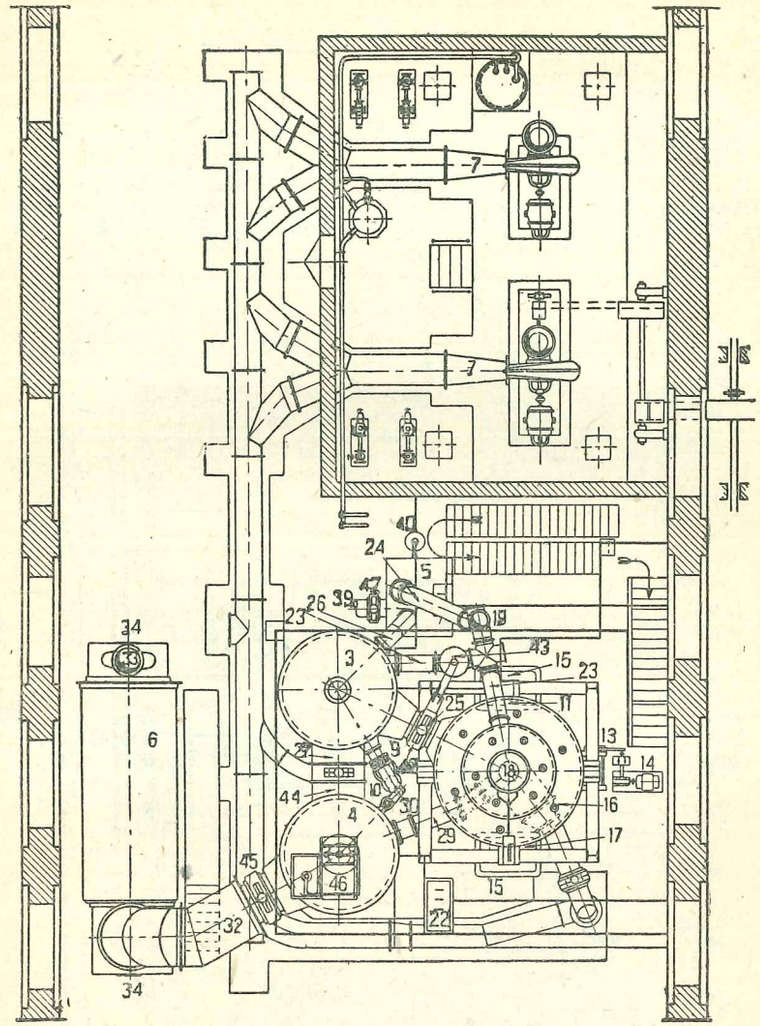


Фиг. 108а.

Фиг. 108 а—г. Установка фирмы Е. Пинч для получения двойного водяного газа на газовом заводе в Плауене.

Обозначения к рисункам 108 а, 108 б и 108 в:

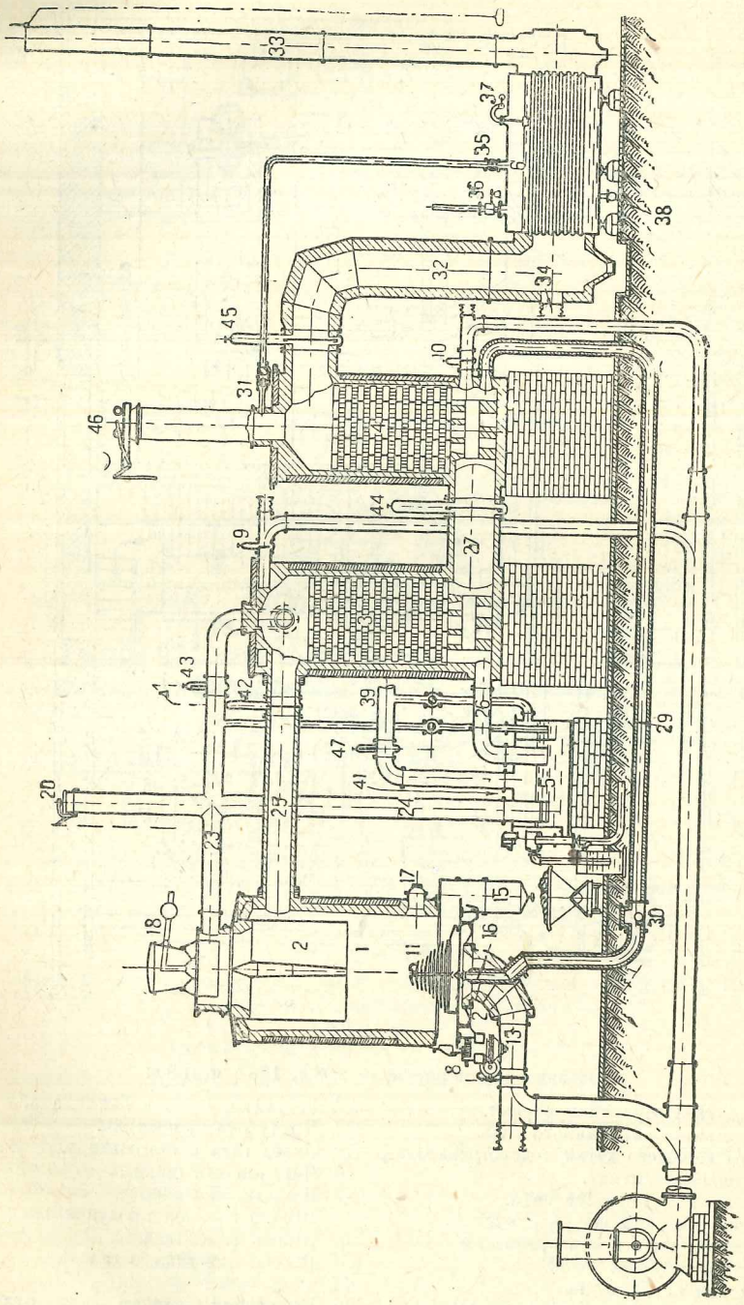
1. Газогенератор (20 тыс. *м³/час*).
2. Швельреторта.
3. Карбюратор (фиксир-камера) — крэкер.
4. Перегреватель.
5. Гидравлический затвор.
6. Котел на горячей продувке (150 *м²*, 10 *ати*).
7. Вентилятор для дутья (240 *м³/мин*).
8. Дутьевой шибер газера.
9. „ „ карбюратора.
10. „ „ перегревателя.
11. Вращающаяся решетка.
12. Опорное кольцо решетки (круговой рельс).
13. Привод решетки.
14. Мотор решетки.
15. Шлаковый бункер.
16. Дутьевой штуцер с подводом перегретого пара.
17. Шлаковый люк.
18. Загрузочное устройство.
19. Вентиляционный (воздушный) отвод.
20. Вентиляционный (воздушный) клапан.
21. Вентиляционный шибер.
22. Станок для переключающихся задвижек.
23. Отвод швельгаза.
24. Обводная линия для выключения карбюратора.



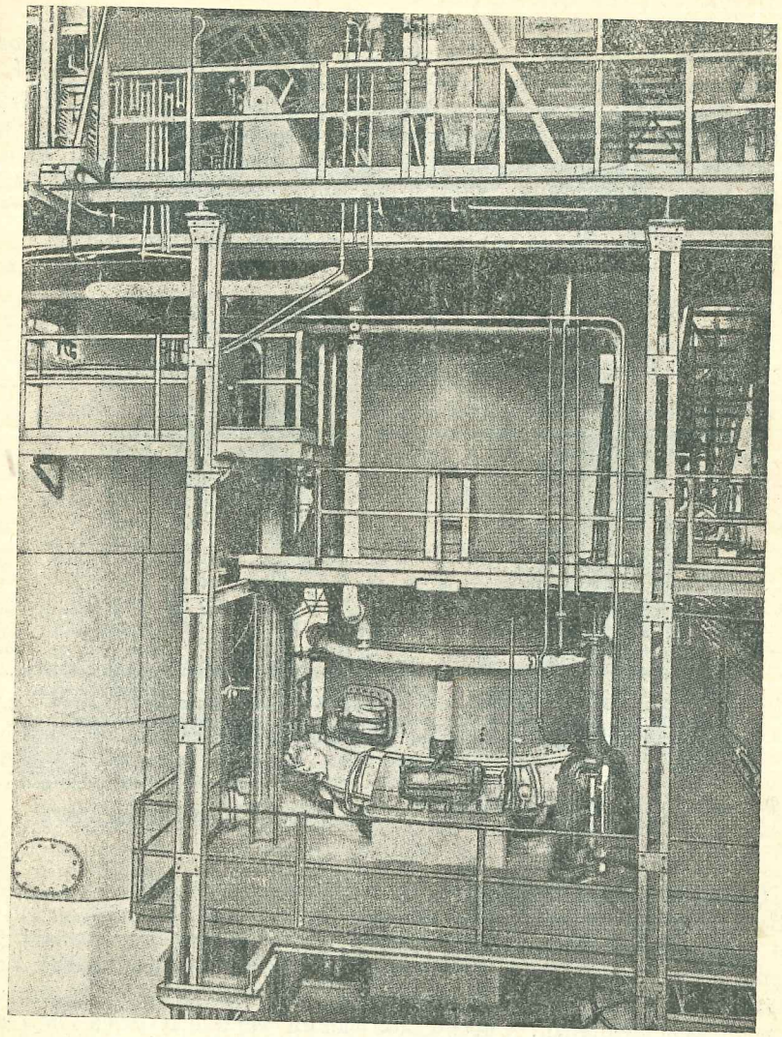
Фиг. 108 б.

Обозначения к рисункам 108 а, 108 б и 108 в:

25. Отвод газа горячей продувки.
26. Отвод карбюрированного газа.
27. Отвод горящего дутья в перегреватель.
28. Контрольный пункт.
29. Подводка перегретого пара.
30. Автоматический шаровой клапан.
31. Подводка пара к перегревателю.
32. Отвод отходящих газов.
33. Дымовая труба котла.
34. Предохранительный клапан (газовый).
35. Пароотборный вентиль.
36. Предохранительный клапан (паровой).
37. Регулятор уровня Ганнемана.
38. Продувочный вентиль.
39. Отвод газа к газгольдеру.
40. Перелив для смолы.
41. Воздушный шибер.
42. Шибер горячей продувки.
43. Шибер швельгаза.
44. Шибер отходящего газа I.
45. „ „ „ II.
46. Выпускной клапан для отходящего газа.
47. Запорный шибер приемника.



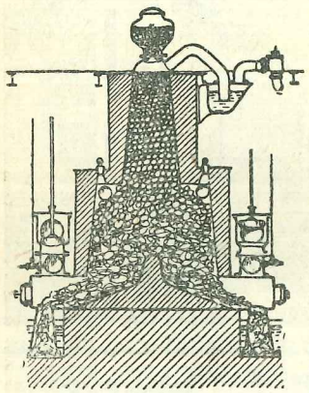
Фиг. 108 в.



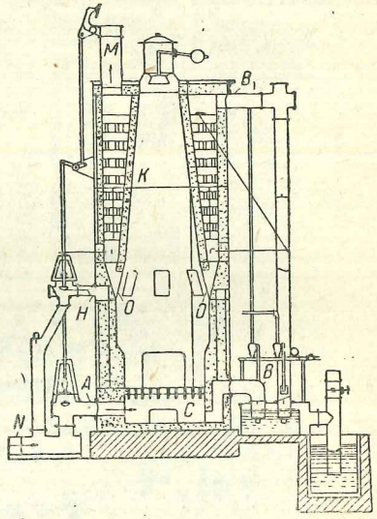
Фиг. 108 г.

калорийности применено карбюрирование газа крекируемой смолой (в фиксир-камере); получена теплопроизводительность на верхнесилезском угле 3 540 *кал*/*м*³. Как правило, простой двойной водяной газ имеет на 500—600 *кал* высшую теплопроизводительность, чем чистый — «синий» водяной газ («blaues Wasergas», горит синим пламенем). Описание интересной Плауенской установки см. «G. W. F.» № 8, 1931. Схема ее устройства дана на фиг. 108а, 108б, 108в, 108г. Сходный способ описан Стефаном (Stephan, «G. W. F.», 1926, стр. 521). В Америке применяют для частичной карбюрации процесс с меняющимся направлением главного хода: после нескольких рабочих периодов прямого газования дают один период обратного back run). Кроме того, для повышения к. п. д. в конце горячей продувки — за 10—17 сек. — ее газ — по составу почти нормальный воздушный газ — направляют в рабочий отвод водяного газа («дутьевой газ» — blow run, см. Haslam and Russel «Fuels and

В то время как подобное подмешивание в процессе двойного газа применяется лишь как исключение, при получении так называемого тройного газа (тригаз) по способу, разработанному Газовым об-вом Дельвик-Флейшер, оно является необходимой частью процесса. При этом способе так же применяется вращающаяся решетка, как и в новейших генераторах двойного газа, а именно даже целых две решетки, так как нижняя часть генератора делится на две отдельные шахты; горячее дутье подводится сверху вниз, и одновременно также и через разделительную стенку между обеими шахтами, как показано на фиг. 109.



Фиг. 109. Схема газогенератора тройного газа.



Фиг. 109а. Газогенератор Тулли.

Дальнейшее развитие основной идеи мы наблюдаем в патентах D. R. P. 275221, 278512, 286600, 287252 и 294333 за 1913—1915 гг. Если физического тепла водяного газа недостаточно для дестилляции, то через средние подводы воздуха присаживается добавок горячего дутья и таким образом к смеси водяного и дестилляционного газов примешивается и генераторный. Способ получения тройного газа вследствие сложной конструкции соответствующего генератора и сложности производственного обслуживания не имеет такого будущего, как получение

their Combustion», стр. 633, 1926, N. Y.; соответствует Флейшеровскому «трехчетвертному водяному газу», см. Gwosdz, стр. 15 — 29).

Описание крупных английских установок водяного газа дал Рамбуш в своем докладе на III Питтсбургской конференции (ноябрь 1931). Обычная цель установок — получение водорода (синтез аммиака). Данные по Билингэмской установке (21 газер по 55—280 тыс. *м³/сутки*): относительная стоимость единицы тепла (блаугаз = 100); полуводяной газ — 102,5; водяной газ — 130; карбюрированный водяной газ — 140; ретортный водяной газ — 155. Газеры снабжены ватержакетами, гидравлическим управлением, тейзенами, котлами на отходящих газах; загрузка — автоматическая («циклическая» — через определенные периоды, или «непрерывная» — шнеком), «G. W. F.» № 5, 1932. Ред.

двойного газа по Штрахе; в настоящее время Акц. о-во для полной (безостаточной) газификации (Франкфурт на Майне) дает конструкцию, соединяющую оба эти процесса в один [1].

Чтобы дать на примере понятие о к. п. д. генератора двойного газа, мы приведем здесь данные [2], полученные при газификации каменного угля шахты Эммагрубе в Граце. В общей сложности из 8 115 *кг* воздушносухого угля и 1 145 *кг* кокса (при заполнении располагаемого над зольным слоем) получается 12 630 *м³* двойного газа

[1] Очень интересна конструкция генератора для получения водяного газа из битуминозных углей, предложенная Тулли (Tully Gas Plant Ltd), Англия, и имеющая рекуператор вокруг швельшахты (фиг. 109а). Газер Тулли весьма распространен на газовых заводах Великобритании. См. J. Gwosdz, Die Vergasung von Steinkohle im Wassergaserzeuger, «Br. Ch.» № 8, 1931. О газерах Тулли для получения богатого CO_2 газа (для специальных целей) см. у И. Гвоздь, «Chem. Z.», 1930, стр. 529 и 550. Об установке в Мерзебурге по проф. Арендту см. Г. Доберт, «G. W. F.» № 5, 1932. О получении карбюрированного водяного газа кроме ранее указанных работ см. T. H. Madden, Manufacture and condensation of carburated watergas, «G. J.» (англ.) № 3434, 1929, А. Штейдинг, Ein neues Wassergasgenerator für karburiertes Wassergas (системы Франкфуртского газового завода) «G. W. F.» № 7, 1930. Получение двойного газа в Англии введено Гэмфри и Гласго (см. «G. W. F.» № 45, 1927, работа Нюблинга и Мецгера); в САСШ — получило применение в Чикаго (см. L. Steina, L. Willien, «Chem. a. Mett. Eng.», 1927, стр. 676, и В. Г. Фульвейлер, Труды I Питтсбургской конференции, 1926). Метод обратного газования (back-run-процесс) обязательно дополняется пропуском обратного пара не непосредственно в газер, а через разогретые перегреватель и карбюратор (очистка от сажи — Young-Whitwell-процесс); в полную схему процесса, таким образом, входят: а) прямая продувка; б) обратная продувка, в) прямое газование с введением карбюрирующего средства в случае надобности, г) обратное газование, д) прямое газование, е) продувка для очистки.

Газер Тулли является примером применения метода «циркуляционного подогрева» (Umwälzverfahren), очень важного для влажных топлив; подробные данные о процессе см. в статье инж. K. Kollinge об установке Prestongas Co, Aylesbury «G. J.» (англ.) 2/XII, 1928, стр. 673 (конструкция Траверс и Кларк). В Германии характерным примером является установка Бамаг в Познани (Газовый завод), см. И. Гвоздь, стр. 97. Автокарбюрирование (карбюрация собственной смолой, возвращаемой в газер и в нем крэкируемой, была впервые предложена Шумахером — путем простой подачи смолы в зону реакции (Франкфуртский газовый завод); простое устройство для автокарбюрации применяет A. G. f. restlose Vergas: центробежный смолоотделитель) тратит 1 *квт* на 200 *м³/час*, возвращает смолу в газер через верхнюю гидравлику, где она к тому же служит рабочей жидкостью («Genie Civil», 21/X 1925, стр. 371); повышение калорийности — около 400—500 *кал.*; см. также А. Мюллер, «G. W. F.», 1927, стр. 761.

Umwälzverfahren можно соединить с автокарбюрацией (для циркуляции при этом берут неочищенный газ, смола которого и крэкируется при подводе в слой): см. способы Нюблинга и Мецгера (Штутгарт, D. R. P. 451608, Гвоздь, стр. 104), Бамаг и английский способ с подводом циркуляционного перегретого газа не в среднюю часть шахты, а под решетку вместе с паром (установка Гэмфри и Гласго, Газовый завод в Mill Hill, работает уже несколько лет, см. у H. G. Colman, англ. «G. J.», 13/III 1929, стр. 727 и F. I. Pearce, «G. J.», 27/XI 1929, стр. 580).

Пропускная способность двугазеров обычно колеблется между 120 и 160 *кг/м² час*; см. Шрот, «G. W. F.», 24/V 1930, Леш (Lesch), «Z. d. Oester. Vereins von Gas- u. Wasserfachmannern», 1/IV 1930, стр. 52. Ред:

[2] Strache, Breisig u. Gross, Wärmebilanz des Doppelgaserzeugers, «J. f. G.», 1920, стр. 399.

(0° и 760 *мм*) с средней теплопроизводительностью в 3 826 *кал*. Состав газа, пересчитанный на полное удаление сероводорода, следующий:

7,8% CO_2	50,1% H_2
33,8% CO	2,3% N_2
5,0% CH_4	0,2% O_2
0,8% C_nH_m	

Баланс получается такого характера:

1. Подведено:

а) Физическое (собственное) тепло топлива	0,1%
б) То же пара	0,8%
в) То же воздуха	0,4%
г) Теплотворная способность топлива	98,7%
	100,0%

2. Получено:

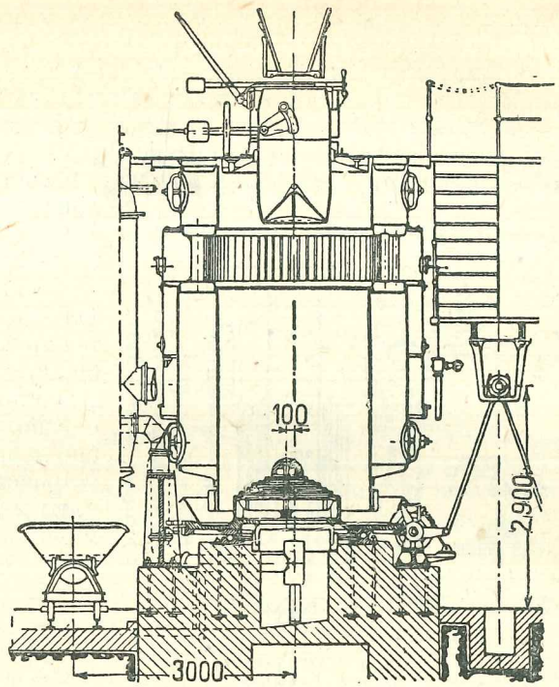
а) Физическое (собственное) тепло двойного газа	2,2%
б) То же пара	1,4%
в) То же паров смолы	0,1%
г) То же газа горячей продувки	6,6%
д) То же шлака	0,1%
е) Теплотворная способность двойного газа	60,2%
ж) » » газа горячей продувки	7,3%
з) » » смолы	8,3%
и) » » углерода в шлаках и уносе	3,3%
	100,0%

Полезно используются, таким образом, 60,2% в газе и в 8,3% в смоле, в общем 68,5%, что значительно выше, чем получается при водяном газе.

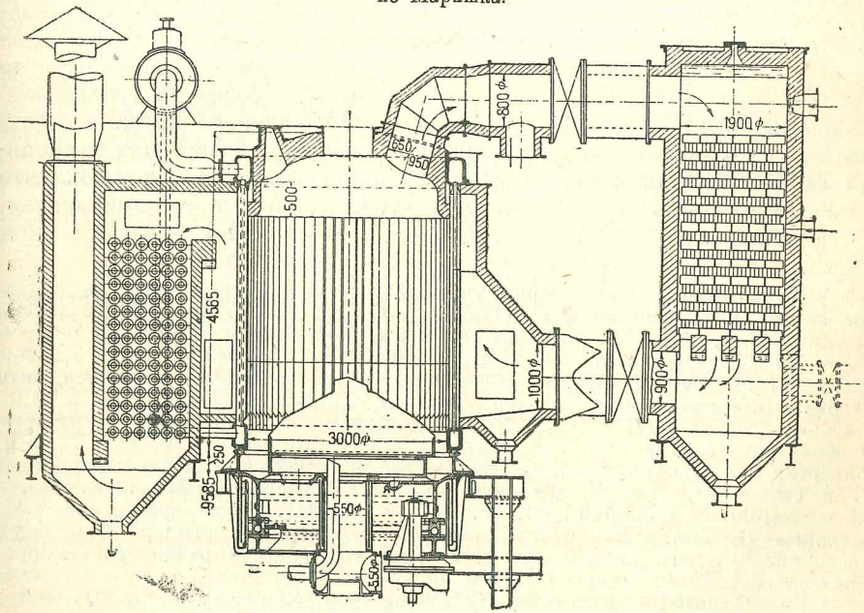
Ранее мы имели случай уже рассмотреть способы использования физического тепла газов горячей продувки для генерации пара и его перегрева. Это применяют также и при обычном генераторном газе, если физическое тепло очень значительно и газ перед его использованием подлежит очистке. Это имеет место, в особенности, на газовых заводах при газификации кокса; так, например, при постройке газового завода Леопольцау около Вены (1911 г.) была принята по указанию Г. Конперса предложенная еще ранее конструкция газогенератора с верхней частью, устроенной в виде парового котла. Хотя первое выполнение в конструктивном отношении было не совсем удачно, все же правильность идеи для некоторых особых случаев выявилась с полной очевидностью; новый тип сделался известен как газогенератор с паровым котлом (котлогазер) системы Маришка; он представлен на фиг. 110 [1].

Служащая как бы топкой нижняя часть котла, около 2,5 *м* высоты, была расширена в отношении поперечного размера водного пространства с 178 *мм*, как было в первой конструкции, до 500 *мм*; в верхней части ее находится кольцеобразный пучок водяных трубок по 600 *мм* высотой, через которые протекает горячий газ (сбоку). Водяные трубки, далее, переходят в такой же кольцеобразный верхний кожух высотой 930 *мм*, являющийся одновременно и паровым пространством. Конструкция сохраняет цилиндрическую форму шахты газогенератора и имеет на простой верхней плите питательную воронку. Генераторный газ омывает

[1] Erust, Generatordampfkessel Z. d. Dampfk. Unts. u. Vers. Ges., № 3 — 4, 1921.

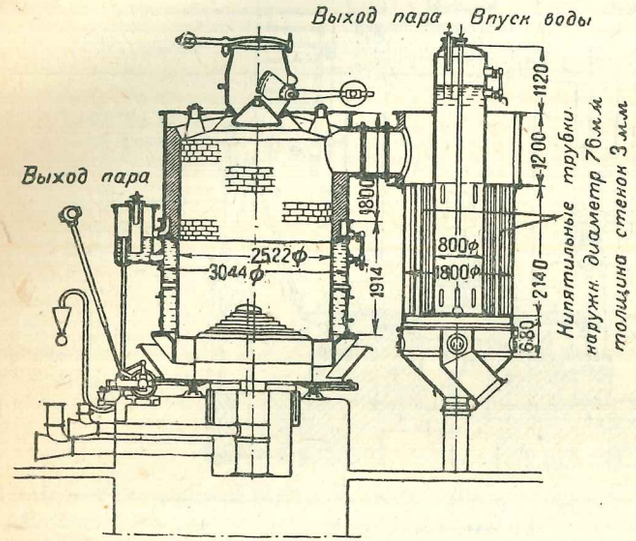


Фиг. 110. Газогенератор—паровой котел с вращением решетки по Маришка.



Фиг. 110 а. Газогенератор Маришка в соединении с водотрубным котлом.

нижний котел после прохождения через пучок трубок еще раз с наружной стороны и выводится внизу из кольцеобразного защищенного огнеупорными материалами собирателя. Такая конструкция имеет при несколько меньшей поверхности нагрева—55 $м^2$ (против 60 $м^2$)—большой водный объем и представляет как в конструктивном, так и эксплоатационном отношении значительное преимущество по сравнению с первой конструкцией [1]. В качестве примера другой системы того же основного типа можно привести конструкцию Отто [2] (Дг. Otto u. Co Dahlhausen), представленную на фиг. 111. Водотрубный котел присоединен непосредственно за газогенератором и служит одновременно пылесобирателем. Подобные устройства были приняты и другими фирмами; последний способ позволяет использовать для обогрева котла сразу несколько газогенераторов; необходимо специально исследовать, является ли совместное устройство газогенератора и парового котла в едином агрегате более выгодным экономически, чем установка центрально расположенного котла по типу котла на отходящих газах—на общей газосборной магистрали нескольких генераторов; стоимость генератора парового котла так высока, что только значительно высший к. п. д. может оправдать его применение. При значительно возросшей в последнее время стоимости изготовления



Фиг. 111. Газогенератор с вращением решетки, соединенный с парообразователем д-ра Отто.

[1] Дальнейшее развитие конструкции Маришка в соединении с водотрубным котлом приведено на фиг. 110а; см. «G. W. F.» № 40, 1931; о работе прежних конструкций см. C. Marischka, Neues auf dem Gebiete der Generator-Dampfkessel und Wassergasgeneratoren, «G. W. F.» № 34, 1927; см. также статью Kratsch в «G. W. F.» № 51, 1931 (газер Пинча с водотрубным котлом). Интересное испытание ряда газеров с водяным охлаждением («котлогазеров»), дающих пар от 10 до 20 *ат* давлением, было проведено Шумахером (Мюнхенский газовый завод) в 1931 г. (газеры Пинча, A. V. G., Клённе, Копперса, Бамаг, все с вращением решетки, на коксовой мелочи). Результаты см. в статье Dr. Ing. E. Schumacher, Versuche an Zentralgeneratoren mit wasserführenden Manteln, «G. W. F.» № 49, 1931. Газогенератор советской постройки (Краматорский завод), системы Керпели, отличается секционной конструкцией своего ватер-жакета, что дает возможность ремонтировать прогоревшие секции без остановки всего аппарата. Ред.

[2] См. Gasinstitut Karlsruhe, Beheizung von Kammeröfen des Gaswerkes Kiel mit Zentralgeneratoren, «J. f. G.», 1920, стр. 589.

и ремонта конструкций подобные топливосберегающие устройства почти не могут более применяться, почему и необходимо для дальнейшего успешного развития этой специальной области генераторного дела стремиться получить примерно такие же или хотя бы и несколько меньшие результаты с значительно более дешевыми приспособлениями.

В заключение нужно сказать несколько слов о распределении тепла при работе таких установок. По исследованиям Бунте и его сотрудников, проведенным на обеих вышеописанных установках в Вене и Киле, оказалось следующее. В котле Маришка (Вена) получается 81,93% тепла и газа и 15,99% в форме пара. Остаточное физическое тепло газа составляет 2,45%, полезно используется в котле 78% первоначального физического тепла газа. Потеря газогенератора излучением достигает 1,69%.

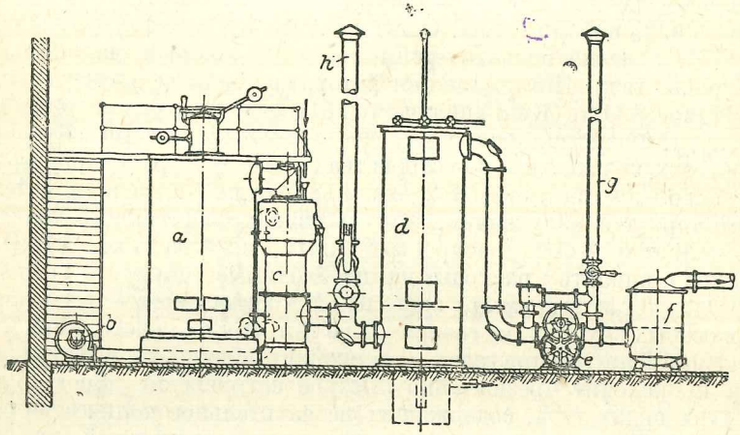
В установке Отто (Киль) получается 81,1% тепла в форме газа и 10,0% в форме пара. Физическое тепло газа достигает 5,1%, потеря излучением—5,9%. Вследствие раздельного устройства газогенератора и парового котла полезно используется лишь 66% физического тепла газа и значительная часть его теряется излучением. Использование собственного тепла газа вообще является весьма распространенным, но замечается стремление максимально снизить расходы на необходимые для этого устройства. Поэтому котлогазогенератор системы Маришка может быть полезен только в особых случаях, не говоря уже о том, что эта конструкция вообще не может применяться при газах, содержащих большое количество смолы, так как происходит чрезвычайно быстрое загрязнение парового котла. При других видах газа, содержащих незначительное количество смолы, все же раздельная конструкция является предпочтительной уже по той причине, что она сильно упрощает и облегчает очистку котла. Поэтому мы очень часто встречаем раздельное устройство при всасывающих установках, обычно не имеющих вообще другого источника пара.

* Необходимо упомянуть об интересных опытах Петтиджона (E. S. Pettijohn, Мичиганский университет, 1928—1929) на газовом заводе Мерисвилль (Marysville) по газификации на водяной газ спекающихся битуминозных углей. Тщательная проработка вопроса привела к получению из угля до 80% количества газа, получаемого из кокса. Достижение удовлетворительной и равномерной газопроницаемости слоя возможно по линии повышения крупности угля («кусковой уголь»). Вследствие дурной теплопроводности угля битумы его расплавляются и выгорают слоями, начиная от периферии, причем остаточный уголь по выгорании битума при крупных кусках почти сохраняет свою форму и структуру слоя и спокойно газифицируется при равномерном подводе воздуха. Мелкозернистые спекающиеся топлива по расплавлению битумов дают размягченный и затем спекающийся слой, ведущий к затуханию процесса. Некоторое улучшение при этом может дать сокращение длительности рабочего периода.

Очень важным фактором развития установок водяного газа является применение жидкого шлакоудаления; здесь можно отметить, например, метод Western Gas Construction Co и H. A. Brassert a. Co, по которому температура реакции несколько повышается, вследствие чего шлак из зоны горения отдельными струйками сбегает в нижележащую холодную золу, шуруемую вращающейся решеткой («крестом»), не дающей образоваться крупным шлаковым камням. Этот способ предотвращает зашла-

кование и настыли и позволяет работать с меньшим слоем и меньшим давлением дутья.

Фиг. 111а представляет распространенный тип газера для двойного водяного газа (карбюрированного крэкируемой [1] смолой), применяемый фирмами Брейзиг, Обществом Крейза (Вена) и Кларк (Англия). Газ вполне может подмешиваться к городскому газу, почему его называют augmontgas. Теплопроизводительность газа—3 500 — 4 000 *кал/м*³. Химический к. п. д. установки—около 62%, со смолой—около 67% [2].



Фиг. 111 а. Газогенератор Брейзиг-Крейза-Кларк.

Применение двойного водяного газа для коммунального газоснабжения быстро распространяется, причем повышение калорийности газа до необходимого предела (3 000 — 4 000 *кал*) выполняется следующими способами:

а) Путем отбора части кокса из реакционного слоя (понижение доли водяного газа по сравнению с швельгазом). Для установки Крейза см. соответствующие расчеты Фульрейлера (Proceed. of the Int. Conf. of Bit. Coal, Pittsburg, 1926, стр. 500) и Стефана («G. W. F», 1926, стр. 521).

б) Путем обогащения швельгазом или коксовым газом из специальных печей (реторт). См. А. Шефер, Einrichtung und Betrieb eines Gas-

[1] См. об этом М. Дольх, «Brannkohle» № 1, 1931. Ред.

[2] См. также Ct. Neumann, «Erfarungen» und Richtlinien auf dem Gebiete des Gaserzeuger betriebes, Arch. f. d. Eisenhüttenwesen № 1, 1927; F. Morawski, Beiträge zur kohlenvergasung im Generator, «G. W. T.» № 7, 1929; Luedtke, Die bauliche und betriebsfachnische Entwecklung der Gaserzenger in der Eincuhüttenindustrie, «G. W. T.» № 48, 1929; O. Peitscher, Ueber die Beurteilung von Anlagen zur Vergasung und Enfgasung, «G. W. F.» № 11, 1928; L. M. Wilson, Manogement of gas prodacers. Fuel in Sc. and Pract № 4, 1930; Гапонович, Работа газогенераторов в Югостали, «Уголь и железо», № 29, 1928; V. Windett, Оперативные данные современного газогенератора, «Уголь и железо» № 52, 1930; Коюда и Толеверх, Газогенераторное хозяйство металлургических заводов, «Уголь и железо» № 25, 1927; Я. Гольдблат и Н. Копаневич, Перспективы применения механических газогенераторов в СССР, «Гипромез» № 1 — 2, 1931; P. Hilgenstock, Конструкции и экономичность газогенераторов на газовых заводах, «Glückauf» № 38, 1931. Ред.

werke, 4-е изд., стр. 354; о крупной установке Public Service Electric and Gas Co, N. Jersey, системы International Combustion Engineering Corpor., N. J., см. англ. «Gas Journ.», 10/X 1927, стр. 181; об установке Бамаг—см. у Gwosdz, K. W. G., стр. 139.

в) Путем обогащения отходящими газами гидрогенизационных установок (богатых CH); см. Tay, «Die Schwelung der Braun- und Steinkohle, 1927, стр. 4704; Фр. Фишер, Ges. Abhdl. zur Kenntnis der Kohle, Bd. 8, стр. 356.

г) Путем понижения доли водяного газа сжиганием части его для наружного обогрева швельшахты—Omgasverfahren О-ва Дельвик-Флейшер (см. «Торфяное дело» № 6, 1931).

д) Путем прямого отвода части водяного газа (или генераторного газа с подводом воздуха в часть слоя кокса) под котлы электростанции, это осуществлено на омгаз-установке Дельвик-Флейшер непрерывного действия, см. «G. W. F.», 1926, стр. 443; аналогичная конструкция Tully-Уео описана в англ. «G. J.», 24/III 1926, стр. 751.

Непрерывное производство двойного водяного газа, являющееся важнейшей целью последних исследований, так как дает значительное повышение времени использования установки, к. п. д., устранение неравномерного хода и разложения смолы, уменьшение обслуживания и т. д., пошло по пути следующих методов:

а) Перегрев пара и циркуляционной части газа (сходно с Umwälzverfahren); см. патенты Маннесмана (1891, D. R. P. 66326), F. T. Leider (САСШ, 1467957), Гиллебранд (D. R. P. 422999, специально для влажных бурых углей, подробнее см. ниже).

б) Применение кислородного дутья; подробные расчеты и эксперименты привели Вандевир и Парр (Vandeveer a. Parr, «Fuel», 5, 1926, стр. 304) и Черазоли (Cerasoli, «G. W. F.», 28/V 1927, стр. 528), см. также у Лавачека («Wärme», 9/II 1928, стр. 422); об использовании электролитического кислорода (отхода) см. у K. Schmidt («G. W. F.», 1927, стр. 681), далее, патент К. Фишера D. R. P. 461481 (газификация пламенем, Gwosdz, стр. 158) и др.

в) Наружный обогрев электротоком (установка E. Stassano).

Наибольший практический интерес представляет установка Пинч-Гиллебранд, на Гамбургском газовом заводе для получения водяного газа из буроугольных брикетов непрерывным процессом. Водяной пар вместе с обессмоленным швельгазом подаются перегретыми до 1 250—1 300°; перегерев производится в специальном четырехкамерном регенераторе, нагреваемом сжиганием части швельгаза; камеры переключаются через 16 мин. Газер кольцевой посажен на регенератор и пропускает 50 *м*³/*час*; газ в 2 600 — 2 750 *кал* почти безметанистый, (CH_4 — 1%). См. «G. W. F.», 29, 1932, стр. 581. «Бюлл. нов. тех.» № 25, 1933. Кольцевой принцип газера («Pierprocess», «Pfeilerverfahren»), срединное шамотное ядро которого предотвращает образование «мертвого ядра»—отставание сердцевины слоя, — развит также в конструкциях H. K. Seely («Chem. a. Metall. Eng», апрель 1926, 218 (и Нюблинга и Мецгера «G. W. F.», 1930, стр. 2, D. R. P. 480489).

У нас опыты получения двойного водяного газа для коммунальных целей были удачно проведены в 1932 г. на Московском газовом заводе на приспособленном газере Пинча; из подмосковного угля был получен газ

в 2 700 *кал* и из торфа—в 3 100 *кал*. О технологическом использовании водяного газа см. преимущественно работы Института азота и Государственного института высокого давления (например, В. Н. Долгов и А. З. Карпов, Синтез метанола из водяного газа под давлением, ХТИТ, IV 1932, стр. 282) [1].

3. Эксплоатационные характеристики различных конструкций и процессов

а) Общие указания

В предыдущем разделе мы ограничивались лишь описанием отдельных конструкций и типов; в этом разделе мы рассмотрим и сопоставим их эксплоатационные данные. Именно в этой области, однако, особенно необходима четкая критическая установка. Очень часто мы встречаем мнения, что хороший состав газа является доказательством удовлетворительности типа газогенератора и обратно; на самом же деле хороший газ является лишь следствием правильного регулирования процесса и правильного его обслуживания. Больше всего состав газа зависит от топлива и характера применяемого процесса. Если, например, работать по тем или иным основаниям с большой присадкой пара, то состав газа безусловно делается менее благоприятным, во всяком случае содержание CO_2 увеличивается. Несмотря на это, к. п. д. может быть, а обычно и бывает выше, чем при меньшей добавке пара, и теплопроизводительность газа также в общем не претерпевает каких-либо ухудшений. Поэтому при оценке конструкции никоим образом нельзя основываться только на отдельных цифрах. Весьма наглядно это видно из табл. 19 и 21, к которым мы и отсылаем читателя.

Далее, надлежит при оценке каждой конструкции иметь в виду, что фактически результативные потери обычно весьма невелики, как это впоследствии будет специально показано; худший состав газа или меньший его выход обычно сопровождаются поэтому повышением физического тепла газа; последнее обстоятельство может означать действительную потерю, но может ею и не быть. Напротив, часто высокое физическое тепло газа является весьма ценным. Поэтому критическая оценка способа должна производиться на основании полного теплового баланса; как раз в этом отношении большинство исследований оставляют желать многого. Так как они относятся обычно к парадным испытаниям, то нет ничего более ошибочного, как основывать оценку процесса на отдельных получаемых при этом величинах; каждая цифра, конечно, имеет свое основание, но только в том случае, если это основание не относится к свойствам топлив или к характеру самого процесса, можно искать причину в конструкции. Обычно приписывают конструкции слишком большое значение, тогда как фактически в большинстве случаев здесь имеют место не какие-либо существенные различия, а лишь улучшения в конструкции деталей, в

[1] Подробнее о Гейльброккской установке Крейза см. у Н. Н. Гаврилова, Вопросы химико-энергетического использования торфа, 1931; I. Freyss, «Gas Journ.» (англ.), 3/VIII 1927, стр. 279. По Фрейсу крейза-газ состоит из 75,7% «синего водяного газа» (2 550 *кал/м*³), 20,3% швельгаза (6 140 *кал/м*³) и 4% смоляного газа (11 500 *кал/м*³). Ред.

очень редких случаях отражающиеся на составе газа, и тем более на тепловом балансе, и влияющие обычно лишь на расходы по ремонту, как это доказывает длительный эксплоатационный опыт. Поэтому-то я и ограничился в предыдущем разделе указанием лишь наиболее существенных особенностей и свойств отдельных конструкций, не приводя специальных эксплоатационных данных по их работе, так как они не имеют решающего значения для их характеристики. В этом отношении можно ограничиться рассмотрением лишь наиболее типичных примеров, на основании которых каждый сможет установить и оценить особенности или даже значительные отклонения в работе отдельных систем, используя приведенные выше конструктивные характеристики.

Прежде всего производственные показатели зависят от состояния топливного слоя, о чем уже детально указывалось на стр. 102 и сл. В первую очередь рассмотрим газопроизводительность; обычно она дается на 1 $м^2$ площади сечения шахты в час. У газогенераторов с расширяющейся шахтой основным сечением ее принимают площадь горизонтального разреза на расстоянии 500—800 *мм* от середины решетки. Производительность чрезвычайно зависит от топлива и, в особенности, от величины его зерен и обусловленного ею сопротивления топливного слоя прохождению дутья и самого газа. Применяющиеся давления зависят не только от конструкции газогенератора (гидравлического затвора); они не должны также переходить известной границы, при которой в условиях неравномерной загрузки наблюдается легкое образование каналов, пропускающих воздух без достаточного реагирования, что и ведет к образованию верхнего огня, т. е. горения газа в самом газовом пространстве газогенератора. Следствием этого является ухудшение состава газа и повышение его температуры. Так как уголь у краев всегда ложится менее плотно, то наибольшим допустимым давлением дутья для обычных топлив является 250—400 *мм* вод. ст., для очень мелкозернистых можно доводить его до 600 *мм*, и только при некоторых специальных конструкциях имеется возможность поднять давление до 1 000 *мм*. Сказанное имеет силу для всех дутьевых газовых установок как применяемых для производства теплового газа, так и тем более для газосиловых установок. Наоборот, для всасывающих устройств может применяться значительно меньшая разница давлений, достигающая лишь 60—100 *мм* вод. ст.; на этом основании в этих случаях рекомендуется применение крупнозернистых топлив.

В табл. 30 приведены некоторые величины газопроизводительности для различных диаметров шахты и различных топлив, представляющие в соответствии с вышеизложенным только приблизительно средние данные. Для нормальных топлив можно принимать в расчет пропускную способность при всасывающих устройствах — от 50 до 60 *кг/м² час*, при обыкновенных дутьевых газогенераторах—от 60 до 100 *кг*, при конструкциях с вращающейся решеткой—от 100 до 200 *кг*.

Производительность естественно зависит также и от потребного качества газа и обратно. Чем медленнее работает газогенератор, тем лучше получается состав газа. Приведенные в таблице производительности могут быть получены без особого напряжения.

Значительное и отрицательное влияние большой нагрузки на состав газа и к. п. д. газогенератора можно в любой момент установить на произ-

Таблица 30

Газопроизводительность различных конструкций на различных топливах

Топливо	Конструкция газогенератора							
	Всасывающий с плоской решеткой		Газогенератор с неподвижным дутьевым чепцом			Газогенератор с вращающейся решеткой		
	Диаметр шахты, *мм*							
	600	1 000	1 500	2 000	2 500	2 100	2 600	3 000
	Площадь сечения шахты, $м^2$							
	0,283	0,785	1,767	3,142	4,91	3,46	5,31	7,07
	Пропускная способность, тонн в сутки							
Кокс, орех 20—40-*мм*	0,4	1,2	5	8	12	14	20	25
Антрацит 8—20-*мм*	0,6	2,0	6	8	12	12	18	24
Рядовой каменный уголь	—	—	3	5	8	10	14	18
Вестфальский каменный уголь, орех	0,6	2,0	5	9	12	12	16	22
Тощий уголь, орех	0,7	2,4	5	9	12	14	18	24
Спекающийся каменный уголь	—	—	—	6	9	10	14	18
Чехо-словацкий бурый уголь, орех II	1,0	3,0	8	12	20	18	25	32
Буроугольный брикет	0,6	2,0	6	10	16	14	22	28
Лигнит кусковой	—	—	6	10	16	16	24	30
Среднегерманский плотный лигнит	—	—	5	8	12	12	18	22
Среднегерманский рядовой уголь	—	—	4	5	8	8	12	15
Машинный торфяной разлом	0,6	2,0	6	10	16	14	22	28
Золистые угольные отходы	—	—	—	5	8	10	15	20

водстве; обратное явление—ухудшение показателей при слишком медленно идущем процессе или слишком слабо загруженном генераторе—наблюдается значительно реже.

Последнее явление может быть объяснено следующим образом: чем меньше давление дутья, необходимое при каждом дросселировании процесса, тем легче выбрасываются отдельные порции содержимого шахты, сопротивление которой, конечно, больше; применяемое давление является неподходящим для топлива. Следствием этого является в таких случаях легкое образование каналов, которое развивается тем более, что золоудаление и необходимое шурование остатков производится реже. Хотя это обстоятельство почти теряет свое значение при механических газогенераторах с вращающейся решеткой, все же и в этом случае возможно прогрессирующее ухудшение работы, если имеет место длительное снижение газопроизводительности. В случае генераторов с плоской решеткой это наблюдается гораздо резче; табл. 31 дает пример подобной зависимости для случая газификации высокосортного антрацита (теплопроизводительностью 7 715 *кал*) на всасывающей установке фирмы Пинч в Фюрстенвальде.

Таблица 31

Зависимость к. п. д. от нагрузки

Нагрузка в $м^3$ газа в час	Низшая теплопроизводительность, *кал*/$м^3$	Выход газа, $м^3$/*кг* антрацита	Коэфициент полезного действия газогенератора
24,9	954	5,53	0,683
30,9	1 087	5,11	0,721
43,6	1 188	5,46	0,840
81,6	1 203	5,64	0,880

Весьма наглядный пример зависимости состава газа от топлива и от характера процесса дает представленное в табл. 32 сопоставление Курта Неймана [1]. Мы видим из этой таблицы, что хороший анализ газа никоим

Таблица 32

Состав газа и к. п. д. при различных топливах

	Антрацит		Кокс		Буроугольные брикеты	Бурый уголь
Низшая теплопроизводительность топлива, *кал*/*кг*	7 630	7 630	7 000	7 000	4 839	4 212
Подведенный водяной пар, *кг*/*кг*	0,486	[2]	0,345	[2]	[3]	0,214
Абсолютное давление пара, *ат*	7,9	—	8,0	—	—	7,8
Полученное количество газа (15°, *ат*), $м^3$/*кг*	5,34	5,45	5,26	5,43	3,47	2,49
Состав газа: CO%	27,9	27,1	29,9	30,6	20,8	27,0
H_2%	16,5	8,9	8,8	1,4	16,2	13,5
CH_4%	0,9	1,3	0,1	0,0	1,4	4,9
C_2H_4%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3
CO_2%	3,4	3,2	2,4	0,9	9,2	4,7
O_2%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2
N_2%	51,3	59,5	58,8	67,1	51,7	49,2
Горючие составные части, %	45,3	37,3	38,8	32,0	38,6	45,7
Низшая теплопроизводительность газа (15°, 1 *ат*), *кал*/$м^3$	1 198	1 035	1 045	889	1 107	1 495
1 *кг* угля дает в виде газа, *кал*	6 390	5 640	5 500	4 810	3 840	3 700
На 1 $м^2$ сечения шахты газифицируется, *кг*/*час*	122,0	89,3	214,0	209,0	184,5	108,1
Коэфициент полезного действия газогенератора	0,80	0,73	0,76	0,69	0,79	0,77

образом не является критерием для высокого к. п. д.; поэтому необходимо точное исследование данных анализа газа (стр. 96 и сл.). К сожалению, большинство приведенных в литературе анализов не создают возможности

[1] «St. u. E.», 1919, стр. 1238.

[2] Воздушный газ.

[3] Всасывающий газ. Подвод пара производился действием лучистой теплоты на свободную водную поверхность; он не определялся точно.

подобной критики [1], в особенности вследствие отсутствия данных о свойствах топлива. Кроме того, надлежит иметь в виду следующее обстоятельство: при нормальной загрузке топлива состав газа в течение некоторого времени всегда изменяется, так как процесс подсушки новой порции топлива и дестилляции отнимают известное количество тепла. Это может повлечь за собой как улучшение состава газа (если газогенератор перед этим имел слишком высокую температуру), так и ухудшение (например, при влажных топливах). Температура газа при этом снижается, что влияет, конечно, на к. п. д. Поэтому единичные пробы не являются показательными для характеристики работы и могут служить лишь для сравнения отдельных моментов процесса между собой. На табл. 33 дано изменение состава газа между двумя загрузками для среднегерманских буроугольных брикетов; колебания оказываются весьма значительными.

Таблица 33

Изменение анализа газа в течение одного периода между загрузками (загрузка значительными порциями; буроугольные брикеты)

	Время						
	10^{40}	11^{10}	11^{25}	11^{45}	12^{03}	12^{45}	Перед загрузкой
CO_2	7,6	8,0	8,6	9,0	9,0	8,6	4,8
O_2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
CO	27,6	25,6	24,0	23,0	21,0	23,2	27,0
H_2	13,8	14,4	13,0	11,8	11,2	11,2	7,0
CH_4	4,8	4,0	4,8	5,4	6,2	6,6	6,2
Теплопроизводительность, *кал/м³*	1 607	1 430	1 477	1,467	1 460	1 663	1 535
Температура газа, °Ц	250	310	310	325	335	385	450
Точка росы	52	52	52	50,5	50	48,5	—

Всегда наблюдается значительный рост содержания CH_4, которое в конце периода обычно снова падает, в то время как содержание CO в тот же момент обычно возрастает (в показанном на таблице случае газогенератор, очевидно, работал на слишком высокой температуре и имелись каналы, перекрытые топливом. причем содержание CO вначале было выше, а при прорыве каналов вновь понизилось). Чрезмерно высокое содержание CH_4 всегда является следствием таких условий работы, которые никак нельзя рассматривать как нормальные и типичные; при этом или взятие пробы газа произведено было тотчас после загрузки, или имел место неправильный анализ (стр. 365), или, наконец, вообще загрузка производилась слишком рано, что ведет к неполной газификации и недостаточному использованию топлива. Так, например, в старом типе лестничного газогенератора Сименса часто можно получить очень хороший газ, с особенно высоким содержанием CH_4. При исследовании же деталей процесса выясняется, что здесь происходит не настоящая газификация, а в значительной степени сухая перегонка и что вследствии этого потеря топлива в остатках чрезвычайно высока. Подобным же об-

[1] Hoffmann, «Z. f. angew. Chemie», 1916, стр. 41.

разом при парадных испытаниях можно на короткое время очень легко добиться получения хорошего состава газа, если перед этим сильно разогреть газогенератор и затем очень быстро его загрузить. Получается при этом сравнительно высокое содержание не только CH_4, но также и CO, так как высокий слой топлива дает возможность хорошего восстановления образующейся CO_2. В то же время пропускная способность оказывается также весьма значительной. Подобным же образом действует перемена топлива и другие мероприятия, перечисление коих завело бы нас слишком далеко.

Привести четкие эксплоатационные данные для различных процессов является невозможным, так как они в значительной степени переходят один в другой. Поэтому здесь можно ограничиться лишь несколькими характерными примерами. В качестве одного из них мы приводим данные испытания, проведенного Штраусом [1] на всасывающей установке с лангенбрамским антрацитом; результаты работы сведены в табл. 34.

Таблица 34

Испытание всасывающей установки фирмы Дейтц, проведенное Штраусом

		%			I опыт %	II опыт %
Анализ топлива (антрацит Лангенбрама)	C	84,60	Анализ газа	CO_2	5,8	5,5
	H_2	3,49		O_2	0,7	0,5
	O_2+N_2	3,97		CO	22,0	23,3
	S	0,92		H_2	17,0	17,4
	A (зола)	5,82		CH_4	1,8	2,0
	H_2O	1,20		N_2	52,7	51,3

Низшая теплопроизводительность 7 756 *кал/кг*.

	Опыт I		Опыт II	
	кал	%	*кал*	%
Подводимая энергия в час	228 492	100,00	198 941	100,00
Химическая энергия газа	197 325	86,36	172 721	86,82
Отвод тепла в скруббер	20 207	8,84	17 766	8,93
На объемную работу (0,69%) и нагрев газа	1 417	0,62	1 273	0,64
Расход тепла на насыщение газа водой	1 394	0,61	1 313	0,66
Излучение и потери теплопроводностью (остаточный член) газогенератора	8 149	3,57	5 868	2,95
Для мотора: Эквивалент индикаторной работы	46 367	20,29	45 886	23,07
» эффективной »	41 112	17,99	40 998	20,61
» работы трения	5 255	2,30	4 888	2,46
Теплота, переходящая в охлаждающую воду	68 064	29,79	61 944	31,14
Теплота и кинетическая энергия отходящих газов	82 894	36,28	64 891	32,61
Потери на излучение и теплопроводность				

[1] «I. f. G.», 1902, стр. 517.

Таблица 35

Испытание работы газогенератора с двойным горением системы Бенц для брикетов, произведенное Куртом Нейманом

	Топливо	
	Анкер-брикет 40×40×65 *мм*	Ганза-брикет 70×60×65 *мм*
Анализ топлива: C, %	53,54	53,71
H_2, %	4,14	3,98
O_2, %	21,48	22,49
N_2, %	0,55	0,19
A (зола), %	6,86	5,87
H_2O, %	13,43	13,76
Низшая теплопроизводительность, *кал*	4 839	4 802
Длительность испытания, часов	10	10
Показания барометра, *мм* рт. ст	727	728
а) Газовая машина		
Тормозной груз, *кг*	180,8	175,8
Среднее число об/мин	191,2	191,7
» положительное индикаторное давление, *ат*	5,62	5,26
» отрицательное индикаторное давление, *ат*	0,13	0,13
Средняя температура воздуха у всасывающих штуцеров, °Ц	22	21
Среднее разрежение в газопроводе *мм* вод. ст.	120	160
Температура отходящей охлаждающей воды: у выпускного вентиля, °Ц	31,0	24,2
» головки цилиндра, °Ц	37,5	31,5
» корпуса цилиндра, °Ц	49,0	42,5
б) Насос для охлаждения воды		
Потребное количество охлаждающей воды, *кг/сек*	1,209	0,841
Высота подачи, *м*	4,32	4,32
Число об/мин.	122	85
в) Газогенератор		
Загрузка в течение периода испытания, *кг*	330,0	390,0
Заполнение по окончании испытания, *кг*	80,0	80,0
Остаток при взвешивании, *кг*	3,2	—
Шлаки, удаленные над решеткой, *кг*	15,8	26,1
Зола, *кг*	12,3	19,5
Средняя температура отбираемого газа, °Ц	360	396
Среднее разрежение в газопроводе при выходе из генератора, *мм* вод. ст.	40	90
Средний состав газа: CO_2, объемных %	9,18	9,30
C_nH_m, » %	0,23	0,16
O_2, » %	0,45	0,46
CO, » %	20,76	20,90
H_2, » %	16,23	14,80
CH_4, » %	1,43	1,17
N_2, » %	51,72	53,21
г) Машина		
Индикаторная мощность, *л. с.*	90,50	84,60
Эффективная мощность, *л. с.*	69,36	67,62
Мощность насоса, *л. с.*	1,17	0,82
Полезная мощность, *л. с.*	70,53	68,44
Механический к. п. д.	0,78	0,80
Часовой расход топлива на 1 *э. л. с., кг*	0,450	0,555
» » » » 1 *и. л. с.,* »	0,576	0,688
» » тепла » 1 *э. л. с., кал*	2 175	2 662
» » » » 1 *и. л. с.,* »	2 790	3 305

Таблица 36

Газ из всасывающей установки из зенфтенбергских брикетов по И. Фуксу

	1	2	3	4
Состав топлива: C, %	49,21		48,42	
H_2, %	4,29		4,37	
$O_2 + N_2$, %	27,15		24,49	
S, %	1,60		1,29	
A (зола), %	4,57		4,93	
H_2O, %	13,18		11,50	
Теплопроизводительность, *кал*	4 718		4 622	
Состав газа из всасывающей установки у мотора: CO_2, %	11,91	9,35	11,40	9,60
CO, %	15,18	17,34	16,39	19,35
C_nH_m, %	0,15	0,00	0,00	0,00
H_2, %	26,71	25,18	26,99	24,80
CH_4, %	2,24	2,11	2,80	1,19
N_2, %	43,81	46,02	42,23	45,16
H_2S, %	Следы	Следы	Следы	Следы
SO_2, %	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица 37

Опыты на Герлицкой торфогазовой установке д-ра Вольфа и проф. Баера (Dr. Wolff u. Proff. Baer)

	I	II
Состав торфа: C, %	29,06	41,65
H_2, %	3,06	4,10
$O_2 + N_2$, %	19,56	26,35
A (зола), %	2,51	4,10
Вода, %	45,54	23,80
Высшая теплопроизводительность, *кал/кг*	3 799	3 949
Низшая » »	2 360	3 585
Состав газа: CH_4, объемных %	0,86	1,35
C_nH_m, » %	0,18	0,11
H_2, » %	19,25	17,13
CO, » %	14,96	15,85
CO_2, » %	14,74	12,34
O_2, » %	0,28	1,02
N_2, » %	49,73	52,20
Низшая теплопроизводительность газа *кал/м³*	1 028	1 120
1 *кг* торфа дает газа, *м³*	1,73	2,59
Коэфициент полезного действия, %	75,3	80,9
Мощность машины, *л. с.*	223,5	314
При опыте II: при изменении мощности машин в *л. с.*	146	182,8 260
Расход торфа в *кг* на 1 *л. с. ч.*	1,16	0,98 0,82
» » » » » 1 *квт-ч*	1,45	1,16 0,99

Характеристику работы газогенератора с двойным горением, при работе на буроугольных брикетах дает табл. 35, взятая из детального исследования К. Неймана [1], проведенного на установке Ф. Бенц. Результаты опытов П. Фукса [2] по получении силового газа из буроугольных брикетов показывает табл. 36.

Для работы прямоточных генераторов Герлицкого машиностроительного завода весьма показательны данные опытов д-ра Вольфа и проф. Баэра [3], приведенные в табл. 37.

При получении теплового газа в обыкновенных шахтных газогенераторах прежде редко ставились опыты с детальными замерами, могущими дать основание для подсчетов теплового баланса. Некоторым исключением являются испытания чехо-словацких каменных углей в газогенераторах с простыми плоскими решетками, проведенные д-ром Вендтом (табл. 15). Обзор данных о работе преимущественно применяемых в настоящее время газогенераторов с вращающейся решеткой дает табл. 38, в которой сопоставлены для сравнения различнейшие топлива.

Более полные испытания были проведены в особенности на газогенераторах Керпели (1911 г.); в табл. 39 даны результаты трех опытов с различными топливами, могущие служить руководящими средними показателями для достижения хорошей производительности всех соответствующих конструкций.

Полное сопоставление тепловых балансов газогенераторов с вращающейся решеткой и генераторов с плавлением золы обоих конструкций, представляющих теперь наибольший интерес, дает табл. 40, дающая возможность провести очень хорошее сравнение обеих систем. Генераторы с плавлением золы показывают при газификации просеянной коксовой мелочи производительность в 300—360 *кг* на 1 $м^2$, сечения шахты (от 1 150 до 625 *кг* на $м^2$, сечения зольника), в то время как на том же топливе в газогенераторах с вращающейся решеткой едва ли возможно достичь газификации более чем на 180 *кг/час*. Эта высокая производительность, конечно, значительно понижает потери вследствие лучеиспускания. В остальном, однако, тепловой режим при этой конструкции не является более удовлетворительным, так как общие потери, в среднем 11%, все же выше, чем потери газогенераторов с вращением решетки (в среднем 7%). Несомненно, что высокая производительность газогенератора с плавлением золы значительно уменьшает необходимую величину капитальных затрат на строительство установки. Напротив, стоимость ремонта является высокой вследствие необходимости частых исправлений, почему эта конструкция и имеет применение лишь в узкой области — специально для газификации кокса. В особенности при многозольных топливах необходимые добавки для шлакообразования становятся очень значительными, что повышает эксплоатационные расходы и ухудшает тепловой режим.

Предыдущие соображения имеют силу, главным образом, для нормальных топлив. Здесь необходимо подчеркнуть влияние свойства топлив, в особенности низкосортных, ведущих себя совершенно иначе

[1] «Z. d. bayr. Rev. Ver.» № 4/5, 1917.
[2] «Z. d. V. d. I.», 1904, стр. 145 и 1272.
[3] «Z. d. V. d. I.», 1911, стр. 370 и 1912, стр. 585.

Таблица 38

Газификация различных топлив в газогенераторах с вращением решетки

Происхождение топлив	Состав топлив			Часовая производительность, *кг/м²* сечения шахты	Состав газа				Низшая теплопроизводительность
	H_2O %	Зола %	Низшая теплопроизводительность *кал/кг*		CO_2 %	CO %	CH_4 %	H_2 %	*кал*
Спекающийся вестфальский каменный уголь	4,0	8,0	6 700	125	2,7	27,5	3,2	6,0	1 310
Вестфальский газовый пламенный уголь	2,0	7,5	7 100	115	3,6	27,3	2,6	10,5	1 370
Саарский уголь из Шпиттеля	8,3	11,7	5 660	110	1,7	30,5	3,3	9,0	1 495
Верхнесилезский каменный уголь	4,1	7,8	7 000	130	3,2	26,8	5,6	9,3	1 540
Верхнесилезский неспекающийся уголь	3,3	9,5	6 750	155	1,8	30,4	3,4	12,6	1 530
Островский каменный уголь	3,7	14,8	6 100	120	4,0	25,0	1,5	13,0	1 220
Английский каменный уголь из Ньюкестля	5,8	6,5	6 700	140	2,2	28,6	2,2	9,0	1 320
Чехо-словацкий каменный уголь	8,0	11,9	6 400	170	4,0	27,5	2,2	10,0	1 290
Чехо-словацкий бурый уголь	25,0	16,9	4 100	300	2,6	30,7	2,1	14,0	1 440
Альпийский блестящий уголь	7,2	13,1	5 400	270	2,5	31,0	2,0	14,5	1 510
Рейнский буроугольный брикет	13,3	4,6	4 800	190	3,4	31,5	2,5	11,0	1 450
Среднегерманский буроугольный брикет	16,5	11,2	4 300	175	5,8	28,8	6,0	7,4	1 665
Среднегерманский плотный бурый уголь	45,0	6,0	2 950	100	7,0	25,0	3,0	9,0	1 250
Среднегерманский землистый шахтный уголь	53,0	6,0	2 300	75	11,2	17,8	4,6	7,8	1 160
Лигнитовые бурые угли	40,0	9,0	3 150	140	7,0	22,6	2,8	13,2	1 270
» отсевы (сланцы)	18,6	36,7	2 600	150	7,8	20,1	4,0	13,7	1 300
Слоистый уголь из Саарского бассейна	2,4	27,0	5 600	110	3,5	27,0	2,6	9,0	1 320
То же, из Верхней Силезии	7,0	37,0	4 000	115	13,0	14,6	1,8	17,3	1 045
Шлам Саарского угля	35,0	30,0	3 000	105	9,5	15,0	1,2	12,0	870
Хвосты обогатительных фабрик и отбросный сланец	—	45,0	—	135	10,7	12,8	—	28,5	1 225
Антрацит	3,3	23,5	5 800	155	4,7	26,8	0,6	10,9	1 100
Кокс, орех	12,0	10,0	5 700	240	3,6	27,3	—	7,9	1 035

Таблица 39

Тепловые балансы генераторов Керпели

		Топливо		
		Штирийский бурый уголь	Неспекающийся каменный уголь	Спекающийся каменный уголь
Состав топлива	C . . . . . %	57,7	63,2	68,65
	H_2 . . . . . %	4,43	3,92	4,08
	N_2 . . . . . %	0,78	1,05	0,93
	O_2 . . . . . %	15,55	10,4	5,62
	S . . . . . %	1,28	1,43	0,92
	H_2O . . . . %	7,17	11,5	7,45
	A (зола) . . . %	13,1	8,5	12,35
Средний состав газа	CO_2 . . . . %	2,8	1,4	4,5
	CO . . . . . %	30,5	31,0	25,4
	CH_4 . . . . %	2,0	2,2	3,33
	H_2 . . . . . %	14,0	12,4	8,6
Содержание H_2O в 1 $м^3$ газа, *г* . . .		80,0	29,6	42,5
» смолы в 1 $м^3$ газа, *г* . . .		25,0	11,5	8,7
Углерод в смоле в 1 $м^3$ газа, *г* . . .		19,4	8,2	5,2
Теплопроизводительность топлива, *кал* .		5 400	5 850	6 520
» газа, *кал* . .		1 420	1 450	1 850
» смолы в 1 $м^3$ газа, *кал*		200	90	—
Температура газа при выходе, °Ц . .		430	455 [1]	750 [1]
Физическое тепло газа, *кал*		158	155	250
Тепло подводимого пара, *кал*		118	164	78
Горючее в золе, %		3,0	5,8	9,26
Потеря топлива в золе, %		0,41	0,52	1,26
Из 1 *кг* топлива получается газа, $м^3$.		2,77	3,26	3,74
Углерода в 1 *кг* топлива, *г*		577	632	686,5
» в горючих компонентах получаемого из 1 *кг* топлива газа, *г* . .		522,4	607	595,4
Полезное реагирование углерода, % .		90,5	96,0	89,1
Коэфициент полезного действия, % . .		88,89	91,38	86,56

почему мы и считаем необходимым в дальнейшем рассмотреть поведение при газификации основных трех главных групп низкосортных топлив [2].

б) Газификация многозольных топлив

Затруднения, связанные с газификацией многозольных топлив, заключаются наряду с общим значительным количеством остатков в первую очередь в зашлакованиях и обусловленном ими неравномерном горении. Так как при газификации — за исключением весьма редких случаев —

[1] Определено по оценке.

[2] См. также Bunte, Versuchsergebnisse mit ust Vergasung, «G. W. F.», № 25, 1927. Gwosdz, Die Mittel zur Ermöglichung einer Verwendung von backenden Brennstoffen an Gaserzeuger, «G. W.». № 15, 1926. R. Mettger, M. Th. Peyer, Beitrage zur restlosen Vergasung der Kohle, «G. W.», № 1, 1930. A. Rileys, Gaserzeugung in England, «Gas Journal» № 33—34, 1927. Drenke, Neue Wege der Schwelung ung Vergasung, der Braunkohle, № 25, 1927. Ред.

Таблица 40

Тепловые балансы газогенераторов с плавлением золы и с вращением решетки

Тип газера	Вюрт [1]	Георгс-Мариен-Хютте [1]	Керпели-Маришка [2]	Керпели [3]	С вращающейся решеткой [4]
Топливо	Коксовая мелочь	Коксовая мелочь	Кокс	Бурый уголь	Кокс, орех
Подведено					
Уголь, %	100	100	100	100	100
Пар, %	2,95	—	3,07	3,86	3,5
Подогрев дутья, %	3,4	0,95	—	—	—
Итого, % .	106,35	100,95	103,07	102,86	103,5
Использовано					
Теплопроизводительность газа, % .	79,0	72,66	81,98	72,9	81,1
Физическое тепло, %	15,63	18,51	2,45	11,75	5,1
Производство пара, %	—	—	15,99	—	6,5+3,5
Смола, %	—	—	—	10,25	—
Итого, % .	94,63	91,17	100,37	94,90	96,2
Потери					
Пыль, %	6,23	1,26	0,35	1,34	1,4
Шлаки, %	0,97	1,51	0,66	0,90	
Охлаждающая вода, %	1,10	3,86	—	1,21	5,9
Излучение и пр., %	3,42	3,15	1,69	4,51	
Итого, % .	11,72	9,78	2,70	7,96	7,3

всегда работают на смеси водяного пара и воздуха, то ближайшие к решетке зольные слои, конечно, всегда охлаждаются дутьем. Особенно значительные количества тепла отнимаются водяным паром при его перегреве, что и ведет к разрушению образующихся в этой зоне шлаков. Это дает возможность при помощи несколько повышенного подвода пара почти нацело устранить образование шлаковых камней и сравнительно легко производить удаление остатков. Поэтому наиболее сложной задачей при работе газогенератора и является это удаление больших количеств шлака; старые конструкции к этому были весьма мало приспособлены. При газогенераторах с ручным удалением золы редко можно было работать на топливе зольностью свыше 15—20%. Специальной конструкцией для переработки подобных топлив является кольцевой газогенератор

[1] По Markgraf, «St. u. E.», 1918, стр. 649.

[2] По Бунте и Террес, «I. f. G.», 1918, стр. 447.

[3] По «Veröffentl. d. Ges. f. Gasfeuerungstechnik» (Kerpely-Patente). G. m. b. H.

[4] По Bunte, Viehoff und Czáko, «J. f. G.», 1920, стр. 589.

Янса [1], в котором газификация топлива производится в нескольких последовательно соединенных камерах. Этим способом достигаются очень большая общая высота слоя и длина пути газов, что и дает возможность использовать даже весьма многозольные топлива с сравнительно хорошими результатами. Камера, находившаяся в работе достаточно долгий период, раскрывается и полностью освобождается от остатков. Несмотря, однако, на хорошие результаты в отношении газификации, конструкция эта не привилась вследствие незначительной пропускной способности и высокой стоимости; кроме того, и эксплоатационные расходы являются весьма значительными вследствие необходимости ручной работы при очистке генератора.

Вопрос золоудаления можно счить решенным с введением генератора с вращением решетки и с автоматическим шлакоудалением (Керпели, 1903, фиг. 79). Одновременно в этой конструкции было достигнуто весьма равномерное распределение дутья, что сразу свело к сравнительно редким затруднениям случая неравномерного горения и связанного с этим зашлакования. Генераторы с вращением решетки различных конструкций, мало отличающихся между собой по способу работы, были вскоре введены в практику во многих местах. В табл. 41 представлены характеристики работы различных типов газогенераторов на различных топливах с содержанием золы от 20—45%. Конечно, и другие системы газогенераторов, имеющие автоматическое золоудаление, могут с успехом применяться для этих топлив; обязательным условием является, как это было указано ранее, возможность обильной присадки пара. Поэтому многозольные топлива пригодны для целей газификации с отбором побочных продуктов.

Можно было бы ожидать, что газификация подобных топлив выполнима при всяком содержании золы, при котором теплопроизводительность, однако, достаточно высока, чтобы обеспечить нагрев золы до потребной наименьшей температуры газификации (900—1 000°).

Фактически уже при содержании золы около 50% весьма трудно поддерживать правильную работу газогенератора и эта величина представляет практическую границу, через которую не рекомендуется переходить при значительном производстве.

Этот опытный результат можно подтвердить также и расчетным путем. При правильном ходе газогенератора нужно ожидать получения газа по меньшей мере в 1 100 *кал* (исключая теплопроизводительность смолы). При этом теплотехнический к. п. д. должен равняться 88%. Предположим, что газ, содержащий в 1 $м^3$ по крайнем мере, 160 *г* углерода, уходит при самой низкой температуре в 100°. Если 1 *кг* горючей массы топлива с 800 *г* углерода имеет теплопроизводительность в 7 500 *кал*, то при получении 1 $м^3$ газа с учетом соответствующего образования смолы и потерь углерода — в реакцию вступят:

$$7\,500 \cdot \frac{160}{800} = 1\,500 \text{ кал},$$

[1] D. R. P. 144826 147061, 154759 и 169998; см. «Z. d. V D. I.», 1904, стр. 311; 1905, стр. 793 и 2037 «F. T.», J. I, стр. 225.

Таблица 41

Газификация многозольных топлив

Система газера	Топливо и его происхождение	Состав топлива H_2O %	Состав топлива Зола %	Низшая теплопроизводительность *кал/кг*	Производительность, *кг/м² сечения*	Состав газа CO_2	Состав газа CO	Состав газа CH_4	Состав газа H_2	Низшая теплопроизводительность *кал/м³*
Кольцевой газер Янса	Мелочь саарского угля	—	25	—	Около 65	13,6	8,2	3,6	21,9	1 120
Газер Пинча для мелкого угля	Унос из дымовых камер	2,9	19,2	6 070	—	5,0	26,0	0,2	12,0	1 110
Газеры с вращающейся решеткой различных конструкций	Мелочь саарского угля	2,4	27,0	5 600	110	3,5	27,0	2,6	9,0	1 320
	Сланцевый уголь из Верхней Силезии	7,0	37,0	4 000	115	13,0	14,6	1,8	17,3	1 045
	Сланцевый уголь шведский	10,0	45,0	3 000	125	9,9	17,7	4,5	11,2	1 215
	Низкосортный антрацит	3,3	23,5	5 800	155	4,7	26,8	0,6	10,9	1 100
	Буроугольный сланец	15,9	19,7	4 200	220	9,3	21,0	1,8	16,3	1 210
	Лигнитная мелочь из Вестервальда	18,6	36,7	2 600	Около 150	7,8	20,1	4,0	13,7	1 300
	Хвосты обогащения и сланцы (отбор)	—	—	—	» 135	10,7	12,8	—	28,5	1 226
Газер Монда	Мелочь верхнесилезского угля	11,1	21,5	5 900	» 90	16,0	11,6	3,8	24,4	1 330

если мы возьмем сразу всю сумму химических процессов от газового пространства до зоны газообразования. С газом отводится:

1 100 *кал* — в теплотворной его способности,
50 *кал* — в содержащейся смоле,
38 *кал* — в собственном тепле.

Потери составляют около $0{,}12 \cdot 1\,500 = 180$ *кал*

Всего . . . . . 1 368 *кал*

на каждые 160 *г* углерода освобождается 132 *кал*; так как горючая масса должна содержать 80% газифицируемого углерода, то на 1% горючего вещества в сыром угле (8 *г*) освобождается 6,6 *кал*.

Освобождающееся при этом количество теплоты должно быть достаточным, чтобы нагреть топливо от 0° до наименьшей температуры реакции — 900°. При теплоемкости золы в 0,2 и горючего вещества угля —

0,3 и при принятии среднего значения влажности в 10%, получаем следующее выражение (x — обозначает содержание золы):

$$\frac{x \cdot 0{,}2}{100} + \frac{(90 - x) \cdot 0{,}3 \cdot 900}{100} + \frac{10 \cdot 600}{100} = (90 - x)\ 6{,}6,$$

$$x = 51\%.$$

Это вычисление является, конечно, только приблизительным, но отчетливо показывает влияние отдельных факторов. Если почему-либо желательно вести работу с высокозольным топливом, то приходится довольствоваться более плохим газом. В связи с этим ухудшается и к. п. д. Поэтому можно считать, что при дальнейшем повышении содержания золы свыше 50% производство можно вести только при существенном снижении экономичности процесса.

Особенно важен здесь вопрос об использовании низкосортных горючих сланцев и т. п. Подобные топлива, содержащие обычно около 8—10% горючих веществ, большей частью битумов, дают при дестилляции около 3—5% жидких погонов. Остающиеся (около 3%) горючие могут служить топливом для этого процесса дестилляции. В последнее время для этой цели были предложены специальные системы газогенераторов. Однако согласно вышесказанному о собственно газификации здесь нельзя говорить, как показывает и вышеприведенный расчет; при по необходимости низком теплотехническом к. п. д. около 5% горючего вещества идет на покрытие расхода тепла для нагревания 90 частей золы. При этом необходимо или затратить полученный при низких температурах швельгаз на обогревание перегонного аппарата, или же полностью использовать горючее путем внутреннего его сгорания в слое. Первый способ и ранее, и в настоящее время применялся для переработки битуминозных сланцев в ретортах, как это мы встречаем в шотландских сланцеперегонных заводах, а также на заводах в Месселе (около Дармштадта). Перегонка здесь производится при довольно низких температурах способом наружного обогревания, причем образуется швельгаз калорийностью 3 000 и смола. Получающийся газ служит для обогревания реторты и избытка его обычно не наблюдается. Ближайшей задачей здесь является применение в этих ретортах для автоматического удаления остатков вращающихся решеток, подобно тому, как это имеет место в газогенераторах, и, кроме того, ведение процесса с внутренним обогревом, при котором образующийся в нижних слоях газ сгорает в верхних слоях при подводе избыточного воздуха. Этого вполне достаточно для перегонки легко улетучивающихся смол. Но в этом случае будет правильнее называть аппарат уже не газогенератором, а перегонной печью с внутренним обогревом. По сравнению с прежними методами такой способ имел бы несомненные преимущества. Необходимы только детальные испытания, чтобы обеспечить его успешное применение на практике. Согласно исследованию автора осуществление этого способа возможно только таким путем: перегонная камера отделяется от газогенератора и последний за счет ухудшения состава газа разогревается до максимальной возможной температуры. Таким образом здесь уже собственно нужен не газогенератор, а просто сжигательная камера для остатков от перегонки; регулировку температуры перегонки лучше всего производить при помощи присадки водяного пара, что улучшает как самый процесс швелевания, так и качество получаемой сланцевой смолы.

В общем можно сказать, что газификация многозольных топлив с содержанием золы до 50% возможна с хорошими результатами на газогенераторах с вращением решетки и с автоматическим золоудалением, если только не имеет места особенно неблагоприятный состав золы, т. е. ее низкая точка плавления. Всегда сравнительно высокий зольный слой требует обеспечения хорошего распределения подводимого для газификации воздуха. Производительность на 1 $м^2$ сечения шахты является примерно такой же, как при газификации угля. В соответствии с размерами решетки она даже должна бы быть несколько выше, но это не имеет места вследствие некоторого замедления химических процессов, связанного с передачей тепла через большие толщи вещества. Поэтому вне зависимости от системы золоудаления необходимо обращать максимальное внимание на возможно большие размеры поперечного сечения шахты и достаточную ее высоту.

Большое значение имеет также предварительный подогрев воздушного дутья при работе на особенно многозольных топливах, с использованием при этом наличных источников отходящего тепла. Эти условия дают возможность использовать для газификации также и топлива с бо́льшим содержанием золы, чем 50% [1].

в) Газификация богатых влагой топлив

Газификация топлив с высокой влажностью представляет, очевидно, более простую задачу, так как вода уже в верхних слоях удаляется и не влияет поэтому на ход газификации в области решетки. Конечно, и здесь должна быть дана определенная граница, которую нельзя переступать. Согласно данным практики эта граница лежит между 50—55%, если иметь в виду получение газа нормального состава. Во всяком случае эта граница вообще имеет силу для топлив нормальной крупности, не для штыба и т. п.

Эту границу также можно получить посредством приблизительного расчета. Зависимость здесь следующая: в то время как при сухих топливах выходящий в газовое пространство газ имеет температуру от 500 до 800°, эта температура становится тем ниже, чем выше содержание воды, так как именно физическое тепло газа и затрачивается на высушивание топлива. Химическое взаимодействие между газом и топливом не может уже иметь места в температурной области ниже 900°; потребная же для процесса швелевания затрата тепла может не приниматься во внимание. По новейшим взглядам самый процесс швелевания, раз начавшись, уже не требует подвода тепла, протекая, наоборот, с его выделением, так как образование окислов углерода и водорода, а также расщепление углеводородов происходят с освобождением тепла. Незначительный расход тепла на испарение смолы и перевод некоторых составных частей в газообразную форму может быть легко покрыт указанным избытком. Фактически при очень влажных топливах получается газ лишь с температурой около 100°. Если мы принимаем, что химические реакции в среднем за-

[1] О газификации многозольных шунгитов см. проф. Б. К. Климов, В. Ланин, Н. Пугачев, Опыты газификации шунгита, «Химия твердого топлива» № 9 — 10, 1932. Ред.

вершаются при 900°, то именно физическое тепло получающегося при этой температуре газа затрачивается на нагревание опускающегося топлива до соответствующей температуры, примерно на 100° ниже температуры реакции, — и на испарение его влажности. Так как при этом приходится иметь в виду почти исключительно более молодые топлива с высоким содержанием кислорода, то можно принять в среднем теплопроизводительность сухого топлива в 5 300 *кал* (для молодых бурых углей, торфа и дров эта величина должна быть понижена до 5 000 *кал*).

С принятием во внимание выделения смолы можно считать выход газа на 1 *кг* такого сухого угля в 3,5 $м^3$. Если тогда мы обозначим через x ограничивающуюся влажность, то будем иметь:

$$\frac{(100-x)\,3{,}5\cdot 0{,}35\,(900-100)}{100}=\frac{x\cdot 600}{100}+\frac{(100-x)\,0{,}29\cdot 800}{100},$$

$$x=56\%.$$

Эта цифра хорошо согласуется, как мы видим, с данными опыта.

В табл. 42 сопоставлены некоторые результаты газификации топлив с высокой влажностью в различных типах газогенераторов. Приведенные в таблице низшие сорта бурых углей применялись всегда в виде плотного кускового или хорошего рядового угля. Весьма затрудняет процесс при многих топливах то обстоятельство, что при начале высушивания уголь рассыпается и в верхних слоях образуется кашеобразная масса, частично вызывающая вследствие своей значительной плотности осаждение уже испарившейся в нижних слоях влаги и смолы. Вследствие этой причины выхода смолы при высокой влажности (примерно выше 40%) обычно весьма низки, так как часть смолы опускается в низшие слои и претерпевает там разложение.

Об обстоятельствах, влияющих на получение смолы, будет в дальнейшем сообщено в другом месте. Во всяком случае, однако, можно считать, что сырой уголь с влажностью до 55% при нормальной крупности может успешно газифицироваться. Это особенно наглядно показывает испытание, проведенное Бекером и Вейсом на сталеделательном заводе Белер в Дюссельдорфе — Оберкасселе [1], давшее результаты, представленные в табл. 43.

Резюмируя, можно сказать, что газификация в пределах практически встречающихся величин влажности вполне возможна, если применяется топливо однородное по крупности и если уголь не имеет слишком большой наклонности к распадению при высушивании. Вследствие отвода значительных количеств пара производительность на 1 $м^2$ сечения шахты сравнительно незначительная, что ведет к низкой экономичности; поэтому предварительная подсушка топлива имеет здесь особенное значение. Газификация происходит легко и сравнительно быстро, конечно, вследствие высокого содержания кислорода в топливе. Тем более необходима достаточная высота топливного слоя, в особенности в связи в весьма слабой плотностью укладки многих относящихся к этой группе топлив (как лигниты [2], дрова, формовочный торф). В соответствии с этим приме-

[1] «St. u. E.», 1920, стр. 1065.

[2] В отношении лигнитов работа А. Шульце приводит к заключению о необходимости их предварительной подсушки (для сырого продукта с W - 40—70%, иначе дестилляционные газы по удалении влажности содержат до 30—35% CO_2, которую приходится удалять. «Gas i Wada» № 11, 1930. Ред.

меняют газогенераторы с очень высокой шахтой (до 6—8 *м*) небольшого диаметра, чтобы по возможности устранить боковой огонь. Конструкция решетки для этих топлив, обычно малозольных, может быть очень простой; поэтому даже с простыми плоскими решетками получают при газификации дров и торфа хорошие результаты (случай 1—3 табл. 42).

Таблица 42

Газификация влажных топлив нормальной крупности

Тип газогенератора	Топливо и его происхождение	Состав		Теплопроизводительность	Производительность, $кг/м^2$ сечения шахты	Состав газа				Теплопроизводительность
		H_2O %	Зола %	*кал/кг*		CO_2 %	CO %	CH_4 %	H_2 %	*кал/м³*
Дровяной газогенератор шведский	Сосновые дрова	—	—	—	—	6,2	26,0	5,1	4,3	1 330
Торфяной генератор фирмы Дейтц	Машинный торф воздушно-сухой	32,3	3,3	—	—	5,7	30,6	8,1	6,1	1 520
Торфяной газогенератор фирмы Герлиц	То же	23,8	4,1	3 500	Около 180	13,5	14,3	1,5	17,0	1 000
Газогенератор Монда	»	48,5	1,2	2 800	100	18,4	11,4	3,3	23,3	1 230
Газогенератор с вращением решетки различных типов	Бурый уголь чехословацкий	25	17	3 400	270	3,0	30,0	2,2	14,5	1 480
	Бурый уголь среднегерманский	53	6	2 500	85	7,0	25,0	1,5	11,0	1 170
	То же биттерфельдский	50	4	2 600	90	7,9	24,1	2,1	9,4	1 150
	То же нахтерштедтский	45	6	3 000	100	7,0	25,0	3,0	9,0	1 250
	То же рейнский	57	2	2 200	—	8,0	24,0	2,0	13,0	1 230
	Лигнит	40	9	3 150	140	7,0	22,6	2,8	13,2	1 270
	Угольный шлам	35	30	3 000	105	9,5	15,0	1,2	12,0	870

г) Газификация мелкозернистых топлив

Существенно иными являются условия газификации мелкозернистых топлив. Здесь дело идет уже не о теплотехнических вопросах, но о том, чтобы достигнуть регулярного и равномерного подвода воздушного дутья через материал, оказывающий этому большое сопротивление. Работу на мелкозернистых топливах можно сравнительно хорошо вести на обычных газогенераторах, если только величина зерен очень равномерна и если значительное понижение пропускной способности не имеет большого значения.

Так, например, на просеянной антрацитовой мелочи (4—6 *мм*) можно получить совершенно нормальный газ примерно с 27% CO, т. е. одинакового качества с газом из крупнозернистого угля. Однако пропускная способность достигает при этом всего лишь одной трети, высота слоя топлива в генераторе — только половины и сам процесс требует несравненно большей внимательности. Еще труднее задача, когда топливо является неравномерным по крупности. Чтобы получить здесь основание для оценки, рекомендуется привести испытание топлива путем просевки, что в общем еще слишком мало применяется.

Таблица 43

Результаты опытов Бекера и Вейса с бурым углем и буроугольными брикетами

		Топливо	
		Бурый уголь	Буроугольные брикеты
Низшая теплопроизводительность топлива, *кал/кг*		2 090	4 800
Высота слоя угля, *мм*		1 350	1 100
» зоны горения, *мм*		175	250
Пропуск в 24 часа, *т*		21,5	15,8
» на 1 $м^2$/*час*, *кг*		109	124
» сухого топлива в 24 часа, *т*		9,2	13,4
» » » на 1 $м^2$/*час*, *кг*		72,5	105
Сравнение пропуска с сухим топливом (по калорийности)		0,69	1,0
Давление дутья, *мм* вод. ст.		193	200
» пара, *ати*		—	0,5
Температура газа у генератора, °Ц		200	420
Состав сухого газа	CO_2	9,3	3,7
	CO	23,3	30,0
	CH_4	1,4	2,0
	H_2	11,9	10,7
	N_2	54,0	53,9
Состав влажного газа	H_2O	35,9	13,4
	CO_2	6,0	3,2
	CO	14,9	26,0
	CH_4	0,9	1,7
	H_2	7,6	8,7
	N_2	34,6	46,7
(объемных %)			
Низшая теплопроизводительность (15°,1 *кг/см²*), *кал/м³*		1 044	1236
На 1 $м^3$ сухого газа при 15° приходится водяного пара, *г*		372	106
Точка росы газа, °Ц		75	53
Давление газа, *мм* вод. ст.		40	40
Горючих составных частей в сухом газе, объем в %		36,6	42,1
Углерод в остатках, %		8,1	13,7
Выход сухого газа (15°,1 *кг/см²*), $м^3$/*кг*		1,59	3,11
1 *кг* топлива дает в газе, *кал*		1 660	3 830
Теплотехнический к. п. д. η=		0,80	0,79
Полученное связанное тепло в холодном сухом газе за 24 часа, млн. *кал*		35,7	60,5
Сравнение полученных количеств тепла		0,59	1,0
Температура горения сухого холодного газа, °Ц		1 629	1 783
» » холодного влажного газа без смолы, °Ц		1 288	1 665
» » » » » со смолой (10 *г* в 1 $м^3$), °Ц		1 334	1 701

Основной идеей проектируемого газогенератора является, как вытекает уже из сказанного выше, применение низких слоев топлива при нормальном давлении дутья или же — подвод воздуха под большим давлением. Наиболее старые типы газогенераторов для мелкозернистых топлив используют первую мысль и строятся таким образом, чтобы топливный слой можно было поддерживать на одной определенной высоте. Газогенераторы с вращением решетки также неоднократно применялись для газификации штыбоватых и мелкозернистых топлив; пример такой работы мы должны здесь привести. Для пяти газогенераторов фирмы MAN на руднике Consolidation было произведено Обществом котлонадзора рудников в Дортмундском [1] округе Высшего горного управления — гарантийное поверочное испытание на коксовой мелочи крупностью ниже 20 *мм*. Результаты, полученные при испытании, приведены в табл. 44.

Таблица 44

Газификация коксовой мелочи на руднике Consolidation

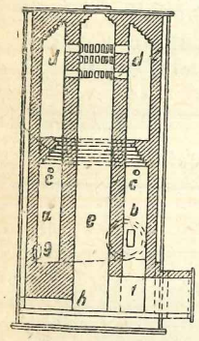
Продолжительность опыта, часов		48
Содержание золы в топливе, %		16,2
Влажность топлива, %		17,5
Содержание летучих в топливе, %		3,7
Теплопроизводительность топлива:	вычисленная в *кал/кг*	6 867
	определенная в калориметре, *кал/кг*	6 843
Расход топлива общий, *кг*		42 040
» » часовой »		875,8
Количество остатков, *кг*		3 257
» » от газифицированного топлива, %		7,7
Содержание горючего в остатках, %		39,3
» » » » по отношению к газифицированному топливу, %		3,0
Подвод пара, *кг/час*		180,0
Температура газа при выходе из генератора, °Ц		320
» » » » » скруббера, °Ц		17,9
» » » » в газовую машину, °Ц		19,3
Давление под решеткой, *мм* вод. ст.		38
» над » » »		119
Состав газа	CO_2 объемный %	5,1
	O_2 » %	0,2
	CO » %	27,3
	CH_4 » %	1,4
	H_2 » %	15,9
Теплопроизводительность газа:	вычисленная в *кал/м³*	1 360
	определенная в калориметре — высшая, *кал/м³*	1 196
	то же, низшая *кал/м³*	1 170

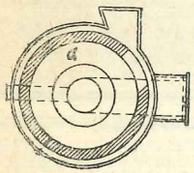
		I	II
Машины:	Число об/мин	125,8	126,0
	Мощность, *и. л. с.*	780,2	830,7
	Расход топлива, *кг/и. л. с.*	0,544	

Однако при этом получаются весьма малые пропускные способности, что и навело на мысль вести работу с более тонким слоем топлива и более

[1] См. Reiser, Glückauf, 1919, S. 673.

высоким давлением дутья и притом таким образом, чтобы разбить топливный слой на несколько слоев, включаемых в работу последовательно (см. например, Керпели, D. R. P. 235488, 1910)[1]. При этой конструкции можно считать, что в нижних слоях образуется вследствие избытка воздуха преимущественно CO_2, восстанавливаемая при прохождении через верхние слои в CO. Это правильное соображение и основанные на нем конструкции не сопровождались, однако, успехом, так как распределение и регулирование топливных слоев оказалось чрезвычайно трудным вследствие неравномерного горения, имело место образование коксовых пирогов и шлаковых камней и вообще ведение правильного непрерывного процесса оказалось невозможным.





Фиг. 112. Газогенератор для угольной пыли Херта.

Та же основная мысль положена в основу способа Тимма (Timm, D. R. P. 132562), по которому часть угля сжигают во вращающейся трубчатой печи с пылевой топкой в CO_2 и восстановляют ее в CO пропусканием через другую часть топлива, загружаемую в обратном направлении через барабан. К сожалению, этот способ не нашел еще достаточно простого конструктивного оформления, хотя позднее многие исследователи занимались этим вопросом.

Далее, аналогичную идею использует так называемый газогенератор с пылевым дутьем системы Марконе (Marconnet, D. R. P. 161980), сжигающего угольный штыб предварительно в специальной камере на пылевой топке и затем восстанавливающего образовавшуюся CO_2 в обычной шахте принятым способом. Окончательных данных о работе этой конструкции еще не имеется. Во всяком случае удаление золы из передней камеры представляет значительные затруднения, и Марконе позднее уже перешел на шлакоудаление в жидкой форме, способы которого были известны уже ранее. Газогенераторы с плавлением золы позволяют работать с высокими давлениями и большой производительностью, но газификация штыбов или очень штыбоватых углей в них пока невозможна. С мелким же углем или мелким коксом были получены превосходные качества газа и высокая производительность (до 300 *кг* на 1 $м^2$ сечения). Надлежит считать поэтому совершенно не исключенным, что путем соответствующих приспособлений может быть разрешен вопрос газификации в них также и штыбов.

Здесь заслуживает упоминания также порошковый газогенератор Херта (Hirth, фиг. 112). Генератор имеет 6 *м* высоты и состоит из кольцевидной камеры *a*, в которую пылеугольновоздушная смесь вдувается тангенциально, точно так, как в порошковые топки; около *c* перед сужением шахты имеются четыре сопла для впуска пара, воспринимающего избыточное тепло, получающееся при горении штыба, что и обеспечивает возможность взаимодействия между увлеченными раскаленными частицами штыба и водяным паром. Сужение шахты, несомненно, задерживает дальнейшее распространение штыба. Газообразование полностью заканчивается в

[1] См. «Sparsame Wärmewirtschaft», вып. 1.

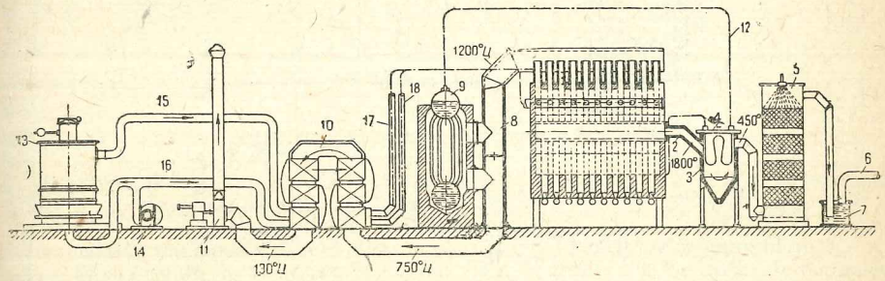
верхней части кольцевидной шахты. Газы проходят через отверстия *d* в среднюю часть шахты *e* и отводятся через *f*. Шлаки стекают через *g* и *h*. Газогенератор диаметром 3 *м* в Лидсдейле (Riter Conley Co, Leedsdale) доставляет газ для газовой машины в 3 000 *л. с.* [1]; эту производительность нужно считать удовлетворительной. Однако по своему составу газ обнаружил очень сильные колебания, а именно:

От 2,8 до 9,4% CO_2
От 2,1 до 5,17 CH_4
От 12,2 до 27,5% CO
От 6,17 до 12,2% H_2

отсюда можно видеть, какие трудности представляет работа по регулированию процесса [2].

[1] «Journal of the Amer. Soc. of Mech. Eng.», Dez. 1910.

[2] В последнее время генераторы на пылевидном топливе привлекают особое внимание конструкторов вследствие возможности получить высокую производительность аппарата. Здесь нужно отметить патент Геллера (43934, 1929), «Вестник Композиз» № 10, 1931, также Gwosdz, Kohlenwassergas, стр. 175. Генератор Геллера представляет барабан, разделенный поперечными перегородками на ряд узких камер-ячеек, попеременно нагревательных и рабочих; рабочие ячейки соединяются центральным коллектором, по которому подается пылевидное горючее в смеси с паром (фиг. 112а); см. Вг. № 11, 1928. Газер



Фиг. 112а. Пылегазер Геллера.

1. Генератор.
2. Отвод водяного газа.
3. Пылеуловитель.
4. Пароперегреватель.
5. Скруббер.
7. Гидравлический затвор.
8. Отвод газов.
9. Котел на отходящих газах.
10. Подогреватель воздуха и газа.
11. Дымовая труба.
12. Паропровод.
13. Вспомогательный генератор.
14. Воздушный вентилятор.

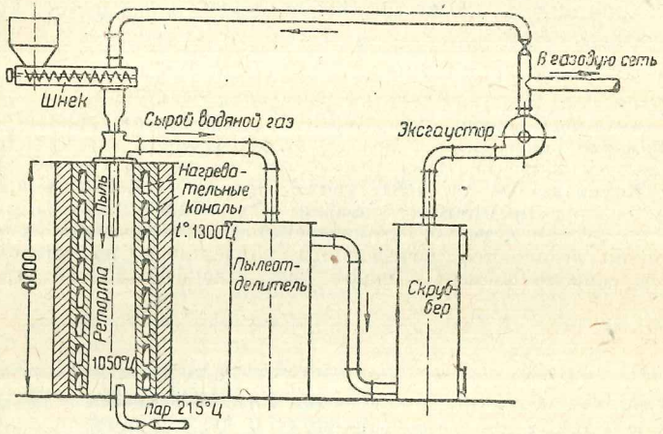
не оправдал пока особенных надежд в отношении повышения производительности (значительный унос; газер с 12 ячейками диаметром 5,0 *м* дает лишь около 63 тыс. $м^3$ водяного газа в сутки, тогда как двугазеры Шкода обычной конструкции дают уже 56 тыс. $м^3$). О процессе в газере Геллера см. выше (сноска к стр. 87).

В этом отношении интересен патент Винклера (куплен J. G., Leuna Werke, см. примечание на стр. 86), по которому в газер поступает измельченный полукокс (из буроугольной крошки), газифицируемый во взвешенном состоянии (Tanz-Verfahren); подробности еще тщательно скрываются; температура процесса 900°, газ уходит с 800°; высота шахты — 8,0 *м*. Производительность — огромная (до 85 тыс. $м^3$ /*час*, в 25 — 26 раз больше газеров

Применение высокого давления не могло иметь места в газерах прежних конструкций, так как всегда приводит к образованию кратеров и неравномерного горения. Но даже и после перехода к конструированию специальных генераторов с вращением решетки для высоких (генератор высокого давления Керпели, D. R. P. 242017, фиг. 93, подобные же конструкции Гутехофнунгсхютте, Пинча и др.) — только тогда преодолели

AVG). Все же рентабельность процесса оспаривается (газер дорог, газ слаб, 800 *кал/м*³). См. большой доклад Крауха (Gwosdz, K. w. g., стр. 196).

Другой принцип использован Герцбергом (фиг. 112б): аэрированная пыль (буроугольная) встречает при температуре 1 000 — 1 100° противосток водяного пара (перегретого до 275°); газ получается весьма хороший: Q=2 800 *кал/м*³;



Фиг. 112 б. Опытный пылегазер Герцберга.

количество 2,2 *м*³/*кг*, состав: H_2 — 48,4%; CO — 33,5%; CO_2 — 6,1%; CH_4 — 4,7%; C_nH_m — 0,7%; O_2 — 0,4%; N_2 — 6,2% (см. «Торфяное дело» № 6, 1931, статья Д. В. Заикина и у K. Schmidt, GWF, 1928, стр. 1156).

Интересные данные есть у I. Gwosdz, О газификации пылевидного топлива, «Ch. Z.» № 63, 1927; Backhaus, Газификация пылевидного угля, «Engineering» № 3164, 1926; S. M. Ewen, Коксование пылевидного угля при низкой температуре, «Combustion» № 2, 1926. Интересный расчет газогенератора «чистого» водяного газа (Blauwassergas) дал Л. В. Полонский. Газер Полонского должен работать на пылевидном топливе, например, на подмосковном угле. Описание газера см. Л. В. Полонский, Газогенератор чистого водяного газа высокой производительности, «Химия твердого топлива» № 2, 3 и 4, 1931.

О работе пылегазера Льюиса (старый патент англ. № 9988, 1913), осуществленного в 1925 г. и хорошо работающего, см. «Power», 1925, стр. 634.

О работе конструкции Лихтенбергера и Больца — газер с затвором из расплавленного NaCl, являющегося одновременно и источником тепла, см. «Br. Ch.» № 14, 1932, стр. 274 и в «Бюллетене новой техники», 1932, сообщение 692 Л. Полонского.

Интересная конструкция Геллера, Бауера и Бамаг выполнена в 1928 г.: реактор-газер состоит из двух соединенных в верхней части шахт, заполненных шамотной насадкой с вертикальными каналами; реакционная смесь проходит шахты последовательно (удлинение времени реакции): сначала «шахту для перегрева», затем — «шахту газификации» (см. «В. К.» 17/III 1928, стр. 204, и Gwosdz Kohlenwassergas, 187). В САСШ осуществлена конструкция H. W. Brennera совместно с Fuller Leigh Co (см. L. C. Harvey, Pulverized, Coal. and Fuel, L. 1924, стр. 136. Ред.

Таблица 45

Газификация мелкозернистых топлив

Тип газогенератора	Топливо и его происхождение	Состав и теплотворность топлива: H_2O, %	Зола, %	*кал/кг*	Крупность топлива: 0—1 *мм*	1—5 *мм*	5—12 *мм*	12 *мм*	Часовая производительность *кг/м*² сечения шахты	Состав газа: CO_2, %	CO, %	CH_4, %	H_2, %	Низшая теплопроизводительность, *кал/м*³
Конструкция Газогенераторного общества, Дрезден	Чехо-словацкий бурый уголь 0—10 *мм*	30	7	4 500	—	—	—	—	79	5,1	25	2,3	16,5	1 409
	Антрацит 0—4 *мм*	13,5	16	5 520	—	—	—	—	53	4,8	22,3	—	—	—
	Биттерфельдский рядовой уголь	46,8	7	2 750	—	—	—	—	53	10,5	22,7	1,7	12,7	1 175
Генератор Пинча для угольной мелочи	Унос из дымовых каналов	2,9	19,2	6 070	—	—	—	—	—	5,0	26,0	0,2	12,0	1 110
Газогенератор высокого давления, патент Керпели	Коксовая мелочь вестфальская	12	17	5 620	20	41	30	9	110	2,4	32,5	0,6	12,3	1 155
	То же	15	15	5 570	34	50	16	—	105	5,9	26,1	0,6	11,3	1 130
	Штыб верхнесилезский	9	15	5 650	11	50	34	5	130	5,2	26,7	1,9	15,0	1 350
	Штыб альпийский	33	14	3 250	8	46	41	5	125	7,0	27,4	2,5	18,3	1 520
	» лигнитовый	20	12	4 560	4	71	23	2	105	10,0	21,9	2,0	22,2	1 410
	Антрацитовая мелочь	8	20	5 800	6	44	29	21	170	4,3	28,3	0,3	11,0	1 160

трудности процесса, когда была установлена необходимость по возможности равномерного разделения отдельных дутьевых потоков. Поэтому вместо решетки с дутьевыми щелями применили в этом случае игольчатую решетку с многочисленными просверленными отверстиями в 6—22 *мм* диаметром (фиг. 94). Таким путем были получены весьма успешные результаты, приведенные в табл. 45 вместе в данными по другим конструкциям. Несмотря на эти результаты, применение генераторов высокого давления все же весьма ограничено вследствие тяжелого обслуживания. В некоторых случаях на них были получены очень удовлетворительные показатели. Пфейфер получил при одном из испытаний на производительность генератора высокого давления 2,6 *м* диаметром на Будапештском газовом заводе указанное в табл. 46 распределение тепла, причем из мелкого кокса с величиной зерен 5—10 *мм*, содержавшего 69,9% C, 19,48% золы и 7,36% воды — был получен газ с 5,1% CO_2, 26,26% CO, 1,1% CH_4, 10,82% H_2, 56,50% азота и с низшей теплотворностью в 1 171 *кал*. Выход газа был 3,7 *м*, пропускная способность 508 *кг* в час, т. е. около 96 *кг/м*^{2}, потребление пара достигало 0,484 на 1 *кг* горючего.

Таблица 46

Опыты Пфейфера с коксовой мелочью на газовом заводе в Будапеште

Основное теплораспределение	*кал*	%
Высшая теплопроизводительность газа	4 333	67,75
Потери с золой	427	6,88
» » уносом	27	0,42
Физическое тепло газа (температура газа — 315°)	355	5,55
Потери излучением и теплопроводностью	989	15,46
Общий дебет тепла на 1 *кг*	6 396	100,00

Вследствие неизбежного разнообразия величины отдельных кусков легко возникают нарушения правильного хода процесса, которые могут быть ограничены до минимума лишь при помощи тщательного контроля работы. Несмотря на это, проблема газификации под высоким давлением представляется мне в настоящее время более важной, чем когда-либо; полученные результаты являются достаточно ценными, чтобы продолжать работу в этой области. После того как вполне удовлетворительно решена главная задача, конечно, можно будет разрешить оставшиеся частные задачи путем применения соответствующей целесообразной конструкции. Особенно важно введение механической шуровки с планировкой, причем уже известны и в этом отношении конструкции, подающие большие надежды [1].

д) Газификация бурых углей

Если газификация мелкозернистых углей, как мы уже видели, представляет значительные трудности, то мы должны ожидать гораздо больших затруднений для топлив, являющихся одновременно и мелкозернистыми, и влажными, как например, среднегерманские или рейнские бурые угли. Правда, кусковатый плотный бурый уголь является, разумеется, вполне удовлетворительным материалом для газификации, однако он составляет лишь несколько процентов добычи. Землистые угли, очень напоминающие по внешнему виду низкосортный нюхательный табак, составляют главную массу. Газификация подобного материала, к сожалению, еще не может считаться разрешенной задачей. Исходя из существующих известных конструкций, мы могли бы считать возможной газификацию рядового бурого угля при условии лишь весьма малой нагрузки шахтного сечения (около 60—80 *кг/м*^{2}). Но, принимая во внимание незначительную теплопроизводительность угля, мы должны бы в таком случае даже при средней величине установок иметь согласно расчету такое количество газогенераторов, что экономичность такого решения оказалась бы под сильнейшим сомнением просто вследствие дороговизны обслуживания и трудности контроля. Поэтому здесь специальной задачей является создание конструкции газогенератора большей производительности. В качестве весьма заслуживающего внимания способа решения этой задачи может быть указан кольцевой генератор системы Пинч (D.R.P. 284264, фиг. 96). С другой стороны, для этой цели были предложены прямоугольные газогенераторы, соединяемые в непрерывные ряды — батареи, что дает возможность удешевления их загрузки и прежде всего значительно понижает стоимость, оказывающуюся более низкой, чем стоимость кольцевого генератора.

Прямоугольные камерные газеры могут иметь наименьшую строительную стоимость, если совершенно отбросить кожух шахты. Разделение генератора большой мощности на отдельные камеры, кроме того, имеет уже то основание, что мы получаем возможность при различного рода неполадках и колебаниях процесса выключать отдельные камеры, не теряя, таким образом, как это было бы с цельным прибором, всей топливной загрузки. Этот вывод, сделанный Витфельдом (Wittfeld), привел к оставлению системы кольцевого газера и развитию типа прямоугольных камерных генераторов; в последние годы было разработано несколько улучшенных конструкций последних, в особенности в отношении решетки и золоудаления (стр. 160). Однако прямоугольное сечение шахты является не вполне подходящим, так как очень затрудняет и делает почти невозможным распределение дутья по всей площади; в мертвых углах происходит значительное накопление золы. Мы поэтому ограничимся здесь лишь указанием на некоторые из этих конструкций, без детального их описания. Таковы конструкции Ф. Гофмана, D.R.P. 288127, Бамаг, 296336, MAN 315014 [1] и многие другие позднейшие системы. Однако удовлетворительного решения вопроса, по мнению автора, до сих пор еще не найдено [2].

До разработки пригодной на практике производственной конструкции газера на буром угле и ввиду невозможности как экономической, так и народнохозяйственной перейти на газификацию настоящих бри-

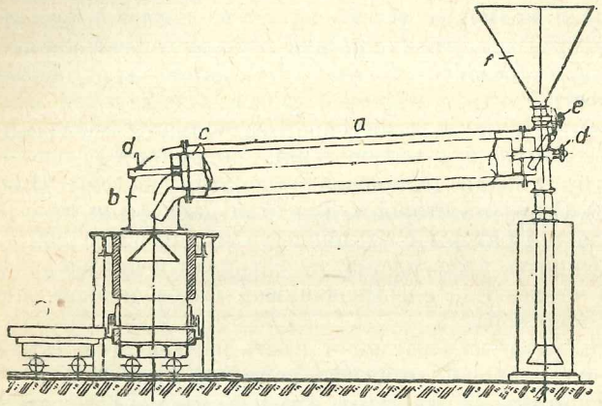
[1] В СССР интересные работы по газификации под давлением ведет инж. К. С. Заремба (см. его работу в «Химии твердого топлива» № 7—8 1932, стр. 505). Ред.

[1] Fischer, Kraftgas, 2-е изд., стр. 177.

[2] В настоящее время исследовательские органы СССР работают над проблемой мощного газера в двух направлениях: создание газера большого сечения и газификации во взвешенном состоянии (работы Теплотехнического института, Инсторфа, Мосхимэнергостроя, Газогенераторстроя и др.). Ред.

кетов из бурого угля, представляется целесообразным расширить применение мокропрессованных брикетов. При значительно меньшей стоимости изготовления по сравнению с истинными брикетами, мокропрессованные топлива являются чрезвычайно подходящим веществом для газификации; если они и распадаются легче, чем настоящие брикеты, то это распадение происходит в зоне, где оно уже не имеет решающего значения.

Кроме того, нет необходимости высушивать мокропрессованные камни до 20—25% влажности, можно ограничиться их легкой подсушкой, заканчивающейся обычно в 4—7 дней, если применяются формы малых размеров. Нужно упомянуть также о новых предложениях в отношении повышения стойкости мокропрессованных камней путем добавления различных примесей (D. R. P. 323588). В некоторых случаях применяют смесь бурого угля с брикетами.



Фиг. 113. Газогенератор с сушильным барабаном Блецингера.

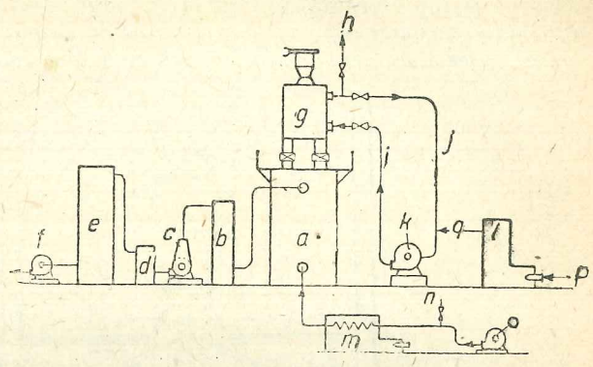
С другой стороны, подсушка сырого угля является средством, облегчающим возможность его газификации. Уже раньше делались попытки пространственно отделить зону подсушки и вести процесс таким образом, чтобы предотвратить образование кашистой массы.

Блецингер пытался достичь этого (фиг. 113) предварительным пропуском угля через присоединенный к газеру сушильный барабан, через который проводится газ из шахты. Установки этого типа работают удовлетворительно, но детальных данных еще не опубликовано [1]. Меньшие возможности в отношении успеха имеют конструкции, использующие для подсушки лучистую теплоту газера. Лучших результатов можно достичь, конечно, если производить подсушку не непосредственно самим газом. Если даже при этом приходится затрачивать топливо, то его тепло можно частично снова использовать, применяя для подсушки подогретое этим теплом дутье, обогащаемое при этом из самого топлива паром, нужным для процесса; это освобождает нас от затраты топлива на испаритель (Эккардт, D. R. P. 302827, 1914 и 306060, 1916). Можно производить подсушку также отходящими газами от топок или газомоторов (Пинч, D. R. P. 209387).

В этой области работала в особенности фирма A. G. fur Brennstoffvergasung [2] (Акц. о-во газификации топлива); здесь можно указать на

[1] «Giesserei Zeitung», 1914, стр. 633.
[2] Ныне Lurgi. Ред.

соответствующие публикации Мюллера [1] и Дюбуа (Dubois) [2]. Эти работы показывают, что прямоточный способ является для сушки вполне проверенным, но что при этом необходим весьма бедный кислородом рабочий газ. Данных по экономичности подсушки даже в специальных работах почти нет; в этом отношении приходится отсылать читателя к критике метода Эккардта, произведенной де-Гралем [3] (de Grahl); скупые указания, имеющиеся в вышеназванных публикациях, дают возможность считать процесс практически целесообразным. Общая схема всей установки показана на фиг. 114. Подсушенный уголь (рейнского района) испытывался в различных опытах с влажностью от 20 до 40% в газогенераторе



Фиг. 114. Газификационная установка с предварительной подсушкой, фирмы A. G. für Brennstoffvergasung.

a — генератор;
b — пылевой мешок;
c — дезинтегратор;
d — каплеловитель;
e — холодильник;
f — эксгаустер;
g — подсушиватель;
h — к трубе (дымов.) или к теплообменному аппарату;
i — подвод горячего газа;
j — отвод холодного газа;
k — вентилятор;
l — сожигательная печь;
m — перегреватель;
n — подвод пара;
o — дутьевой вентилятор;
p — генераторный газ;
⨯ — газовый шибер: дроссельный клапан;
⊠ — угольный шибер;
q — дымовые газы.

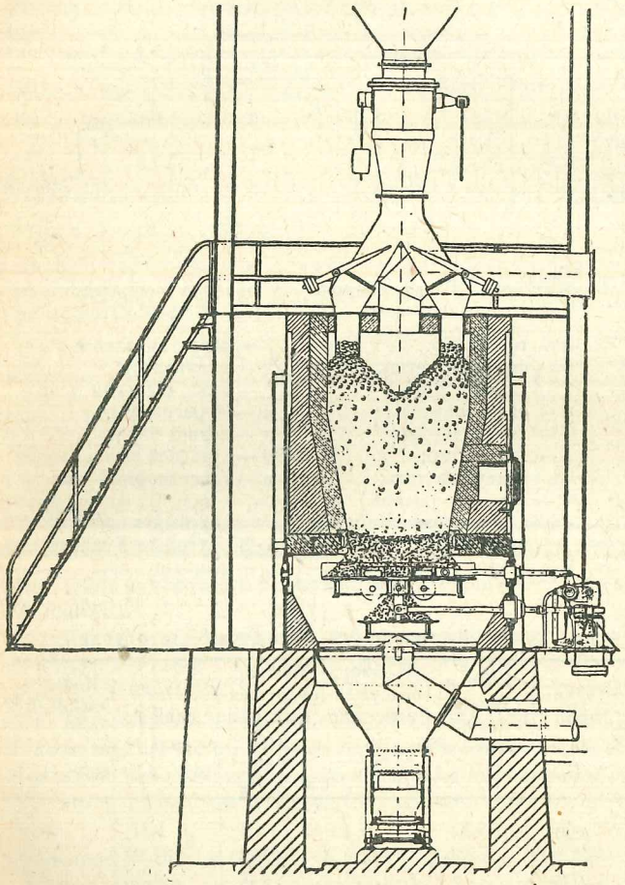
Таблица 47

Сравнение результатов газификации сырого и подсушенного угля

	Бензен; сырой уголь — 58% H_2O	Вейс и Бекер; сырой уголь — 57% H_2O	Мюллер; подсушенный при 70° уголь — 40% H_2O	Мюллер; подсушенный при 75° уголь — 20% H_2O	Челябинский [4] уголь — 20% H_2O	Подмосковный [5] уголь; Товарково — 33% H_2O
CO_2 %	8,62	9,3	9,4	13,4	8,01	6,8
CO %	23,50	23,3	22,7	18,9	24,03	22,0
CH_4 %	0,49	1,4	3,8	4,1	4,35	2,2
H_2 %	10,90	11,90	17,2	20,5	19,02	15,0
C_nH_m %	0,2	—	—	—	0,42	—
Теплопроизводительность, *кал/м³*	1 082	1 114	1 458	1 452	1 768	1 356
Температура горения, °Ц	1 610	1 620	—	1 715	—	—

[1] «Braunkohle», 1921/22, стр. 1.
[2] «Z. d. V. D. I.», 1922, стр. 821.
[3] «Wirtschaftliche Verwendung der Brennstoff», 2-е изд., стр. 98—100.
[4] По данным Теплотехнического института газификация на газерах A. V. G. со швель-шахтой (стеклозавод им. Дзержинского в Гусь-Хрустальном, см. работу инж. Н. В. Шишакова в № 2/72 «Известий Теплотехнического ин-та», 1932 г.). Ред.
[5] По данным Мосхимэнергостроя (см. А. Ф. Жуков и Л. З. Новиков, Дятьковская газогенераторная установка, «Х. Т. Т.», № 6, 1931). Ред.

с выдвижной плоской решеткой новой конструкции; при этом работали с различными температурами насыщения газификационного воздуха. Газогенератор представлен на фиг. 115. Результаты оказались весьма удовлетворительными, как это и можно было ожидать; производительность достигала 130 *кг* на 1 $м^2$/*час*. Анализы газа, приведенные для двух различных опытов в табл. 47, показывают высокое содержание CH_4, что обусловлено более благоприятным течением процесса сухой перегонки по сравнению с газификацией сырого угля. Теплосодержание холодного очищенного газа составило 73,5% от теплопроизводительности топлива. Высота зоны горения для легко газифицируемых топлив вследствие их плотной укладки очень невелика, почему и необходимо особенно заботиться о спокойной и правильной работе зоны газификации; на этом основании часто считают генераторы с вращением решетки неподходящими для этого процесса, хотя, несомненно, что их можно было бы вполне применить с некоторыми приспособлениями.



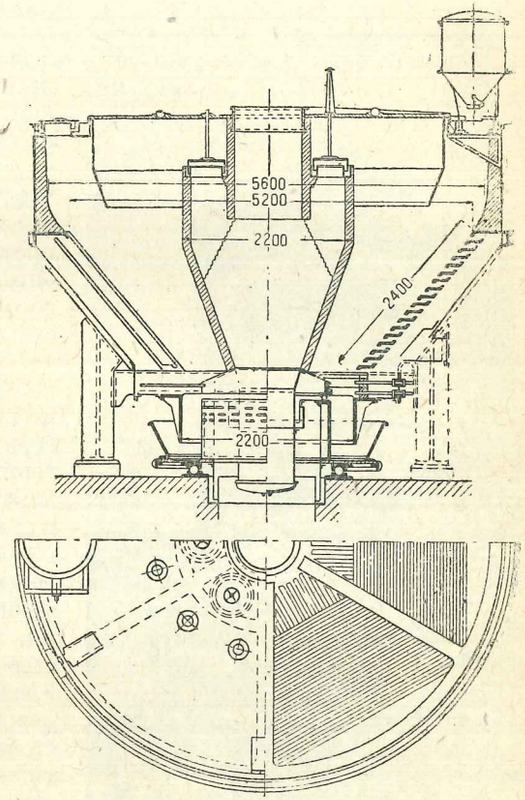
Фиг. 115. Газогенератор с подвижной плоской решеткой.

Примером такового приспособления является газогенератор Гетца с плоской решеткой (Железоделательный завод Кейла, см. стр. 162), однако задержка золы на решетке в этой конструкции не дает каких-либо преимуществ, и во всяком случае здесь отсутствует какая-либо возможность повысить производительность или увеличить с этой же целью размеры поверхности решетки. Поэтому, хотя этот способ можно считать известным шагом в перед, все же он не дает нам окончательного и действительного решения проблемы. Совершенно сходный газогенератор выпущен в последнее время на рынок Акц. о-вом для газификации топлива Луржи (A. G. für Brennstoffvergasung — Lurgi G. m. b. H.. во Франкфурте на Майне, системы

Мюллера); опытных данных, однако, в отношении этого генератора еще не имеется.

* Очень интересная конструкция газогенератора для бурых углей была предложена впоследствии самим Г. Тренклером, исходившим из следующих соображений: построенную для большей производительности вращающуюся колосниковую решетку, могущую удалять большое количество шлака, можно было бы рекомендовать лишь в случае значительного увеличения диаметра шахты и площади колосниковой решетки.

Тренклер избирает поэтому ступенчатую колосниковую решетку, гарантирующую желаемую равномерность слоя топлива, и придает ей только немного больший наклон, чем соответствующий угол естественного откоса, чтобы обеспечить наличие более высокого слоя перед нижним сечением колосниковой решетки, где топливо наиболее обогащено золой. На фиг. 115а [1] показана ступенчатая колосниковая решетка, конически расположенная в газогенераторе с вращающейся колосниковой решеткой. Шахта подразделена на несколько камер для того, чтобы можно было самостоятельно воздействовать на процесс газификации в каждой отдельной камере и чтобы также иметь возможность выключать из работы каждую отдельную камеру. При такой конструкции возможно исправление небольших эксплоатационных нарушений или небольших повреждений отдельных частей в одной камере без влияния на работу всего газогенератора, в то время как в газогенераторе, не подразделенном на камеры, в таких случаях все загруженное топливо было бы потеряно. Механическая выдача золы, общая для всех камер, облегчается тем, что только цилиндрическая часть колосниковой решетки выполнена вращающейся, в то время как коническая верхушка колосниковой решетки неподвижна. Таким образом одновременно имеется возможность подпереть чугунные балочки для разделяющих стенок камер. Эти балочки в количестве от

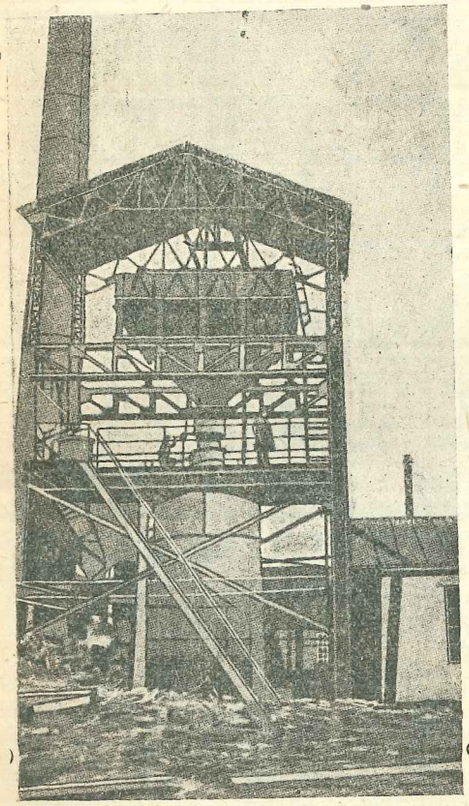


Фиг. 115а. Газогенератор Тренклера.

[1] Де-Граль, Использование отбросной и избыточной энергии, Энергоиздат, 1931 (перевод, под редакцией Лазарева). Ред.

6 до 8 снаружи связаны с таким же количеством колонкообразных стоек, служащих одновременно опорой ступенчатой колосниковой решетки. Конструкция газогенератора производит поэтому весьма надежное впечатление.

Ступенчатая колосниковая решетка имеет довольно большое живое сечение для прохода вдуваемого воздуха; ступеньки немного перекрывают друг друга для уменьшения провала шлаков. Воздух подводится к каждой отдельной камере через пространство, образованное кожухом, обнимающим на некотором расстоянии колосниковую решетку; дутьевое пространство разделено стенками на соответствующее количество камер. Загрузка происходит по краям, так что определенная высота слоя топлива обеспечивается по всей поверхности колосниковой решетки. Кольцеобразная загрузочная камера является общей для всех камер, но путем простого железного шибера можно прекратить доступ топлива в останавливаемую камеру. Центральное пространство над неподвижной верхней частью колосниковой решетки является общим сборником газа и одновременно служит для осаждения пыли, причем это газовое пространство сообщается с каждой из 6 или 8 камер. Поднимающиеся между газовым и камерным пространствами клапаны дают возможность выключения каждой отдельной камеры посредством водяных затворов. Применение воды при господствующих низких температурах является вполне допустимым. Излишняя вода попадает в остановленную камеру, почему и не причиняет вреда.



Фиг. 115б. Газогенератор МХЭС для подмосковного угля (Дятьковский завод Запстекло).

Чрезвычайно важным является герметическое отключение отдельных камер от общего зольника между вращающейся колосниковой решеткой и поддерживающим кожухом, так как без такового подводимый воздух, а при известных условиях также и образовавшийся уже газ, смогут проникать через слой золы в остановленную камеру. Отключение достигается задвижкой, которая уплотняется соответствующим образом; перед применением этой задвижки используется аварийная колосниковая решетка, которая должна препятствовать дальнейшему опусканию слоя топлива; задвижка вводится затем в промежуточный зазор, образующийся вследствие беспрепятственной работы вращения *.

В общем можно считать установленным на основании различнейших испытаний, что при землистых бурых углях нельзя достичь большей производительности, чем 120—150 *кг/час* на 1 $м^2$ сечения шахты; эта величина совершенно не зависит от конструкции решетки и полностью обусловлена свойствами топливного слоя. Более высокие ее значения, например, наблюдавшиеся в опытах Гетца [1], объясняются или лучшим качеством топлива, или же неравномерным ходом процесса (в течение нерабочего периода или периода незначительной нагрузки газогенератор выравнивает свою зону горения и значительно ее увеличивает, после чего оказывается возможной временная форсировка без ухудшения состава газа). Основной задачей здесь все же остается, если не принимать во внимание проблемы предварительной подсушки, создание шахт значительного сечения и решеток с минимальными возможными капитальными затратами, обеспечение равномерного распределения топлива на большой поверхности решетки и автоматического золоудаления [2].

[1] См. Roth, «Br. Jg.», 21, стр. 754.

[2] Газификация бурых и многозольных углей СССР в значительной степени технически разрешена работами Мосхимэнергостроя и Теплотехнического института. Первые опыты газификации подмосковного угля были произведены на Московском газовом заводе и на заводе «Серп и молот» в 1921 г. (см. у А. В. Сиволобова, «Изв. Теплотехн. ин-та» № 9/32, 1927, и у С. Ф. Флорова в его известной книге). О работе одной из первых специальных конструкций для газификации подмосковного угля (установка проф. К. И. Шарашкина), см. «Тепло и сила» № 3, 1929, статья инж. Н. И. Прудкова; газ был получен теплопроизводительностью до 1 300 *кал/м*³. О дятьковском газере МХЭС для подмосковного угля см. А. Ф. Жуков и Л. З. Новиков, «Химия твердого топлива», VI 1931, стр. 32 (см. фиг. 115б). Газ был получен при работе с паром (смешанный газ) из товарковского угля калорийностью в 1 356 *кал/м*³. Оптимальный слой топлива для работы с отбором смолы — 2 000 — 2 500 *мм*. Решетка Гильгера работает удовлетворительно. О последних опытах по газификации подмосковного угля на газере A. V. G. см. у инж. Н. В. Шишакова, «Изв. Теплотехн. ин-та» № 3/73, 1932, и у П. А. Солодовникова, Л. З. Новикова и А. Ф. Жукова, «Химия твердого топлива» № 4, 1932, стр. 309. Технико-экономические основы газификации подмосковного угля см. у П. А. Солодовникова, Газоснабжение на подмосковном угле, 1930; о связанных с этим вопросом способах транспорта газа см. у М. С. Гурфинкеля, «Изв. Теплотехн. ин-та» № 2, 1930.

О газификации челябинских углей см. успешные работы Теплотехнического института на газере A. V. G. и Тиссена («Изв. Теплотехн. ин-та» № 2/72, 1932 г., стр. 209, инж. Н. В. Шишаков), практические материалы Ф. М. Лоскутова, «Уральский техник» № 8—9, 1928, о работе в Карабаше на газере Гильгера с хорошими результатами, оптимальная высота слоя 1 100 *мм* и статью инж. Василевского, О газогенераторах для челябугля, «Вестник инженеров» № 8, 1928. По газификации лисичанских углей и кокса основные работы ставятся ВТИ в 1932 г. Интересные данные по работе на лисичанских углях (чистых и в смеси) см. в статье инж. Д. Б Гинзбурга, К работе газогенератора Вельмана, «Керамика и стекло» № 6, 1930, см. также обзорные статьи инж. А. Г. Членова, «Тепло и сила» № 2, 1930 и «Вестник инженеров» № 9, 1928.

Особый интерес для условий Союза представляет опыт газогенераторной установки для бурых углей ($W = 40\%$ и $A = 20\%$) на электростанции в Вальдарно (Compagnia Mineraria ed Electrica, Италия): генератор сделан из железо-бетона, поставлен открыто и имеет размеры: $D = 5$ *м* и $H = 14{,}7$ *м*; вращающиеся части отсутствуют, производительность средняя 8 *т/час*, макси-

* Являющаяся весьма важной хозяйственной проблемой для СССР газификация торфа усиленно разрабатывается в последние годы нашими научно-исследовательскими и промышленными органами (преимущественно Институтом торфа и его ленинградским отделением). Ряд проведенных работ (здесь нужно особенно отметить исследования процесса и условий газификации кускового торфа на газерах со швель-шахтой системы A. V. G. стеклозавода им. Дзержинского в Гусь-Хрустальном, работа Инсторфа и Ленинградского областного теплотехнического института) дал основание установить наиболее подходящие конструкции для газификации торфа для важнейших новостроек, расположенных в торфяных районах (Уралмашстрой и др.) [1]. Кроме того, разрабатываются специальные генераторы для получения двойного водяного газа из торфа (например, газер Инсторфа, строящийся на Коломзаводе по проекту Б. К. Климова, В. Ланина и А. Б. Чернышева и для газификации торфа в пылевидном состоянии, а также фрезерного торфа.

Интересной конструкцией газера для торфа, кроме приведенных уже в других разделах, является газогенератор Ричи-Гоцо (Ricci-Gozo), диаметром 5 *м*, неподвижной решеткой, паровоздушным дутьем (80°) и производительностью от 3 до 5 *т /час* (по расчету на многозольный торф с 20% золы и 35% влаги, см. «F. T.» № 16 и 17, 1926 и у С. Ф. Флорова). В связи с переходом в СССР на добычу торфокрошки (фрезерного торфа) возможно успешное использование для газификации такого торфа газогенератор конструкции П. Гросмана (P. Grossmann, «B. W. W.» № 5, 1924), имеющего внутреннюю швель-камеру в несколько ярусов и работавшего на самом низкосортном топливе (буром угле с W до 50% и содержанием мелочи ниже 5 *мм* — до 80%). Между прочим, опыт газификации низинного торфа, сильно крошащегося при горении, в противоположность верховому (сфагновому) торфу, был уже успешно проведен Инсторфом в 1931 г. на вышеуказанной установке A. V. G. [2], причем единственным

мальная 10 — 11 *т/час*. Газ идет под котлы станции. См. у Флорова, стр. 153, у Германса стр. 101, Le Genie Civil № 2, 1922.

По вопросу газификации сланцев, далеко еще не разрешенному, см. Г. Г. Коняев и П. О. Троицкий, О применении сланца для газификации (в газерах Гильгера), «Труды I Всесоюзного теплотехнического съезда, 1924, т. 2. О работах Теплотехнического института по газификации сланцев см. в «Бюллетенях ВТИ», 1931. Ред.

[1] Газовая станция Уральского машиностроительного завода (48 газеров) пущена в 1 квартале 1933 г. (пять газеров, 1 очередь) и далее вместо плановой $Q = 1\,400$ *кал/м*³ в среднем около 1 600 *кал/м*³. Ред.

[2] Ввиду значительного интереса конструкций A. V. G. для наших предприятий, расположенных в торфяных районах (на Уральском машиностроительном заводе будут работать около 50 газеров этой фирмы), приводим основные данные по производимым фирмой размерам генераторов водяного и двойного газа (для различных топлив, включая торф):

	Водяной газ	Двойной водяной газ
Генератор диаметром 1,00 *м* с неподвижной решеткой дает . .	200 *м*³/*час*	1 0 *м*³/*час*
» » 1,40 » с вращающейся или неподвижной решеткой	400 »	200 »
Генератор диаметром 1,85 *м* с вращающейся решеткой дает . .	700 »	350 »
» » 2,10 » » » » » . .	1 000 »	500 »
» » 2,60 » » » » » . .	1 600 »	750 »
» » 3,00 » » » » » . .	2 250 »	1 000 »
» » 3,55 » « » » » . .	— »	1 500 »

Ред.

несколько худшим показателем явилось повышенное содержание горючего в шлаке.

Опыты по газификации торфа в пылевидном состоянии в крупнолабораторной установке дали довольно обещающие результаты [1] (работы Н. Н. Гаврилова и Н. Н. Богданова, Инсторф); однако задача непосредственной газификации (без подсушки и размола) фрезерного торфа еще не разрешена и работа в этом направлении ведется.

Получение из торфа водяного газа (для целей химической промышленности — синтеза аммиака) было проведено успешно на заводе Стеол (Москва) — из торфококса — и на заводе Салолин (Ленинград) — непосредственно из торфа. Содержание водорода в обоих случаях свыше 50%. Однако высокое содержание метана — до 5% — делает необходимым его отделение методом глубокого охлаждения (работы Гипрохим).

По вопросам газификации торфа имеется обширная советская литература [2]. *

[1] Полузаводская опытная установка пускается на Торфяной опытной станции Инсторфа в 1933 г. Ред.

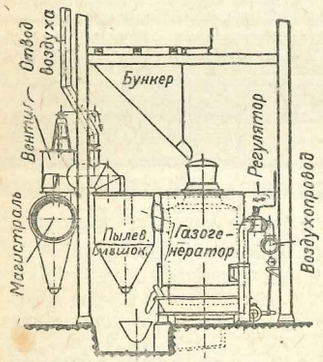
[2] См., в частности, «Труды Инсторфа», вып. II, IV, VI; Н. Н Гаврилов, Водяной газ из мелкозернистого и пылевидного топлива, «Т. Д.» № 7, 1928, стр. 210; А. А. Мягков, Генераторный газ в торфяной промышленности (генераторные трактора), «Т. Д.» № 11, 1928; С. В. Курдюмов, Торф в стекольной промышленности, «Энерг. вестник» № 71, 1928, Киев; Н. Н. Гаврилов, Термическая переработка торфа, «Труды III Всес. тепл. съезда», т. 1, стр. 186; Смешанный водяной газ из торфа (на заводе «Шкода»), «Т. Д.» № 9, 1929; А. А. Мягков, Торфяные газогенераторы «Т. Д.» № 6, 1927; Н. Н. Гаврилов, Водяной газ из торфа, «Т. Д.» № 12, 1930; Н. Н. Гаврилов, Вопросы химико-энергетического использования торфа, 1931; Е. В. Раковский, Термическая переработка торфа, Журн. химическ. промышлен.» № 17, 1928; Н. Томилин, К опытам по газификации торфа на заводе «Красный путиловец», «Бюллетень гипромеза» № 4, 1930; М. А. Маров, Работа газогенераторных станций на торфу (зав. им Дзержинского), «Т. Д.» № 1, 1932, Ф. Серебряков, Очищенный газ на стеклозаводах, «К. и С.» № 4, 1931; М. А. Кузьмин, С. П. Михеев, А. С. Синельников, Исследование установки A. V. G. на стеклозаводе в Гусь-Хрустальном, «Труды ЛОТИ», вып. 2, 1932. См. также у С. Ф. Флорова, Н. А. Костылева.

В иностранной технической литературе, кроме ранее приведенных материалов, можно указать на ст. E. Marcotte, La gasification des lignites, tourbes et bois, «Chemie et Industrie» № 5, 1929. Ред.

V. Устройство газогенераторных станций

1. Расположение газогенераторов с вспомогательными устройствами

Газогенераторы располагаются обычно рядами, так как это имеет известные преимущества в отношении вспомогательных устройств, причем не только для газеров с прямоугольным сечением, но и для аппаратов с круглой шахтой. Здесь в первую очередь нужно иметь в виду производство и распределение воздушного дутья, подачу топлива и удаление остатков, в особенности же отвод и канализацию полученного газа. При совместной установке нескольких газогенераторов на одной магистрали необходимо прежде всего иметь, как это показывает фиг. 116, специальные запорные вентили и пылевые мешки для выделения из газа механически унесенных твердых частичек. За вентилем газ поступает уже в общий надземный газопровод или в специальный каменный канал — сборный боров.



Фиг. 116. Расположение газогенераторов с пылевыми мешками, вентилями и т. п.

В первую очередь мы должны рассмотреть вопрос, целесообразно ли вообще центральное расположение газеров, — их концентрирование в общей газовой станции. В начале развития газового дела на заводах обычно для каждого потребителя ставили один или несколько соответственно рассчитанных газогенераторов и стремились по возможности сократить размеры газопроводов; особенно это было важно, пока работали преимущественно на воздушном газе, так как при этом физическое тепло весьма значительно, и необходимо было предотвратить его потери. Существенным недостатком индивидуальных установок является необходимость снабжения каждого потребителя также и резервным газером, чтобы обеспечить бесперебойную работу. Это обстоятельство не играло заметной роли, пока применялись весьма простые газогенераторы (как, например, Сименса), стоившие весьма недорого, редко нуждавшиеся в ремонте и в случае отказа легко выключавшиеся с весьма небольшим снижением производительности потребителя (так как при малых выдачах газеров обычно их приходится ставить несколько на одну печь).

Однако соединение газогенераторов в специальную станцию делалось все более необходимым в целях устройства более дешевой и простой подачи и штабелевки топлива, а также для экономии на обслуживающем персонале. Прежде всего стали создавать многочисленные центральные установки с газоотводами, устроенными совершенно аналогично индивидуальным установкам; подобное расположение едва ли может представлять какое-либо преимущество, кроме, конечно, экономии на транспорте, так как потери в трубопроводах оказываются такими же, как и для всех отдельных установок. Возможность приспособления индивидуальных групп газеров к режиму присоединяемой к ним печи не является решающей, так как и при центральном расположении, можно осуществить такое приспособление, если установка правильно рассчитана. Указания на лучшее обслуживание и, особенно, контроль процесса в индивидуальных группах не могут быть признаны сколько-нибудь существенными правильно рассчитывающим производственником; все различные факторы процесса должны быть ему известны и правильно им оцениваться без специальных подсчетов; во всяком случае в конце концов почти повсеместно перешли к объективному централизованному контролю, что и доказывает бессодержательность вышеуказанных доводов.

Потери физического тепла в газопроводах весьма значительны, что особенно сказывается при центральном расположении установок. Однако этот фактор не следует переоценивать. По данным практики можно считать падение температуры газа на 1 *пог. м* газопровода для каналов в целый кирпич — в 0,5° и для каналов в полкирпича — в 1°. Эти величины действительны для температур газа от 300 до 400° и, конечно, увеличиваются для более высоких температур в соответствии с увеличением разницы температур. Это является причиной того обстоятельства, что, например, потери в пылевом мешке или вентиле обычно являются бо́льшими, чем в 50 *пог. м* присоединенного газопровода или соответственно в 100 *м* канала. Поэтому значительное удаление аппарата может играть решающую роль лишь в редких случаях, в особенности в связи с необходимостью вести процесс с возможно более низкой температурой газера [1].

Наиболее часто применявшейся с самых первых времен газового дела формой расположения газовой централи является, как уже было указано, линейное расположение, вошедшее уже в привычку. Однако для малых установок необходим специальный расчет для поверки, не является ли более выгодным круговое или полуциркульное расположение газогенераторов (например, для 3—5 газеров). Так, в последнем случае мы можем легко производить разгрузку при помощи одного вращающегося крана и грейфера — без бункера. Далее, для всех газогенераторов можно сделать один общий пылеотделитель (в центре установки). Несущие каркасы шахт генераторов могли бы быть также упрощены; можно бы даже исследовать возможность устройства одного общего кожуха для всех генераторов и т. п. Весьма важна также получающаяся при этом экономия в потребной площади, в то время как неблагоприятным фактором является затруднительность расширения; для генераторов с механическим обслуживанием значительные трудности может представить устройство трансмиссий; впрочем последнее затруднение может быть все же преодолено. Но так как круговое расположение до сих пор, насколько мне известно, еще не было применено на практике, то в дальнейшем мы будем рассматривать лишь линейные центральные установки.

Прежде всего рассмотрим способы газоотвода. Применение шибера

[1] См. об этом также I. Ginsbery, Corrosion in the gasindustry, «Amer. Gas. Journ.» № 15, 1927. Ред.

в качестве запорного элемента вследствие легкости его загрязнения является неудобным или же возможным лишь в простейшем его виде, подобном очковым шиберам газопроводов доменных печей; эти шиберы применяются лишь в тех случаях, если частое их употребление не является необходимым. Такие простые шиберы часто ставятся в некоторых местах вместе с вентилями для достижения абсолютно плотного запора. Из употребительных конструкций надлежит также упомянуть шиберы с зубчатыми рейками или роликовые с зажимными вентилями; последние, однако, являются объектом возможных загрязнений. Наиболее обычны в употреблении вентили, реже применяются водяные затворы, нежелательные вследствие наблюдающегося сильного испарения (кипения) воды, а также ее загрязнения. Однако при низких температурах газа клапаны с водными затворами являются наиболее простыми. При высоких температурах газа применяют тарельчатые вентили, у которых корпуса и тарелки защищены огнеупорной футеровкой. Тарелка клапана или прикрепляется к гладкой штанге, поднимаемой при помощи блока с канатом (фиг. 77) или же ставится на шпиндель; последнее обеспечивает более плотное прижимание конической тарелки к седлу, однако, несколько усложняет и замедляет работу с клапаном; при этом часто достижение плотного замыкания все же весьма затрудняется вследствие загрязнения седла коксовой пылью или смолой. Поэтому наиболее отвечающими нормальным условиям производства являются откидные клапаны с канатной тягой, которые могут легко и быстро управляться с рабочей площадки генератора [1].

Перед вентилем (шибером) обычно помещается выпускной клапан или же высоко поднимающаяся над рабочей площадкой выпускная труба с легко работающим, хорошо пришлифованным клапаном, дающим возможность выхода газу тотчас по закрытии шибера. Корпус шибера обычно имеет предохранительный клапан, служащий в то же время и очистительным. Шибер ставится или непосредственно в газоотводную трубу или же в специальную установочную трубу над газовым каналом таким образом, чтобы газ при открытом положении вентиля направлялся через седловину. Применявшийся прежде обратный ход не следует употреблять. Если шибер недостаточно хорошо пригнан, то, открыв предохранительный клапан, можно при помощи песка или глины улучшить плотность замыкания.

Между газогенератором и шибером обычно устраивается пылеотделитель, так как почти все топлива вследствие трения кусков содержат более или менее значительные количества пыли. Обычно пылевые мешки устраиваются не особенно большой величины, так как уменьшение скорости газа само по себе является достаточным условием для выпадения пыли, почему в пылеотделителе всегда устраивают многократные изменения направления газа. При таком разделении пылевого мешка необходимо предусматривать для поднимающегося газа бо́льшие сечения, чем для опускающегося. Слишком большие пылевые мешки применять не

[1] Последние конструкции водяных затворов, песочных шиберов, задвижек Лудло, пусковых клапанов, пылеуловителей, газо- и воздухопроводов и т. д. см. в атласе Гипромаша (сост. инж. Г. И. Шахпаронианц) «Газогенераторные установки», ч. I, 1932 г. О гидравлическом управлении (автоматическом) см. I. H. Wainwright, «Gas Journal» № 32, 1930, стр. 913. Ред.

следует вследствие значительных потерь тепла охлаждающегося в них газа и происходящего при этом выделения сажи. Площадь сечения трубопроводов и соответственно вентилей по расчету на производительность в 1 *т/час*, т. е. 5 млн. *кал* теплопроизводительности газа в час, можно брать в 0,5 $м^2$ при температуре газа в 600° и в 0,25$м^2$ при температуре около 300°. В пылеотделителях же при той же производительности принимают сечение в восходящих частях по меньшей мере около 5 $м^2$, т. е. десятикратное. Указанные размеры являются достаточными лишь при обязательной ежемесячной очистке газопроводов или их прожигании; в расчете на последнюю операцию огнеупорная обмуровка не должна быть слишком тонка. Пылеотделители имеют снизу запорный конус, служащий в то же время предохранительным клапаном, или же водяной запор; кроме того, сверху и в боковых стенах также устраиваются отверстия и для очистки клапана. В поворотных коленах трубопроводов также ставятся большие предохранительные клапаны с любой стороны, причем эти клапаны служат также и отводными отверстиями при выжигании, если почему-либо нельзя будет применить другого способа очистки. Запорные вентили пред печью или другим потребителем газа, обычно ставящиеся над газопроводом или газовым каналом, выполняются, как правило, со шпинделями.

Относительно характера конструкции самих газогенераторов здесь едва ли нужно что-либо говорить, так как их детали даны на приведенных иллюстрациях. Рабочие помещения для отдельных газеров устраиваются в соответствии с характером конструкции и размерами шахты, аппараты с механическим обслуживанием можно располагать более тесно, так как при этом исключается требующая много места работа по шлакоудалению. Рабочие места нужно назначать на 1,5—3 *м* больше, чем наружный поперечник шахты, причем слишком тесное расположение никогда не рекомендуется, кроме лишь тех случаев, когда необходимо использовать уже существующее здание. Шахта поддерживается в новых конструкциях с шлаковой чашей специальными опорными стойками, укрепленными в фундаменте; эти стойки делают полыми и используют для подвода воздуха, чем достигается не только некоторое их удешевление, но и прежде всего экономия места. Шахты замыкаются снизу чугунным опорным кольцом, состоящим из нескольких сегментов, на котором и ставится железный кожух, обкладываемый изнутри кирпичной обмуровкой; при устройстве последней оставляется небольшой воздушный прослоек, заполняемый песком или кизельгуром, чтобы сделать возможным температурное расширение огнеупорного материала. Крыша газера обычно чугунная и имеет отверстия для шуровки; при более значительных диаметрах крышу составляют из нескольких сегментов. Покрытие из железных плит не рекомендуется, так как они более страдают от нагрева. Обмуровка шахты сверху заканчивается сводом, имеющим соответственно отверстия для шуровки и загрузочной воронки. При работе на буром угле, впрочем, этот свод не обязателен, или во всяком случае может быть сделан весьма тонким. Верхняя плита газера несет одну или несколько загрузочных воронок.

Все применяемые в настоящее время загрузочные воронки имеют двойной запор, замыкающий снизу распределительный клапан и замыкающую сверху откидную или клапанообразную крышку; поэтому при загрузке

теряются лишь небольшие количества газа, заключающиеся в пространстве пустой загрузочной воронки и могущие выйти через различные неплотности. Насколько велики могли бы быть, повидимому, количества газа, настолько незначительны они на самом деле; однако все же выход газа является неприятным отягощением условий обслуживания. Поэтому рекомендуется производить загрузку тотчас после пополнения воронки, так как иначе нижняя часть загрузочной воронки слишком разогревается и вводимое топливо немедленно начинает выделять дестилляционные газы. Чтобы устранить вредное действие газа, его часто зажигают при открывании клапана; это не представляет никакой опасности, если, конечно, расположение строительных элементов не препятствует такому горению. С успехом применяют также для этого паровую или воздушную защиту воронки.

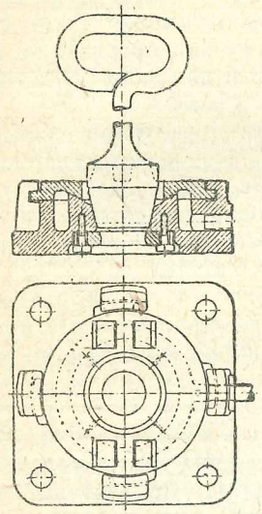
Объем загрузочной воронки должен быть рассчитан таким образом, чтобы можно было производить засыпку каждые 30—40 мин. Если воронка слишком велика, то работают с половинным наполнением. Для лучшего контроля производительности рекомендуется воронки частично обмуровывать, так как это облегчает регулирование в связи с несколько изменяющимися при этом условиями работы.

Шуровочные отверстия обычно закрываются простыми шаровыми клапанами. Часто применяют специально просверленные шары (Крупп, D. R. P. 69433, 1892) с насаженным небольшим покрывающим сегментом.

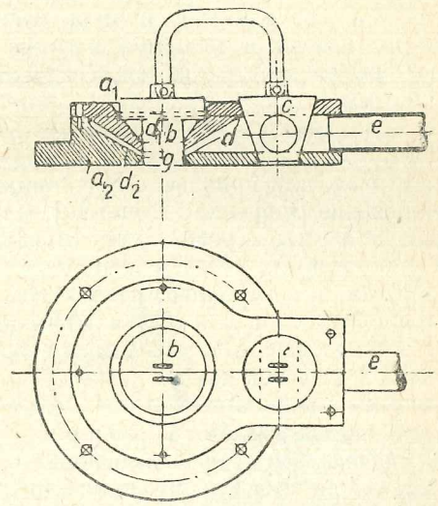
В этом случае вводят шуровку непосредственно в шаровой клапан, без каких-либо потерь газа, поворачивают штангу с шаром до вертикального положения и вводят в генератор. Это значительно облегчает работу шуровщика. В последнее время шуровочные отверстия снабжают дутьевыми запорами (воздушными или паровыми), в которых выходящий газ встречает струю воздуха или пара, проходящих через тонкие, направленные книзу, канальцы; это почти устраняет выход газа и значительно облегчает работу. На фиг. 117 представлена простая конструкция такого устройства; часто применяются конструкции Шпецлера (Spetzler, Дюссельдорф) и Ю. Пинча, в которых одновременно с открыванием шуровочного затвора автоматически открывается и дутьевой вентиль, как показано на фиг. 118. Сходен с этим типом также и запор Данго и Диннендаля (Dango и Dinnendahl, в Siegen), имеющий в верхней части вращающийся клапан, являющийся в то же время паровым запорным вентилем; однако крышечные запоры никогда не бывают достаточно плотными и легко срабатываются, почему надлежит отдавать предпочтение ранее указанным конструкциям. Для автоматических запоров является неблагоприятным не только то обстоятельство, что их стоимость сильно повышается необходимостью добавления паропроводной линии с вентилями, но, прежде всего, неприятный факт скопления в трубопроводе значительных конденсирующихся загрязнений, так как ведь запор при хорошем ходе процесса должен работать лишь сравнительно редко; далее, кольцевой трубопровод мешает обслуживанию газогенератора, в особенности ночью. Поэтому заслуживают внимания переносные или съемные паровые запоры для шуровочных отверстий железоделательного завода Манштедт (Manstaedt u. Co, D. R. P. 299565). В этом случае, во-первых, можно ограничиться лишь несколькими приборами для большого числа генераторов, оставляя в шуровочных отверстиях лишь простые пробки, которые даже удобнее для

наблюдения за огнем, так как струя пара или отклоненное струей воздуха пламя препятствует наблюдению, во-вторых, в этом случае можно устроить один общий паропровод в стороне от газогенераторов, хорошо его изолировать и снабдить перед каждым генератором присоединительным вентилем с гибким металлическим пароотводным рукавом. Эта конструкция особенно целесообразна в применении к уже существующим установкам.

Для устройства дутья применяют вентиляторы с электромоторами (необходимое давление — 200—400 *мм* вод. ст.). Употреблявшееся часто ранее паровое дутье теперь обычно используется как вспомогательное средство, так как оно дает слишком много пара в газификационный



Фиг. 117. Простой паровой затвор для шуровочного отверстия.



Фиг. 118. Простой затвор для шуровки Шпецлера.

воздух и, кроме того, сопровождается непрерывным неприятным шумом, мешающим работать. Взамен электромоторов рекомендуется на случай перерыва тока иметь также вентиляторы, непосредственно приводимые специальной паровой турбиной, отходящий пар которой может быть применен в качестве добавочного пара к дутью; при этом является более целесообразным нормально применять именно такое дутье с паровым приводом, используя электрический привод как резерв, так как в этом случае мы будем расходовать на привод почти бесплатную энергию. Что такой способ имеет преимущества перед так называемыми соплами Кертинга (пароструйные дутьевые аппараты), ясно показывает следующий расчет: последние расходуют в лучшем случае 180 *г* пара на подачу 1 $м^3$ при давлении в 200 *мм* вод. ст. Обычно расход пара вследствие неправильного обслуживания еще больше. Напротив, потребление энергии хорошего центробежного вентилятора при 400 *мм* вод. ст. достигает лишь 20 *л. с.* на 100 $м^3$ подачи воздуха в минуту. Расход пара при противодавлении (пар должен отбираться из перегревателя при 2,5 минимально при 1,8 *ат*, чтобы предотвратить значительную конденсацию при встрече с холодным

потоком воздуха) в зависимости от величины давления пара достигает 25—35 *кг* на 1 *л. с. ч.* При этом на 1 $м^3$ воздуха приходится всего 80—120 *г* конденсирующегося пара, при точке росы в 45—52°, что соответствует средним эксплоатационным условиям, в то время как при работе с кертинговым дутьем температура насыщения получается уже при 58° и поэтому выпадает слишком много пара. Расход дутьевого воздуха считают в 3,25—3,50 $м^3$ на 1 *кг* газифицируемого углерода, скорость воздуха можно применять в 20 *м/сек*. Для регулирования давления дутья следует предпочитать отсечные клапаны (шиберы) дроссельным.

Часто применяют регуляторы количества подаваемого воздуха (конструкции Пинча, A. V. G. и др.). Их установка дает бесспорные преимущества, однако, так как ручная регулировка не может быть совершенно исключена и является в то же время весьма простой, то такие регуляторы распространяются весьма медленно и являются едва ли необходимыми.

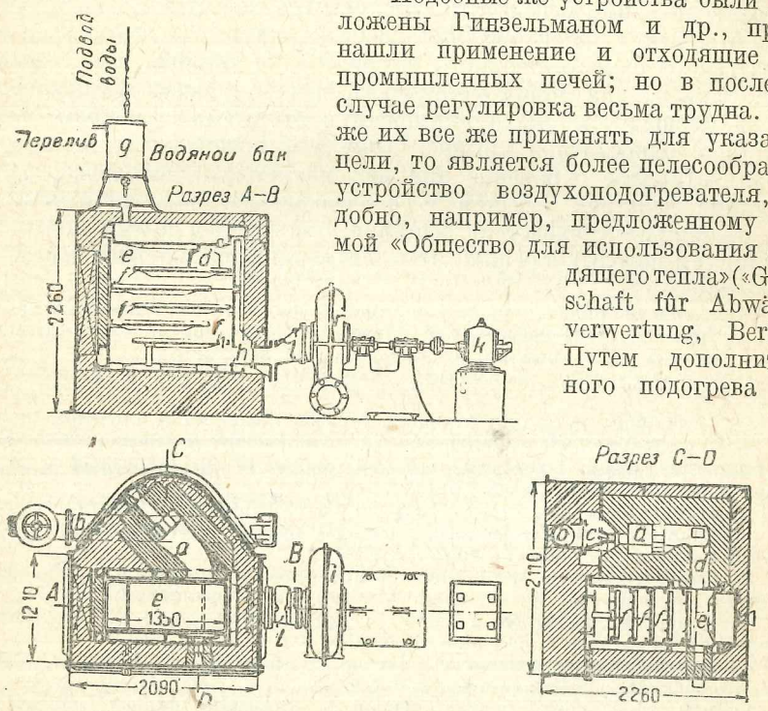
В воздуховодах необходимо предусмотреть предохранительные устройства при ослаблении дутья или предотвращающие втягивание газа в воздуховод, или привлекающие внимание обслуживающего персонала [(предложение Эрбрейха (Erbreich)], или, наконец, автоматически включающие при этом паровое дутье (предложение фирмы Петтер)[1]. Каких-либо законченных эксплоатационных характеристик по всем этим устройствам, к сожалению, не имеется, и вообще они весьма слабо распространены. Если для дутья применяется не электрический привод, а пар, то подобные вышеуказанным неполадки имеют место весьма редко, и взрывы в дутьевой камере легко предотвращаются обычными предохранительными правилами — при остановке дутья немедленно открывать дверь дутьевой камеры. Нарушения работы дутья при неизбежных переключениях имеют впрочем такую малую длительность, что какие-либо специальные предохранительные устройства являются вообще излишними.

Подводку пара выполняют обычно раздельно от воздуховода вплоть до самой решетки, чтобы избежать конденсации; фактически это едва ли имеет серьезное значение, так как конденсацию можно предотвратить подогревом воздуха до точки росы; между тем, раздельный ввод влечет за собой неравномерное распределение пара. Если под решеткой наблюдается значительное образование конденсата, то применяют перегретый пар. В этом случае пар без всякого сомнения примешивают прямо в дутьевой трубопровод, так как этим достигается лучшее смешение. При этом возможен весьма простой и надежный контроль температуры насыщения воздуха и соответственно количества подводимого пара путем замера температуры под решеткой.

Особого упоминания заслуживают испарительные установки, которые необходимы в особенности в таких случаях, когда паровая станция или отсутствует или же слишком удалена. Наиболее старой и распространенной конструкцией является показанная на фиг. 119 установка Бендера и Фрембса [2], имеющая также и некоторые теплотехнические преимущества.

[1] См. Fischer, «Kraftgas», 2-е изд., стр. 192.
[2] Krieger, «St. u. E.», 1919, стр. 1202.

В испарителе производят насыщение отходящих газов высокой температуры влагой и затем примешивают их к газификационному воздуху; отходящие газы получаются путем сжигания небольшой части получаемого газа (около 3%) и пропускаются над пластинами, орошаемыми водой; путем регулировки подвода воды насыщение может быть в совершенстве контролируемо; при этом нужно иметь в виду, что углекислота отходящих газов действует охлаждающим образом на процесс газификации, чем и снижает действие водяного пара (D. R. P. 241586).



Фиг. 119. Парообразователь Бендера и Фрембса.

Подобные же устройства были предложены Гинзельманом и др., причем нашли применение и отходящие газы промышленных печей; но в последнем случае регулировка весьма трудна. Если же их все же применять для указанной цели, то является более целесообразным устройство воздухоподогревателя, подобно, например, предложенному фирмой «Общество для использования отходящего тепла» («Gesellschaft für Abwärmeverwertung, Berlin»). Путем дополнительного подогрева воздуха можно значительно повысить испарение, не прибегая к примешиванию больших количеств отходящих газов.

Газогенераторы с механическим обслуживанием имеют обычно привод от трансмиссии, располагаемой преимущественно непосредственно над полом. При помещении трансмиссии в специальных глубоких каналах наблюдается слишком легкое их загрязнение, что затрудняет обслуживание. О конструкции самих приводов, например, для газогенераторов с вращением решетки делались уже указания при описании отдельных типов.

Золоудаление у газогенераторов с вращением решетки также было уже описано. Вываливающиеся самостоятельно через край чаши остатки обычно попадают по лотку непосредственно в вагонетку. Последние рас-

полагаются обычно достаточно глубоко, как это можно видеть, например, на фиг. 116. О дальнейшем транспортировании золы мы еще будем иметь случай говорить позднее [1].

2. Хранение и подача топлива

Вопрос о штабелевании запасов топлива обычно затрагивает интересы всего завода в целом; поэтому газовая станция должна в этом отношении подчиняться общим требованиям. Но так как именно для газового производства необходимо обеспечить равномерные качества подаваемого топлива в отношении происхождения, свойств и крупности, то едва ли можно отказаться от самостоятельного штабелевания топлива для газогенераторов. Раньше, при малых установках, делали запасы обычно на самой рабочей площадке и около установки в открытых складиках или под навесами с односкатной крышей, откуда и подавали уголь вручную. Однако открытое хранение топлива является весьма нежелательным вследствие действия осадков и в особенности солнечного излучения (или, правильнее, вследствие действия частых смен между этими двумя состояниями погоды), так как уголь выветривается и теряет часть ценно-

[1] Для общей ориентировки приведем здесь перечень основных вспомогательных элементов газогенераторной современной установки (газер Пинч с вращением решетки диаметром 3,0 *м*, без парового кожуха):

1. Пылеотделитель (железный, диаметром 2 600 *мм* в цилиндрической части).
2. Вытяжная труба для отходящих газов около 15 *м* высотой, железная.
3. Холодильник вертикальный для охлаждения и предварительной очистки газа, диаметром 1 200 *мм*, высотой около 10 *м*, железный с монтированным в верхней части оросителем.
4. Эксгаусторы для отсоса газа из газогенератора и проталкивания его через смолоотделитель для отсоса из скруббера и для подачи потребителям (каждый с электромотором около 25 *л. с.*).
5. Смолоотделитель механический клепаный с арматурой и паровым обогревателем (змеевиком). Может быть заменен электрофильтром.
6. Скруббер диаметром в свету 2,9 *м*, высотой около 8,7 *м* с коксовым заполнением клепаный с разбрызгивателем.
7. Центробежный вентилятор высокого давления для подачи газификационного воздуха с электромотором около 12 *л. с.* Необходимо ставить обратный клапан при входе воздухоподачи в дутьевую камеру (во избежание взрыва при остановке вентилятора).
8. Трубопроводы: а) для газа — соединительные между аппаратами, железные с запорными вентилями (задвижками); б) для дутья — из освинцованной жести и регуляторами дутья, предохранительным клапаном и запорными устройствами; в) для смолы и смоло-водяной смеси: чугунные для спуска смолы в смоляные ямы, железные — для отсоса смолы и подачи смолы в смолоотделители, а также для орошения холодильника смоло-водяной смесью; г) для пара и воды (пар для газера, для обогрева смолоотделителя, эксгаусторов, смолосборника, смоляных ям, сточных каналов, вода для газера, смолоотделителя, скруббера).
9. Приводное устройство вращающейся решетки, состоящее из вала на подшипниках, эксцентриков с передвижным рычагом и редукционным устройством для изменения числа оборотов; монтировано совместно с электромотором около 15 *л. с.*
10. Смолосборник для приема смолы из аппаратов и трубопроводов железный, открытый со змеевиком для подогрева и указателем уровня.
11. Насосы для перекачки смолы на 100 *л./мин*, с моторами $1^1/_2$ *л. с.*
12. Манометры для замера давления газа и дутья в аппаратах со щитом и подводкой. Р е д.

сти. Некоторые угли, как, например, бурые, особенно склонны к разложению. Если по наружным признакам разложение их может сделаться заметным лишь по истечении некоторого времени, то по своим техническим свойствам хранимое таким образом топливо значительно ухудшается уже задолго до распадения, так как в газогенераторе оно оказывается более склонным к разложению и образованию пыли. Поэтому является нецелесообразным работать со складом, на котором уголь остается около 2—3 недель; кроме ухудшения качества угля при этом многократное перевертывание топлива благоприятствует его истиранию и образованию пыли. Кроме того, при таком способе работы имеются лишь сравнительно незначительные резервы. Более правильным способом является образование так называемого «железного запаса», заменяемого и пускаемого в работу лишь 1—2 раза в год. Правда, этот запасный уголь значительно страдает от разложения и приходится поэтому принимать во внимание известные трудности работы на топливе с большим содержанием пыли при газификации этих запасов. Зато в течение всего остального года установка имеет дело со свежим углем, подаваемым в газер с возможно меньшим числом перегрузок и перебросок. Это надлежит пояснить примерным расчетом, при котором снижение качества топлива к моменту газификации условно выражено в 50% размере от содержания мелочи.

Свежий уголь имеет 5% мелочи, при постоянной работе со склада содержание мелочи в угле повышается до 10% (минимальный расчет), хранившийся в течение года уголь дал 30% штыба (цифра несколько высока, так как выветривание преимущественно действует в поверхностных слоях штабеля); смена складского запаса производится раз в год в течение трех недель. В таком случае потеря по первому способу при расходе в a тонн на газификацию в сутки — будет:

$$(360a \cdot 5{,}0) : 100 = 18a.$$

Во втором же случае:

$$(340a \cdot 2{,}5 + 20 \cdot a \cdot 15) : 100 = 11{,}5a.$$

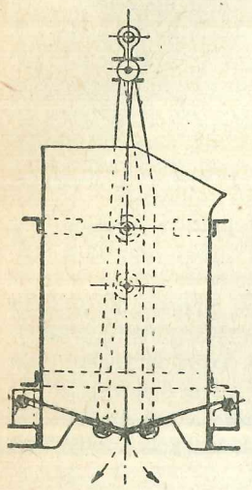
Различие, как мы видим, достигает значительных размеров.

Чтобы предотвратить влияние выветривания, рекомендуется хранение угля под водой (стр. 41), которое было уже испробовано как для каменных углей, так и для богемских бурых углей и, несомненно, может быть применено для всех остальных минеральных топлив.

Форма топливного склада находится в самой тесной зависимости от конструкции топливоподачи. Выбор же последней часто в огромной степени зависит от условий производства и местных особенностей (соотношение высот, форма подачи и т. д.); поэтому в общей форме этот вопрос еще не нашел разрешения. Оценку возможных и уже применяемых транспортных устройств дают специальные руководства. Необходимо в особенности отметить следующее: топливо надлежит подвергать по возможности меньшему числу перемещений на складах, причем обращаться с ним надлежит как можно аккуратнее, чтобы не увеличивать содержания мелочи. В связи с этим ковшевые элеваторы и ленточные конвейеры оказываются здесь менее подходящими, в особенности в связи с значительным их изнашиванием при частой работе твердым штыбом. Эти устройства могут применяться лишь для торфа и, может

быть, для сырого бурого угля. Впрочем для торфа часто применяются также еще более дешевые скребковые конвейеры [1].

Наиболее целесообразным является применение подземных бункеров и кюбелей (транспортных бадей), так как в этом случае уголь претерпевает лишь падение, не подвергаясь иным механическим операциям. Кюбели могут опорожняться при помощи выносных или кюбельных кранов или подвижных лебедок с дальним управлением [2]. Часто также комбинируют применение кюбелей, передвигаемых по рельсам вручную с подъемниками для преодоления разницы в уровнях. Для небольших установок удобнее всего подвижные лебедки-кошки (Katze) с ручным приводом или дальним управлением, в этом случае склад надлежит располагать рядом с газогенераторной батареей и не делать слишком обширным, чтобы не затруднять обслуживания. Подобные устройства часто поэтому лимитируют возможность расширения установки, почему и надлежит предпочитать все же передвижные краны с кабинкой для обслуживающего кран; обычно располагают склад параллельно линии газогенераторной батареи так, чтобы их расширение могло быть произведено одновременно в любое время. Применение выносного подъемного крана обычно весьма ограничивает размеры склада и рекомендуется поэтому лишь при двойном ряде газогенераторов и в тех случаях, когда кран должен применяться также и для золоудаления. Конструкция саморазгружающегося кюбеля (раздвижное дно), оказавшегося весьма надежным, показана на фиг. 120.



Фиг. 120. Саморазгружающаяся угольная бадья (кюбель) с откидным дном.

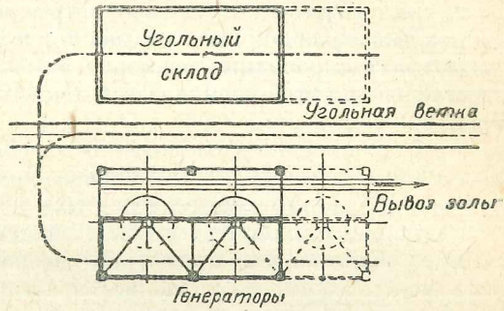
В последнее время вместо кюбелей стали все более применять грейферы (самохваты), так как при этом получается экономия на стоимости разгрузки и уменьшается стоимость нижнего бункера. Эти два значительных преимущества несколько снижаются менее удовлетворительным механическим обслуживанием; но последнее лишь в редких случаях имеет решающее значение. Грейферы применяются совершенно так же, как и кюбели, в соединении с кранами, обычными или мостовыми, и с тельферами. Общее расположение остается примерно таким же; при подвижной лебедке устраивают обычно над складом две линии, из которых одна:— над подающими путями для непосредственной разгрузки, и вторая — над складом; при этом бункеры не являются необходимыми и могут быть заменены простыми хранилищами, обнесенными стенками. Подобное устройство показано на фиг. 121.

При крановой подаче расстояния между бункерами, а также и ширина бункеров увеличиваются. Рельсовые пути располагают по сторонам бункеров или же устраивают склад топлива и подающие пути с головной стороны батареи. Последнее расположение дешевле, но лимитирует расширение установки, а также и площадь склада. Если останавливаются все же на таком расположении, то кран можно уже не применять, ограничиваясь лишь подвижными лебедками.

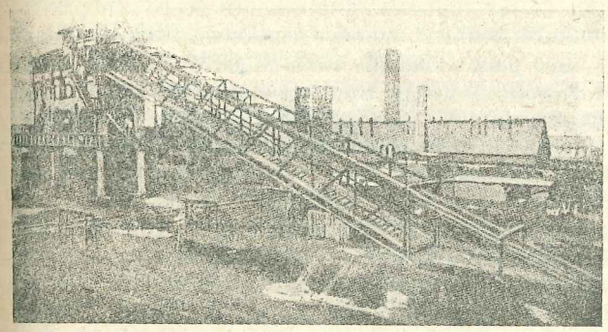
[1] Для топливных складов в СССР согласно постановлению коллегии НКТП принято применение скреперов и ленточных транспортеров. Ред.

[2] Тельферов. О кюбельном транспорте см. статью Л. Я. Шухгальтера («Социал. реконструкция и наука» № 1, 1932). Ред.

Наряду с подвижными кранами, подвижными лебедками и подвесными дорогами в крупных установках часто применяют также канатные и цепные дороги. Последние дают возможность обойтись без нижних бункеров, так как уголь может прямо подвозиться с шахты или с большого центрального склада. Напротив, верхние бункеры при этом устройстве безусловно необходимы, между тем, как при подаче кюбелями без них можно было бы обойтись, если резервы имеются налицо; при грейферной подаче достаточны небольшие «промежуточные» бункеры. Установка с цепной дорогой показана на фиг. 122.



Фиг. 121. Расположение газогенераторной установки с подвижной лебедкой (тельфером).



Фиг. 122. Газогенераторная батарея с подвесной дорогой.

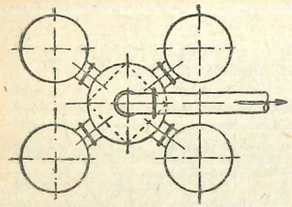
В качестве разгрузочных устройств для небольших установок применяются ковшевые элеваторы (например, конструкция Генцельмана и Шпармберга (Heinzelmann u. Sparmberg)), так как самохваты (грейферы) редко могут быть использованы достаточно удовлетворительно и при их малой производительности требуют значительного расхода энергии. В отношении различных способов разгрузки необходимо указать также на конструкции, предложенные Германсом [1].

Верхние бункеры в новейших установках имеют назначением обеспечить постоянный запас топлива, что дает возможность обойтись без резерва в подающих устройствах, который обычно весьма трудно создать.

[1] Hermanns, Vergasung und Gaserzeuger; Halle, Knapp, 1921 (в книге Hubert Hermanns, Gasgeneratoren und Gasfeuerungen, Knapp, 1924, стр. 185 — 222, подробно рассмотрены складское хозяйство и транспорт угля на газовых станциях, включая ковшевые элеваторы и подвесные ковшевые питатели, разгрузочные устройства, краны, бункеры, грейферы, кюбельные тельфера и т. д. Ред.

Особенно часто нарушения в работе топливоподачи наблюдаются при электрическом приводе; вызываемый этим недостаток газа может иметь следствием значительные потери в производстве. Верхние бункеры служат именно для того, чтобы выравнивать колебания в подаче топлива, в особенности, во время выходных дней; поэтому их рассчитывают на 24-часовое, часто даже 36—48-часовое потребление. Они представляют собой поэтому весьма обширные помещения, и их несущие колонны также достигают весьма солидных размеров; все более и более распространяется применение для этой цели железобетонных конструкций, оказывающихся более дешевыми.

При однорядном расположении газеров, преимущественно применяемых, продольные размеры бункера являются вполне определенными заранее. Но часто бункеры делают уже, чем ячейка газера, в верхней же части бункеры расширяют, чтобы уменьшить прозор между ними. Бункер располагается или прямо над генератором, или же несколько смещенно; последнее расположение часто предпочитают, так как оно обусловливает большую доступность и более легкое обслуживание газогенератора. Первое же расположение дает более равномерное опускание топлива в бункере [1]. В общем все же предпочитают одностороннее смещение бункера примерно как показано на фиг. 121.



Фиг. 123. Общий пылевой мешок для 4 газогенераторов.

Для снижения стоимости всего генераторного места и бункера рекомендуется двухрядное расположение газогенераторов, как показано на фиг. 122. При этом можно очень много сэкономить на ширине всей постройки, вынеся из нее наружу генераторные рабочие площадки, которые можно просто перекрыть односкатными навесами. В отдельных случаях делали попытки при двухрядном расположении газеров ставить один большой бункер на четыре генератора; при круговом расположении батареи можно таким образом объединить еще большее число генераторов. Такое соединение обычно может быть дополнено и объединением пылеотделителей, которые в этом случае помещаются под бункером, так как это место обычно уже нельзя использовать для других целей. Такие устройства дают значительную экономию места и затрат, однако требуют правильного ведения процесса и замера газа. Схема расположения пылеотделителя для четырех газеров показана на фиг. 123.

3. Золоудаление

Как уже ранее было описано, из газогенератора с механическим обслуживанием зола выбрасывается или в подаваемые вагонетки, или же в нижний бункер, из которого она может быть затем удалена при помощи вагонетки. Также и в этом отношении двухрядное расположение является более выгодным, так как противолежащие фундаменты могут образовать

[1] Кроме того, боковая подача топлива из смешанного бункера вызывает отсортировку крупных кусков к противоположной стенке газера, по которой идет вследствие этого усиленный процесс и наблюдается сильное разогревание.
Ред.

между собой зольный канал без каких-либо затрат. Вагонетки с золой или непосредственно вывозят на отвалы, или выгружают их в находящийся около установки нижний бункер, из которого уже грейферным или кюбельным краном нагружают железнодорожные вагоны или другие соответствующие транспортные средства.

Чтобы понизить расход на откатку вагонеток, которая чаще всего производится очень неравномерно в зависимости от освобождающихся количеств золы, и чтобы значительно уменьшить размеры зольного канала, устраивают в них различные механические транспортирующие устройства, находящиеся в непрерывном движении, как, например ленточные и скребковые транспортеры, или качающиеся желоба. Транспортерные ленты не могут быть рекомендованы вследствие их чувствительности к твердой мелочи и затем вследствие загрязнений канала спадающими с ленты кусками шлака. Скребковые элеваторы, даже если они работают в водной среде, весьма страдают от сильного износа, что препятствует их применению. Поэтому наиболее подходящими оказываются качающиеся желоба. В последнее время стали применять также удаление золы водой (гидравлическое золоудаление) и отсасывание воздухом (пневматическое золоудаление). Решающих техникоэкономических данных по последним двум способам еще не имеется. Гидравлическое золоудаление связано со значительным расходом воды и поэтому может рекомендоваться только в том случае, если зольные воды могут быть использованы для мокрого обогащения угля на близлежащих рудниках. Пневматическое золоудаление может рекомендоваться лишь при очень тонкозернистых и мягких золах, так как иначе громадный износ трубопроводов ставит под сомнение экономичность способа.

Все описанные механические транспортеры передают золу в нижний бункер, где она накапливается и откуда она выгружается для вывозки при помощи крана, подвесной дороги и т. п.

В более старых системах газогенераторов с ручным золоудалением зола отводится от аппарата обычно весьма примитивным способом — ручной нагрузкой — в подводимые вагонеты, или же прямо в вагоны широкой колеи. Только в редких случаях применяют также и в этих установках шлаковый канал с качающимся транспортером или скребковой лентой, чтобы сократить хотя бы часть ручной работы. Именно вследствие трудностей работы по золоудалению и высокой стоимости ручного золоудаления смог газогенератор с вращением решетки получить столь широкое распространение по сравнению с более старыми конструкциями [1].

[1] Тренклер не затрагивает вопроса стандартизации генераторостроения. Между тем, наши проектные органы чрезвычайно нуждаются в установлении максимального количества нормализованных деталей для упрощения проектирования, изготовления и монтажа генераторных установок. Здесь поэтому целесообразно указать на предложение Германса, ориентировочно наметившего проработку для нормализации следующих элементов газогенератора:

1. Шахта газогенератора.
   а) Кожух (спецификация металла, соединений, правила сварки и клепки).
   б) Футеровка (форма и сортамент огнеупоров, размеры изолирующих зазоров и материалы для заполнения).
   в) Газоотводы (присоединения, штуцера, размеры).
   г) Своды (форма свода, сортамент и форма огнеупоров).

VI. Очистка газа и получение побочных продуктов

1. Основы очистки газа и главнейшие способы

Необходимость очистки и охлаждения газа, получаемого путем газификации топлива, в первую очередь диктовалась его влажностью и смолистостью. Уже Сименс обнаружил, что охлаждение газа ведет к конденсации из него смолы и воды, что влекло за собой загрязнение газопроводов и их засорение; он испробовал применение холодильника для осаждения влаги газа и получил при этом весьма значительные отделения смолы. Первым аппаратом, созданным для этой цели, является прибор Ф. Лундина (F. Lundin) (в Карлстадт-Мункфорсе, Швеция, 1863) [1], состоящий из камер, в которых газ встречает водяной дождь, и, кроме того, из железного трубчатого поверхностного охладителя, трубки которого охлаждаются водой снаружи, пропуская газ внутри. Эта конструкция была выполнена для газификации древесных опилок и стружек, так как при высокой влажности этого газа является иначе совершенно невозможным получить надлежащий плавильный жар в печи.

Особенные требования в отношении очистки газа были связаны с началом применения газа для силовых целей. В этом отношении можно указать на предложения и опыты Эбельмена (стр. 144). Заслуживают упоминания также способы М. Берара (M. Berard, 1864), преимущественно удалявшего сернистые соединения, Г. Г. Бенсона (G. H. Benson, 1874), которые стремились разложить пары смолистых продуктов или же применяли конденсационный очиститель, охлаждаемый воздухом.

В это же время было обращено внимание на возможность выделения из газа наряду со смолой также и аммиака — способ, представлявший уже значительный интерес в доменном процессе при работе на каменном угле или антраците. Было предложено и испытано много различных методов. Наиболее интересны способы: Айткена из Фалькирка (Aitken, Falkirk, английский патент № 57, 1874), в котором аммиак вымывается во-

д) Размеры шахты (высота, диаметр).
е) Охлаждение стенок шахты.
ж) Покровные плиты (величина, число, размеры).
2. Решетка (неподвижная и вращающаяся).
а) Дутьевой чепец (форма, размеры).
б) Опорные части (вид, размеры).
в) Привод (передача, вид, размеры и число зубцов приводных элементов, скорость вращения).
г) Центрирование (вид и число роликов).
д) Гидравлический затвор (вид, размеры).
3. Золоудаление.
4. Подвод дутья и пара.
(См. Германс, Gasgeneratoren u. Gasf., стр. 108). Ред.

[1] Rowan, Iran and Coal, 1901.

дой, Лэнглоуна (Langloau), применяющего для связывания аммиака газообразный сернистый ангидрид, и метод Саммерли (Summerlee), по которому обрабатывают газ разведенной серной кислотой. Наряду с этим было сделано большое число других предложений, которые едва ли достойны упоминания. В методе Саммерли (Г. Нельсон (G. Neilson), железоделательные заводы Summerlee Шотландии) мы уже находим все наиболее важные элементы более поздних способов, поскольку они относятся к получению побочных продуктов газификации. В отношении выходов побочных продуктов, в особенности аммиака, обычно удовлетворялись количествами, являющимися нормальными в то же время и для коксования; при хорошем, легко дестиллирующемся, английском угле это соответствует превращению в усвояемые соединения — немного более 20% всего азота.

Получение побочных продуктов при газификации идет по линии тех же веществ, которые получаются из угля и при сухой перегонке или при коксовании. Это преимущественно азот в виде аммиачных солей и смола или ее продукты. Циан и цианистые соединения не играют никакой роли в газовом производстве с отбором продуктов, так как эти составные части до сих пор не могли быть обнаружены в генераторном газе. При газификации более молодых топлив, как торф, лигнит и т. д., получаются, кроме того, при определенных условиях метиловый алкоголь и уксуснокислые соли. В последние годы делались различные попытки применить сернистые соединения, образующиеся из угля, для связывания аммиака; этот метод до последнего времени еще не дал успешного результата [1].

В связи с идентичностью получаемых побочных продуктов оказалось возможным применять одни и те же способы отбора как при коксовании (и более или менее примыкающем к нему процессе получения светильного газа), так и при газификации; самое развитие методов отъема происходило поэтому в обоих случаях совершенно аналогично.

Образование аммиака при нагревании и перегонке углей было известно уже в начале XVIII в. Но только в 1840 г. начали применять газовые воды для удобрительных целей. Особые заслуги в этом вопросе вполне справедливо приписывают Либиху (Liebig); далее, Кролль и Маллет (Croll u. Mallet) предложили в 1840 г. связывать образующийся аммиак кислотами или солями; успешное развитие имели, с одной стороны, способы Клегга (Clegg) получения аммиачной воды и, с другой стороны, способы Леминга, Эдди и Нельсона (Laming, Addie, Neilson), связывания аммиака серной кислотой.

Я хотел бы здесь, однако, отметить неправильность взгляда о существовании какого-либо длительного соперничества газотехники с коксотехникой в отношении получения более высоких выходов побочных продуктов. На самом деле между обоими процессами, конечно, нет ничего похожего на соревнование. Было бы совершенно неправильно даже пытаться газифицировать коксующиеся угли, так как они ни в каком отношении не подходят для снабжения газогенераторов, как было бы так же неправильно коксовать неспекающиеся угли. Высококачественный кокс был и остается главной целью рентабельной коксовой установки. Эти оба

[1] Подробнее о сероочистке см. стр. 319. Ред.

процесса представляют, наоборот, случай идеального дополнения, так как дают возможность такого использования угля, при котором мы не только утилизируем его теплотворную способность, но также и получаем максимальное количество побочных продуктов, имеющих для развития нашей промышленности, нашего сельского хозяйства, а также в меньшей степени и нашего военного вооружения, весьма большое, вернее, основное значение.

При очистке газа возможны три основных пути. Во-первых, можно стремиться исключительно к очистке газа, не придавая существенного значения получению выделяемых при этом веществ. В этом случае производят охлаждение газа примерно так, как это указано выше при описании способа Лундина; газ смешивают с водой для более быстрого охлаждения, отделяя, затем, путем последующего сильного охлаждения как увлеченную влагу, так и смолистые составные части. При этом все прочие загрязнения газа, как, например, сернистые соединения, также переходят в промывную воду или конденсат. Однако этот способ оказывается непригодным, если не удастся достичь достаточно резкого последующего охлаждения газа, так как в этом случае получается только повышение баластной влажности газа, без одновременного удаления загрязнений. Однако именно эти простейшие способы очистки применяются часто без достаточной продуманности. Иногда производят очистку газа, чтобы отделить увлеченную пыль, применяя пылевые мешки (пылеотделители) с разбрызгивающей промывкой. На самом деле этот дождь хотя и осаждает часть движущейся пыли, но лишь весьма незначительную, во всяком случае не большую, чем получается при сухом пылеотделении; кроме того, при этом не только не связывается физическое тепло газа, но к тому же газ значительно загружается влажностью, так как вода жадно поглощается газовым потоком. Встречаются охлаждающие устройства, понижающие температуру газа всего лишь на 70—80°; в таком случае охлаждение вообще не достигает никакой цели, кроме частичного выделения смолы. Но какую ценность может иметь это выделение, если при этом вся баластная влажность остается в газе и вообще процесс очистки останавливается на полдороге? Часто на практике встречается обратное стремление — удалить именно влажность газа и удержать его смолу, чтобы сохранить светящееся пламя газа. Путем глубокого охлаждения при осторожном предотвращении толчков и взбалтывания оказывается возможным сохранить, по крайней мере, хотя бы часть смолы в газе, но как довести ее до пункта применения газа? Это является весьма сомнительным моментом, так как переохлажденная смола легко выпадает при каждом изменении направления трубы, причем как только это выделение начинается, процесс тотчас ускоряется, приводя к закупориванию газопровода и нарушениям производственного характера. Только в редких случаях удается применить этот чересчур чувствительный способ, и каждое, часто незначительное изменение условий, каждое распространение способа на другие, совершенно подобные, но все же никогда не тождественные соотношения и параметры процесса, принесут неудачу, раздражение и возвращение к старому способу. Но поскольку необходимость в очистке газа и преимущества работы с очищенным газом делались все более очевидными, нельзя было уже останавливаться на полпути и необходимо было выявить основные условия процесса.

Чтобы представить себе последнее хотя бы в общих чертах, можно исходить из следующего: кроме газообразных химических соединений (H_2S, SO_2, NH_3, циан и т. п.), газ содержит пыль (твердые частички) и пары (смола и вода). Смола представляет собою смесь многочисленных составных частей с температурой кипения от 70 до 350°, точка кипения воды — 100°, но на самом деле все эти ингредиенты выпадают только при более низкой температуре — точке росы, зависящей от степени насыщения. Обычно при температурах выше 250° не наблюдается заметного выделения смолы, причем в первую очередь начинают выделяться богатые пеком смолы, в то время как более легкие масла и, в особенности, вещества бензолового ряда даже еще при температуре в 30—40° остаются в газе в значительных количествах. Точка росы для паров воды колеблется обычно между 80 и 40°.

Чрезвычайно трудной задачей является удаление последних частиц тонкой пыли из газа без одновременного удаления смолы и воды, так как взвешенные твердые частицы всегда окружены конденсирующимися и медленно уплотняющимися парами, образуя как бы центры ожижения и выпадая поэтому лишь совместно с конденсатом. В соответствии с этим для полного отделения пыли нужно сохранить газ горячим, и поэтому пылеотделители должны быть всегда обмурованы, так как в ином случае может получиться смолистая корка, чрезвычайно трудно удаляемая. Кроме того, обмуровка оказывается необходимой, чтобы иметь возможность, как уже ранее сообщалось, производить выжигание. То же самое нужно считать обязательным для головной газовой магистрали (сборной). Для более длинных газопроводов необходимо предупреждать выделение смолы, доводя газ до места потребления с температурой не ниже 250°. Охлаждение газа является также функцией нагрузки, и газопроводы для предотвращения возможного загрязнения обычно выбираются большого диаметра; как правило, нагрузка и скорость бывают поэтому невелики, охлаждение же соответственно весьма значительным; при этом нужно принять во внимание, что остаток взвешенной пыли оседает совместно со смолой и покрывает коркой газопроводы и каналы; даже обмывание труб смолой, как в коксовых установках, является бесполезным, если количества пыли несколько больше обычных, не говоря уже о том, что при больших диаметрах труб возможно образование значительных присадок, весьма трудно удалимых. Для работы печей смола фактически приносит только очень мало пользы, в то время как баластная влажность сохраняется, так как охлаждающее действие стен газопровода при достижении точки росы очень невелико. Если, например, точка росы газа будет 64° (250 *г* H_2O на 1 $м^3$), то охлаждение соответствующей части трубы будет около 10° (3,5 *кал*/$м^3$); подобное охлаждение достаточно лишь для конденсации 6 *г* H_2O, что соответствует понижению температуры на 0,5°. Мы видим из этого, как неправильно применение поверхностного охлаждения, если оно не является необходимым по каким-либо особым основаниям. Если газ содержит значительное количество влаги (примерно свыше 100 *г*/$м^3$), то всегда является целесообразным устраивать специальную очистку с получением смолы; если же нужно все же иметь пары смолы в газе, то их можно будет добавить после очистки в необходимых небольших количествах (путем карбюрирования или впрыскивания).

Второй основной способ очистки газа — специальное получение смолы из газа. В то время как ранее промывка газа обычно производилась водой (как, например, в скрубберах всасывающих газовых установок, в смоломойке Монда и др.) и поэтому смола получалась всегда с большим содержанием воды, — в настоящее время обычно применяют в качестве промывной жидкости полученную ранее смолу, ведя процесс выше точки росы газа, чтобы предупредить конденсацию водяного пара или даже обеспечить обратное испарение выделяющейся влаги. При этом способе обычно находят применение дезинтеграторы или сходные с ними аппараты, дающие возможность отделения смолы путем прямого сильного действия центробежной силы (подробнее стр. 277).

Третий путь основан на выделении химически ценных побочных продуктов, в особенности же аммиака. Этот способ является расширением предыдущего. После основной работы Грувена [1] (Grouven, 1878) по получению аммиака из торфа и работы Форстера и Бейльби (Forster u. Beilby) по сухой перегонке смолистых сланцев и угля появилась мысль проводить газификацию с обильным подводом пара, чтобы достичь значительных выходов аммиака. В 1883 г. Монд возвратился к работам в этой области, взял несколько патентов и пустил в 1889 г. в Англии первую крупную установку, работавшую весьма успешно. Выход сульфата по его способу достигал по сравнению с прежними методами по меньшей мере тройных размеров и соответствовал примерно использованию около 66% азота.

Выработка и осуществление этого способа явились наиболее важным успехом в области газификации с утилизацией побочных продуктов. В последующие годы в Англии было выстроено несколько подобных же газоустановок системы Монда. Можно лишь удивляться, что в Германии не уделили такого же внимания этому методу, хотя Германия в то же время занимала первое место в области использования побочных продуктов при коксовании и довела свою коксовую промышленность до высокого совершенства. При более близком рассмотрении это обстоятельство именно и объясняется развитием коксования, так как при огромном богатстве Германии коксующимися углями именно эти сорта топлива и привлекали главное внимание. Наряду с ними тощие каменные угли, бурые угли и низкосортные топлива применялись для целей газификации, лишь в ничтожных количествах и только в качестве местного топлива. Газификация же спекающихся углей даже и без отбора побочных продуктов являлась способом использования топлива, которому трудно было бы делать упреки в техническом несовершенстве или сложности производства. Поэтому неудивительно, что газификация с отбором побочных продуктов при таком топливном балансе не имела особенного успеха. Только в последнее десятилетие — с общим распространением усовершенствованных механизированных газогенераторов — было обращено внимание на то обстоятельство, что именно низкосортные топлива являются особенно подходящими для газификации; в результате все более и более укрепляется мысль о необходимости целесообразного выбора топлива для газификации и рационального использования этого естественного богатства.

[1] Die landwirtschaftliche Versuchsstation т. 28, 1883.

2. Получение смолы, в особенности первичной

а) Химические основы

Смола образуется при газификации всякого битуминозного топлива, даже при газификации древесины, так как при медленном нагревании происходит дестилляция — полукоксование топлива («швелевание»). Долгое время считали коксовальную смолу («каменноугольный деготь» нормальным типом угольной смолы и не обращали никакого специального внимания на незначительные количества газогенераторной смолы, считавшейся сравнительно малоценным отбросным продуктом. Научное исследование коснулось этой области очень поздно, хотя уже Вильямс [1] (Williams) и Шорлеммер [2] (Schorlemmer) более чем 60 лет назад получили подобные низкотемпературные смолы и обнаружили в них парафиновые углеводороды. Впервые затем Бернштейн (Börnstein) в 1903 и 1906 гг. (табл. 9) при своих опытах дестилляции при температурах до 450° получили уже более подвижные жидкие смолы, значительно отличавшиеся от коксовальных смол. В 1910/11 г. Пикте (Pictet) провел в Женеве свои опыты по дестилляции в вакууме и обратил этим внимание специалистов на эту особую область техники. В то же время и в последние годы начал работу в этой области Уилер (Wheeler) со своими сотрудниками, причем были получены результаты большого практического значения. Пикте преследовал при своих опытах почти чисто научные цели, а именно доказательство предсуществования в угле углеводородов, встречающихся также и в нефти. Уилер же пошел дальше, задавшись целью получить возможно более высокие выхода искусственной нефти при перегонке под вакуумом и притом без одновременного извлечения пека.

Практической целью этого метода является получение из битуминозных топлив горючего (полукокса), способного к бездымному горению. Не говоря уже о том, что этот способ не требует наличия спекающихся углей, необходимых при коксовании, можно было ожидать больших выходов кокса вследствие низкой температуры перегонки 450 — 550°, а из полученных жидких погонов, вероятно, было выделение высокоценных продуктов. Однако, если получение бездымного топлива и имело большое значение для домашнего отопления и для промышленности в густо населенных областях, то наряду с этим преимуществом в так называемом полукоксе имелось и много недостатков. Бездымных топлив мы имеем при этом достаточно и в других видах, как кокс и жидкие и газообразные горючие. Поэтому из-за этого одного проводить коксование при низкой температуре (или перегонку в вакууме) было бы едва ли целесообразно.

В этой области были проведены многочисленные работы, особенно в Англии и в Америке; однако и в настоящее время, несмотря на длившиеся годами исследования, мы находимся лишь в начале развития этого раздела техники. Насколько велики отличия этого процесса от обычного коксования, показывают следующие данные:

[1] L. A., 1858, т. 108, стр. 384.
[2] L. A., 1863, т. 125, стр. 103; т. 127, стр. 313; т. 136, стр. 254; т. 139, стр. 244.

1 000 *кг* каменного угля дают в среднем (по Лунге-Келер (Lunge-Köhler), т. I, стр. 109) около 40 *кг* смолы, 100 *кг* воды, 2,4 *кг* аммиака (соответственно 9,6 *кг* сульфата) и 10 *кг* бензола, наряду с 300 $м^3$ газа. В 1 $м^3$ газа при этом содержатся примерно 130 *г* смолы, 330 *г* воды, 8 *г* аммиака и 33 *г* бензола. При полукоксовании получается примерно двойное количество смолы (80 *кг*) и тройное количество бензола из того же количества угля. При этом смола является значительно более ценной, так как она не подвергалась пирогенному разложению.

Первичной смолой [1] мы должны именовать все смолы, которые были получены непосредственно при переработке топлива как при перегонке, так и при газификации, если они отводятся при температуре их получения наиболее быстрым и осторожным способом, предотвращающим их последующее разложение. Так как образование смолы происходит при медленном нагревании при низких температурах (ниже 450—500°), то такую смолу называют «низкотемпературной» смолой, по предложенному англичанами способу перегонки — «вакуумной смолой», с другой стороны, смолы, получаемые при полукоксовании (швелсмолы), также принадлежат к этой группе, так же как и всякая смола, полученная в процессе газификации при достаточно низкой температуре.

Часто делались предположения, что эти смолы в том состоянии, в каком они получаются подобным способом, существуют уже в угле как таковые. Для такого утверждения отдельные доказательства были даны работами проф. Франца Фишера («Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle», Kohlenforschungsinstitut, Мюльгейм на Руре). Но как бы ни были «доказательны» эти отдельные опыты, все же это положение должно быть проверено. Ряд выполненных работ и наблюдений в практической технике во всяком случае еще не дал оснований к подтверждению этого воззрения. Вероятнее, что здесь мы имеем дело с вторичным продуктом, который тотчас по его образовании удаляется из зоны нагрева вследствие сильного разрежения совместно с более или менее горячим генераторным газом. При этом всегда является особенно важным возможно быстрое удаление швельгаза (смоляное облако в газе).

Хотя мы, повидимому, должны рассматривать первичные смолы, как вторичные образования, все же существует огромная разница между ними и смолами пирогенетического разложения (продуктами пиролиза), как это имеет место в коксовых печах, в установках для получения светильного газа и в газогенераторах при горячем ходе. Состав первичной смолы колеблется в широких пределах в зависимости от рода процесса и от природы топлива [2].

б) Простейшие очистительные устройства

Очистка газа, как уже было упомянуто, необходима в том случае, если получаемый газ должен служить в качестве топлива для газомоторов. Если даже при этом выбрать за исходный материал по возможности свободные от смолы топлива (кокс, антрацит и т. п.), то все же следы

[1] Термин F. Hoffman, Berndorf («Ft. Jg.», 6, стр. 208), к предложению которого присоединился д-р Фр. Фишер, Мюльгейм.

[2] Первичная смола (швельсмола) обычно имеет удельный вес около 0,9 и содержит до 50% фенолов; оснований (пиридин, хинолин и их производные) обычно весьма мало: бензол, нафталин, антрацен — весьма характерные для

смолы в газе остаются и быстро причиняют совместно с увлеченной пылью нежелательные загрязнения машины, в особенности вентилей и т. п. Наиболее старым способом очистки является охлаждение с одновременным отводом загрязнений при помощи пластинчатых уловителей. Таким образом развился тип скруббера, весьма употребительный при всасывающих установках (орошаемая водой охладительная башня с заполнением специальной решеткой или коксом), и очиститель с древесными опилками (для высокой степени очищения газа). Так как при охлаждении мы теряем физическое тепло газа, то его используют перед входом в скруббер для парообразования. Конструкция подобных простых очистительных установок показана на ранее помещенных фиг. 62 и 63. Употребительные холодильники обычно имеют коксовое заполнение, в последнее время часто применяются кольца Рашига; так как промывка набивки весьма затруднительна, то рекомендуется применять первый тип набивки; при этом обычно весьма малоценная и загрязненная пылью смола может быть использована лишь в качестве обычного топлива, и выбрасываемый из очистителя кокс вместе со смолой идет непосредственно в котельные установки. Применение колец Рашига имеет преимущество там, где особенно необходимо создать очень большую поверхность охлаждения. Вследствие сужения поперечного сечения наполнителем необходимо выбирать большие диаметры охладительных башен, в то же время ограничиваясь сравнительно небольшой их высотой, так как время работы охлаждающего средства достаточно велико. Употребительная высота обычно 8—10 *м*, поперечное сечение назначают в 0,2—0,4 $м^2$ на каждые 100 $м^3$ часовой производительности. В очистителях с древесными опилками сечение суживается заполняющим материалом еще более, поэтому приходится выбирать сечение не менее 1 $м^2$ на 100 $м^3$ производительности, в то время как высота при 6—8 решетках (Horden) берется примерно от 1,1 до 1,4 *м*. Только в чрезвычайно редких случаях берут большее число решеток, так как сопротивление иначе делается слишком значительным и вследствие этого потеря давления достигает нежелательных размеров. При применении охлаждающих башен без заполнителей, что возможно при освобожденном от смолы газе, поперечное сечение можно снизить до 0,1 $м^2$, но в таком случае необходимо увеличить высоту аппарата.

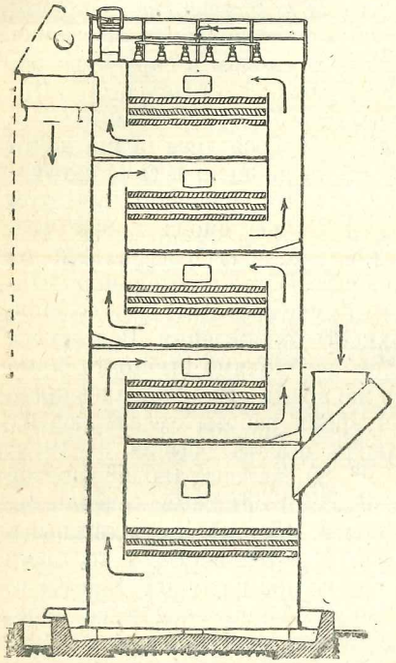
Разделение потока газа набивкой башни очень легко может привести при значительной высоте аппаратов к образованию мертвых пространств,

коменноугольной смолы (коксовальной) — почти отсутствуют; зато имеются парафины C_nH_{2n+2} (Глуудом выделены соединения с C_{24} до C_{29}); в значительном количестве наблюдаются обычно гидроароматические углеводороды и олефины. Для сравнительной характеристики первичных смол из различных родов угля приведем следующую сводку:

Род угля	Выход первичной смолы в %	Содержание фенолов в первичной смоле в %
Тощий	Ок. 1,5	0
Жирный	» 3,5	15—20
Газовый	» 8,0	Ок. 30
Длиннопламенный .	» 12,0	» 45

Ред.

так как охлажденный газ имеет более высокий объемный вес и вовсе не стремится по предназначенному пути кверху, а наоборот, легко увлекается вниз охлаждающей водой, с чем, к сожалению, очень трудно бороться. В связи с этим для таких простых установок нужно иметь в виду предложенный Кубершки [1] (Dr. Kubierschky) колонный аппарат, показанный на фиг. 124, имеющий башню, разделенную на несколько отделений, в которых газ последовательно опускается в одном направлении с охлаждающей водой. Общий же путь газа по всей колонне в результате имеет направление снизу вверх, в то время как вода протекает в противоположном направлении. Таким образом достигается весьма хорошее охлаждение газа и правильное использование охлаждающей воды при наименьших возможных размерах установки, так как неработающее сечение обводов является весьма небольшим.

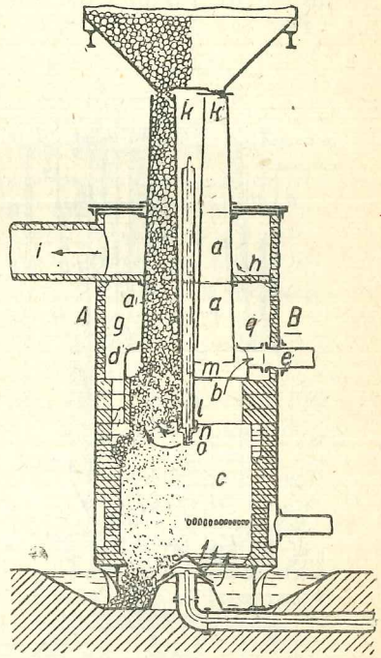


Фиг. 124. Колонный охладитель по Кубершкому.

Чем большее применение получали с течением времени битуминозные угли для получения газа для силовых целей, тем большее внимание техников привлекали конструкции очистительных установок. Наряду с этим велись опыты по выработке такого типа процесса газификации, который бы сопровождался разложением смолистых составных частей. Для этого оказались особенно подходящими газогенераторы с двойным горением. Кроме того, этой же цели пытались достичь, возвращая обратно в газогенератор выделившуюся в смолоотделителе смолу. Последний способ разумеется можно применять лишь в том случае, если температура в газогенераторе достаточно высока для разложения смолы, так как иначе последняя будет лишь перегнана обратно в неразложившемся состоянии.

в) Установки для получения первичной смолы

При всех описанных способах газификации смола рассматривается как бесполезный и нежелательный побочный продукт. В последние годы, однако, получение смолы стало на совершенно новые рельсы. Произведенные исследования, в особенности развившиеся во время войны, и в Германии ведшиеся в первую очередь открытым в 1914 г. Институтом исследования угля в Мюльгейме на Руре [2], показали, что применение перегонки в вакууме дает очень мало преимуществ, и что вполне возможно получение высокоценных смол путем применения при перегонке низких температур; поэтому единственной задачей представилось лишь такое переустройство существующих установок, в особенности газогенераторов, чтобы уголь возможно медленнее проходил потребный температурный интервал и, прежде всего, чтобы образующиеся пары смолистых веществ отводились от топливного слоя без последующего их нагревания. Газогенераторный процесс должен быть при этом изменен таким образом, чтобы дестилляция происходила возможно медленнее и чтобы свежее топливо вводилось не непосредственно в горячий генератор, а в пространственно отделенный от него элемент — швельшахту. Подходящие для этого типа аппараты были уже известны частично и ранее. Я укажу только на конструкции Лермана, Круппа и др. (стр. 146 и сл.), имеющие уже вместо простой подающей трубы специальные реторты, в которых дестилляция топлива выполняется при посредстве их большой поверхности, нагреваемой омывающим ее горячим газом. Основная идея разделенных отводов газа также относится уже к тому же времени. Эти конструкции, однако, с течением времени были почти совершенно забыты. Позднее — около 1900 г. — конструкция зонного газогенератора вновь стала развиваться, причем здесь следует особенно отметить систему Томсона (D. R. P. 135025, фиг. 125) [1]. Мы находим в ней разделенные выхода газа, но нагрев должен еще производиться снаружи. Впоследствии эта конструкция получила дальнейшее развитие в нескольких направлениях, в особенности в части отъема аммиака, причем последний метод потерял затем вообще свое значение вследствие трудности практического применения. Следующая конструкция сходного устройства, в которой впервые был введен внутренний обогрев специально для выполнения дестилляции, предложенная Гарлендом (Garland), американский патент 114979, 1914), представлена на фиг. 126. Здесь перегонка при низкой температуре и притом в присутствии водяного пара с температурой около 400° ведется в реторте, которую здесь уже правильнее называть швельшахтой, при посредстве омывающего ее снаружи потока газа, выходящего из нижней шахты. Предотвращая таким путем окисление газа, надеялись получить вместо тяжелого пека или смолы, главным образом, легкие погоны. В этой конструкции получение первичной смолы происходит почти так же, как оно позднее, во время войны, развилось и распространилось в Германии, причем этот патент



Фиг. 125. Газогенератор Томсона.

[1] Bormann, «Z. f. a. Ch.», 1919, стр. 149.

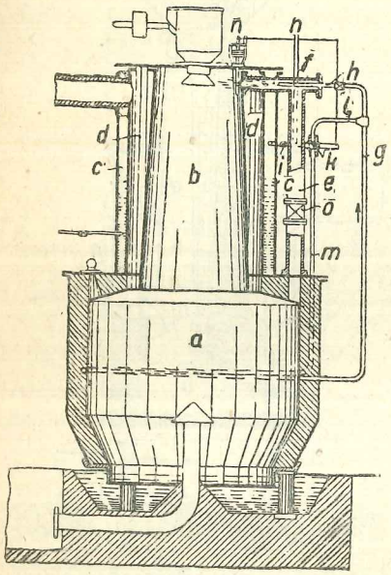
[2] Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung. (Руководитель — Фр. Фишер. Ред.)

[1] Gwosdz, Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Teergewinnung im Gaserzeugerbetrieb. Glückauf, 1919, стр. 754.

остался неизвестным и не был использован; позднее также не удалось установить, был ли вообще этот тип газогенератора осуществлен на практике и с каким успехом.

Ввиду того значения для отбора смолы, которое он получил при новейшем развитии газового дела, мы несколько подробнее рассмотрим его основы, тем более, что здесь дело идет о теплотехнических вопросах, требующих, естественно, различного решения, в зависимости от свойств применяемого топлива.

Швельпроцессы сами по себе должны иметь место в каждом газогенераторе, если нагревание топлива происходит достаточно медленно. Но согласно старому опыту полукоксование должно длиться в условиях работы газогенератора около 5—6 час., и, конечно, поэтому не так легко ввести достаточные камеры для швельпроцесса в конструкцию газера. К тому же встает вопрос о теплопередаче. Исходя из конструкции реторты газового завода, принимали максимальную осторожность в отношении наружного обогрева реторты, однако, вскоре была установлена невозможность достичь потребного развития поверхностей теплопередачи и равномерного полукоксования содержимого реторты. Поэтому остается лишь внутренний обогрев, причем газогенератор строится по типу зонного газера, с одним отличием, что горячий газ не полностью отводится от нижнего слоя, но частью пропускается для нагревания топлива через «швельколокол» (неправильное выражение «реторта» лучше не употреблять в этом случае, так как здесь влияние наружного обогрева почти отсутствует) и отводится затем вместе со швельгазом. При таком способе было уже возможно или путем соответствующей надстройки создать достаточно большую (рассчитанную на 5 — 6 час.) швелькамеру, или же применить внутриаппаратную конструкцию и путем соответствующих мероприятий сократить потребное для полукоксования время. Это удается осуществить путем непрерывного передвижения частиц топлива в колоколе, или же систематического их перемешивания, что предотвращает образование перегретых или слишком холодных мест, и, кроме того, дает возможность быстро и почти без сопротивления отводить продукты полукоксования.



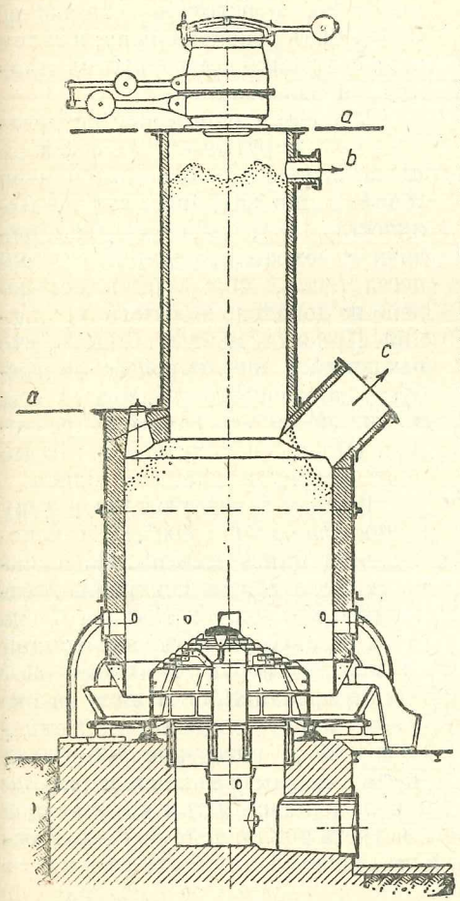
Фиг. 126. Газогенератор Гаревида.

Применение надстраиваемых швельшахт по фиг. 127 — как, например, в выполнении фирмы Юлиус Пинч, — сходно с существовавшими уже ранее типами газеров; в особенности, данный газогенератор с отсасыванием и сожиганием смолосодержащего газа той же фирмы, а также и другие швельгенераторы (например, Льюиса, Лимна,

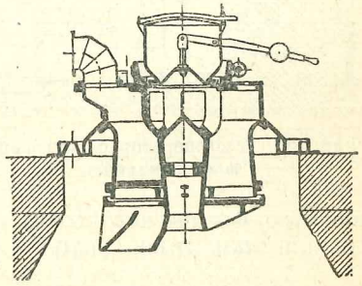
Уайтфильда, Томсона и Гарлэнда) [1] имеют то же самое основное устройство.

Внутренние швелькамеры, в противоположность внешним, при соответственно меньших размерах создают условия лучшей доступности газогенератора и значительно более легкой регулировки. При внутренних камерах возможно также совершенно независимое от хода швельпроцесса воздействие на загрузку нижней части газогенератора, т. е. регулирование процесса газификации, в силу чего и полукоксование может вестись и регулироваться достаточно независимо.

Относящиеся сюда конструкции весьма многочисленны. Особенно практичными оказались выполненные д-ром Фрицем Франком [2], конструкции Линка по фиг. 128 (Акц. о-во для газификации топлива A. G. für Brennstoffvergasung) и Германского об-ва по выработке газа Монда и побочных продуктов (Deutsche Mondgas und Nebenproductengesellschaft) по фиг. 129, причем ценность обоих типов заключается в том, что



Фиг. 127. Газогенератор со швельшахтой.

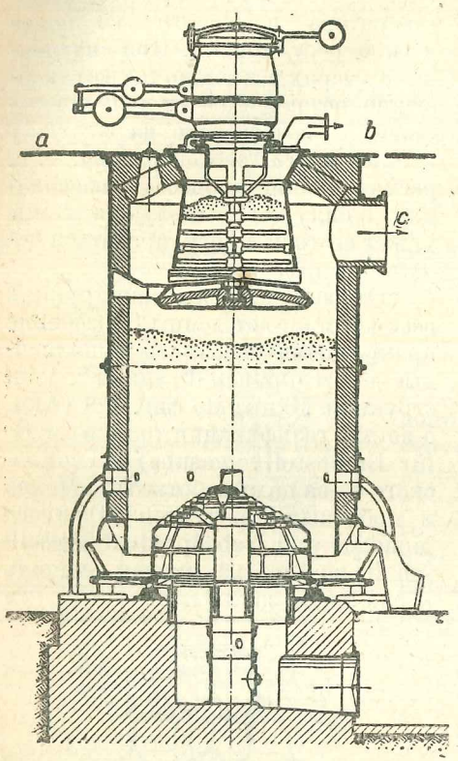

Фиг. 128. Швельреторта Линка.

топливо в течение швельпроцесса непрерывно перемешивается и перемещается, для возможно равномерного и быстрого обогрева с полным отсасыванием продуктов перегонки. Центрально расположенные швелькамеры («колокола») этих конструкций имеют значительные преимущества по сравнению с прежними подвижными внутренними камерами с эксцентричным расположением (Эргардт и Земер, Акц. о-во газификации топлив), а также с конструкциями с двойными стенками (сифоноподобные);

[1] Lewis, Lymn, Whitfield, Thomson, Garland, см. у Гвоздя.

[2] «Vortrag in der Brennkrafttechnischen Gesellschaft», 29/X 1919.

в многочисленных установках они работают вполне удовлетворительно. Они, однако, неприменимы при сильно спекающихся каменных углях, так как шевеление слоя при вспучивании этих углей делается невозможным. Для легко рассыпающихся углей эта конструкция также не может быть рекомендована; в таком случае правильнее вернуться к отдельной швелькамере [1].



Фиг. 129. Газогенератор с внутренней швелькамерой.

Подобные описанным внутренние или наружные швелькамеры имеют значение, однако, лишь при газификации каменных углей. Количество газа, потребное для передачи необходимого для швельпроцесса тепла, может быть определено из довольно простого уравнения. При этом можно принять, что начавшийся швельпроцесс не требует дальнейшего подвода тепла в сколько-нибудь заметных размерах. Это предположение как будто подтверждается данными опыта.

Примем конечную температуру полукоксования в 500°. Пусть исходное топливо имело 10% влажности, подлежащей испарению, теплоемкость зольного топлива пусть будет 0,29. Примем, что выходящий из швельколокола полукокс дает при газификации 3,3 $м^3$ газа на 1 $кг$ необходимого топлива с теплоемкостью 0,35 в интервале 100—600°. Часть газа, проведенная через колокол, должна иметь в общем такое количество физического тепла, чтобы нагреть топливо до 500°, охлаждаясь при этом от 600 до 100° [2]. Следовательно:

$$\frac{x}{100} \cdot 3{,}3 \cdot 0{,}35 \cdot (600 - 100) = 0{,}1 \cdot 600 + 0{,}9 \cdot 0{,}29 \cdot 500.$$

$$5{,}775\,x = 190{,}5,$$

$$x = 33\%,$$

т. е. потребуется около $^1/_3$ всего количества горячего газа, что вполне согласуется с данными опыта. Указанное проф. Фишером [3] количество газа $^1/_7$ от всего выхода должно быть признано во всяком случае слишком малым.

[1] Roser, Die Entgasung der Kohle im Drehofen, «St. u. E.», 1920, стр. 74 и Trenkler, «Z. d. V. d. I.», 1920, стр. 997.

[2] Газ в качестве передатчика тепла должен быть примерно на 100° горячее, чем топливо соответствующего слоя.

[3] Kenntnis der Kohle, т. 3, стр. 107.

Проведем подобный же расчет для бурых углей или буроугольных брикетов с 15% влажности; выход газа из полукокса при этом меньше, так как эти топлива выделяют большее количество продуктов дестилляции. В этом случае мы будем иметь примерно:

$$\frac{x}{100} \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}35 \cdot (600 - 100) = 0{,}15 \cdot 600 + 0{,}85 \cdot 0{,}29 \cdot 500,$$

$$4{,}2\,x = 213{,}25,$$

$$x = 50{,}0\%.$$

При этих расчетах мы не принимаем во внимание теплоты испарения конституционной воды, так как при полукоксовании всегда образуются значительные количества CO_2, причем тем большие, чем больше кислорода содержит топливо. Освобождающиеся при этом количества тепла в большинстве случаев вполне достаточны, чтобы покрыть расход на испарение конституционной влаги.

В заключение нужно определить также границу влажности сырого топлива, при которой все количество горячего газа должно быть пропущено через топливо. Уравнение при этом примет вид примерно такой:

$$\frac{100 - x}{100} \cdot 3{,}3 \cdot 0{,}35\,(600 - 100) = \frac{x}{100} \cdot 600 + \frac{100 - x}{100} \cdot 0{,}29 \cdot 500,$$

$$10{,}325\,x = 432{,}5,$$

$$x = 42\%.$$

Если влажность сырого угля перейдет этот предел, то необходима предварительная подсушка, если желают сохранить полноту швельпроцесса и вместе с тем обильное смолообразование при газификации топлива.

Из приведенных расчетов с полной отчетливостью вытекает отсутствие необходимости внутренних или наружных камер для большинства бурых углей и также для торфа. При буроугольных брикетах и высокоценных сортах бурых углей они могут представлять во многих случаях известные преимущества, так как в этих случаях количества подлежащего очистке швельгаза по сравнению с общим выходом газа незначительны. С точки зрения получения смолы внутренние камеры также не являются необходимыми, так как при указанных топливах вполне возможно держать температуру газа в среднем на 200—250°; получаемая при этом смола по данным нескольких исследований является одинаковой ценности со смолой, получаемой из газогенераторов с внутренней камерой, если работать с достаточной тщательностью.

Применение описанных устройств вызывает возражение — почему обычно генераторная смола, получаемая в этих установках оказывается все же гораздо менее ценной. Это весьма легко можно объяснить, если представить себе всю практическую обстановку работы. Для лучшего ухода за газогенератором интервалы между загрузками делают настолько значительными, что перед очередной подачей топлива распределение жара в верхних слоях может быть контролировано простым глазом. Это означает по меньшей мере температуру газа перед загрузкой в 400°. Если мы примем среднюю температуру газа в 250°, то колебание температур между двумя загрузками составит примерно 300°. В начальных ветвях газопровода величина этих колебаний снижается довольно медлен-

но, и только в крупных газоцентралях температура выравнивается уже в сборной магистрали. Так как смола представляет собой сложную смесь многочисленных ингредиентов с различнейшими температурами кипения, то в газопроводах происходит постепенная фракционированная конденсация отдельных составных частей, в особенности высококипящих, богатых пеком или пекообразных. Если эти конденсаты уже и сами по себе малоценны, в особенности поближе к газеру, где к ним примешиваются топливная пыль и летучая зола, то вследствие температурных колебаний их качество еще более понижается. Процесс крекинга сравнительно быстро приводящий при высоком давлении и температуре к отщеплению легких углеводородов из высококипящих фракций с одновременным повышением содержания углерода (карбонизацией) в остатке, т. е. с образованием пека и кокса, может происходить и при обыкновенном давлении при длительно низких температурных колебаниях, если нижний температурный предел соответствует температуре конденсации, а высший — температуре крекинга. Даже незначительные колебания могут уже приводить к такому результату, как показывает практика установок с добычей первичной смолы, в которых уже колебания температуры в 50—80°, обусловливаемые неточным и неправильным ведением процесса, обращают выделяющиеся небольшие количества тяжелой смолы в чрезвычайно твердую коксообразную корку. Отсюда видно значение быстрого отвода швельгаза; подобные температурные колебания могут быть почти полностью предупреждены применением внутренних швелькамер с подвижными частями. Длинных газопроводов надлежит по возможности избегать или же в случае необходимости предохранять от выделений путем изоляции или промывания. Быстрое и урегулированное выделение смолы из газа при соответствующей равномерной температуре делает невозможным последующее ее разложение. Чтобы избежать необходимости дальнейшей, всегда нежелательной, термической обработки смолы, ее выделение производят при температурах выше точки росы газа, чтобы таким образом получить сразу свободную от воды, немедленно пригодную для применения смолу.

Выше были уже показаны несколько соответствующих конструкций, и делать здесь сколько-нибудь полный их отбор нецелесообразно, так как их развитие еще далеко не закончено. Однако, мы сообщим здесь некоторые эксплоатационные данные: конструкция Пинча [1] дала при газификации брикетов ильзенских углей с содержанием 4,8% смолы, 5,46% золы и 15,07% H_2O — выход смолы в 88,1% (? !). Состав газа в различных пунктах установки дан в табл. 48. В соответствии с расчетом из всего полученного в нижней шахте газа 34,5% было пропущено через швельшахту; общий выход газа достигал 2,33 $м^3/кг$, причем наблюдалось следующее распределение тепла.

Теплосодержание (хим.) в холодном и чистом газе	77,40%
„ в смоле	12,56%
Потеря тепла с золою	1,00%
„ „ с собственной теплотой газа	2,59%
„ „ теплопроводностью и излучением	6,45%
	100,00%

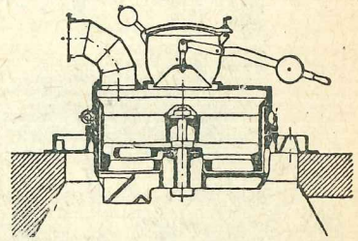
[1] Meyer, Zentralgeneratoranlagen mit Urteergewinnung, «J. f. G.» № 36, 1920.

Таблица 48

Состав газа в различных частях установки Пинча с получением первичной смолы

	CO_2	C_nH_m	CO	H_2	C_2H_6	CH_4	N_2	Низшая теплопроизводительность, $кал/м^3$	Примечания
1. Генераторный газ из нижнего слоя . . .	4,9	0,1	27,0	13,2	—	1,4	53,5	1 296	Совершенно бессмольный
2. Смешанный газ из верхней шахты	11,4	0,4	23,5	19,2	1,2	5,9	38,4	1 967	Освобожденный от смолы
3. Швельгаз (по расчету)	27,8	1,2	14,6	34,6	4,3	17,5	—	3 692	—
4. Смешанный газ у выхода из установки (из 1 и 2)	7,7	0,2	25,5	15,7	0,5	3,3	47,1	1 575	—

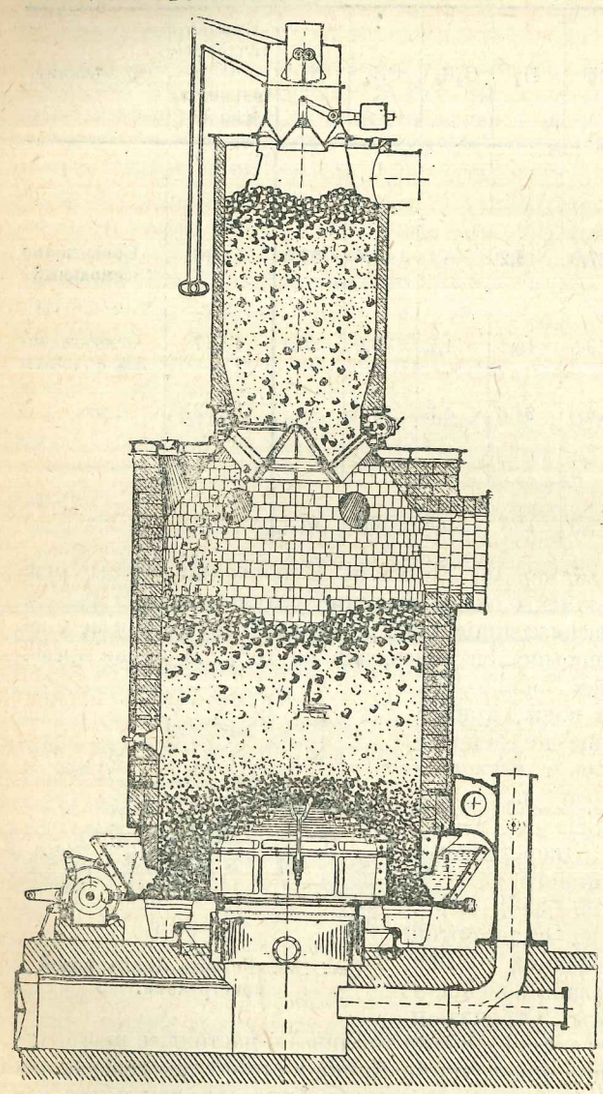
С внутренними швелькамерами Линка на Бурбахском металлургическом заводе [1] были получены очень хорошие результаты при работе мартеновских печей на обессмоленном газе. Длительность плавки не увеличилась и расход угля повышался менее, чем на 10%. В то же время было получено в среднем около 6% смолы с 7% содержанием воды, причем смолоудаление не было еще доведено до конца и пламя получалось слегка светящееся. Первичная смола дала при дестилляции 18—25% легкого масла, 13—15% шпиндельного (веретенного) масла, 15—25% — машинного, 5—8% парафинового масла и 25—35% пека. Устройство газогенератора с ретортой Линка ясно из приведенной выше фиг. 128; на фиг. 130 показана новейшая конструкция этой реторты. Строившая установку фирма (Акц. о-во газификации топлива) в настоящее время отказалось уже от применения конструкции Линка и строит газогенераторы с верхней швельшахтой [2] как для газификации брикетов, так и для каменного угля. Первая из названных конструкций совершенно сходна с показанной на фиг. 127 конструкцией Пинча, последняя—показана на фиг. 131, причем надлежит обратить внимание на проведенное в ней отделение швелькамеры от газификационной шахты



Фиг. 130. Реторта Линка новой конструкции.

[1] St. u. E., 1921, стр. 325.
[2] Wirth, Br. Ch., стр. 345, Berlin, Stilke, 1922.

Такое разделение особенно рекомендовалось д-ром Ф. Франком [1] для получения хорошей первичной смолы, причем здесь необходимо указать, что руководимый названным исследователем технический отдел общества по смазочным маслам для военных целей (Kriegsschmierölgesellschaft) оказал существенное влияние на конструкцию реторты для замедленного нагрева Эргардта и Земера, реторты Линка, а также позднейшей конструкции Deutschen Mondgas-Gesellschaft, и имеет значительные заслуги по испытанию всех этих конструкций. Германское общество газа Монда применяло вначале неподвижную центральную реторту, в особенности при газификации тощих верхнесилезских углей на своих установках для получения газа Монда (паро-воздушного), которые были переделаны во время войны для получения первичной смолы. Эти реторты дали хорошие результаты и были с успехом испытаны также на других топливах, как, например, на чешском каменном угле (кладненском), чешском буром угле и среднегерманских брикетах. С этими легко дестиллируемыми топливами удалось провести почти в 3 часа полное полукоксование (поставить швелькамеры большего размера существующие газогенераторы не позволили), как это показывают анализы в приводимой табл. 49, дающей средние значения для установки на каменном угле.



Фиг. 131. Газогенератор со швельшахтой фирмы A. G. für Brennstoffvergasung.

[1] «Br. Ch.», Jg. 2, стр. 152.

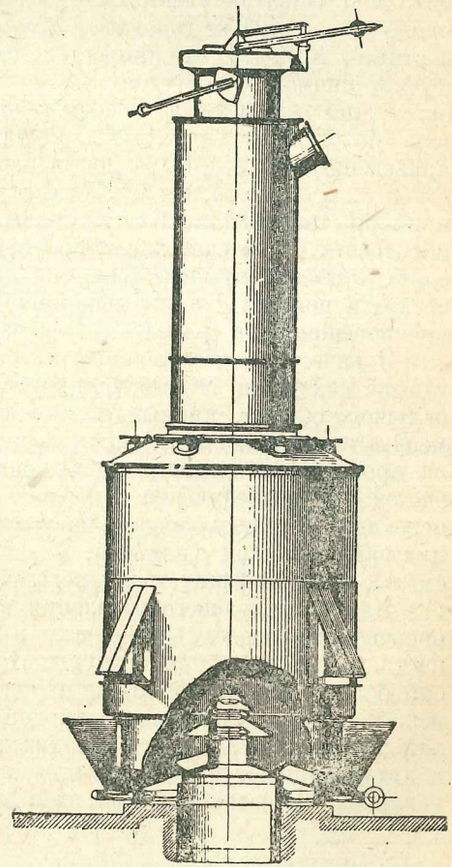
Таблица 49

Состав газа на установке с отбором первичной смолы (Deutsche Mondgas-Gesellschaft)

	Температура, °Ц	CO_2	O_2	CO	H_2	CH_4	C_nH_m	Низшая теплопроизводительность, *кал/м³*	Смола, *г/м³*
Горячий газ	578	5,3	0,5	28,5	12,1	0,6	—	1 227	0,29
Швельгаз .	132	2,7	—	29,2	18,6	6,3	1,2	1 890	53,6

При переработке спекающихся углей или трудно перегоняемых топлив полукоксование происходило лишь частично и не всегда получалась смола высокого качества, так как в более горячих зонах имело место частичное ее разложение. Применением размешивания это было предотвращено, и по данным Яворского [1] (Jaworsky) удалось уже получить выход смолы вместо 4% — до 7,3 — 7,5%, причем состав смолы был примерно следующий: 25—30% моторного погона, 16 — 20% шпиндельного (веретенного) масла, 22—16% среднего масла с кислой реакцией, 1,5—2% парафина, 6—16% тяжелого масла и 22—14% пека. Разработанная на основании этих опытов окончательная конструкция центральной реторты с размешивающим устройством, выполненная при участии д-ра Тебриха (Tebrich) из Общества по смазочным маслам, показана на фиг. 129; она применялась с полным успехом на различных установках.

В последнее время в этой области стали работать лучшие фирмы, о результатах работ которых еще нет определенных данных. Наиболее заслуживает внимания, вследствие ее отличия от ранее описанных, конструкция фирмы A. V. G.— Allgemeine Vergasungs — Gesellschaft (Всеобщая компания газификации), Берлин, показанная на фиг. 132. Этот газогенератор построен для газификации брикетов и имеет только один выход



Фиг. 132. Газогенератор фирмы A. V. G с решеткой Коллера.

[1] «St. u. E.», 1921, стр. 328.

для газа; он отличается от нормального газогенератора своей длинной суженной шахтой, процессы в которой вследствие этого пространственно растянуты и разделены, хотя в отношении длительности они не претерпевают какого-либо изменения, так как передача тепла зависит только от температурных различий и часовой газопроизводительности. Поэтому этот газогенератор не является в полном смысле этого термина газогенератором со швелькамерой и не может поэтому применяться для топлив, дающих газ высокой температуры; в крайнем случае он может работать поэтому на буроугольных брикетах, для которых, как выше уже было указано, швелькамера не является необходимой. С другой стороны, возможно, что высокая, суженная шахта создаст возможность очень равномерного и хорошего прогрева топлива; это, конечно благотворно влияет на процесс полукоксования; то же самое может быть, впрочем, достигнуто путем всякого повышения слоя топлива и поэтому усложнение конструкции этим не может быть оправдано. По данным Фабиана [1] из 1 *кг* брикета получается 2,1 $м^3$ газа с теплопроизводительностью 1 650 *кал*; кроме того, из 1 *т* топлива получается 120 *кг* смолы, причем расход пара достигает около 0,5 *кг* на 1 *кг* горючего. В соответствии с этими цифрами к. п. д. достигает 87% (?), что, впрочем, несколько сомнительно. Заслуживает особого внимания то обстоятельство, что в Кассельском каменноугольном округе находят целесообразным проводить и газифицировать среднегерманские угольные брикеты из Розица, отстоящего на 250 *км*. Так как приведенные данные были получены при очень слабой нагрузке генераторов и, кроме того, в другом месте из розицких брикетов было добыто примерно такое же количество смолы, [2] то этот высокий выход смолы нужно отнести не за счет характера процесса, а только за счет выбранного сорта топлива, причем, однако, экономия, получаемая в результате возврата пошлин [3] и повышения выхода смолы, в значительной части уравновешивается расходами на фрахт.

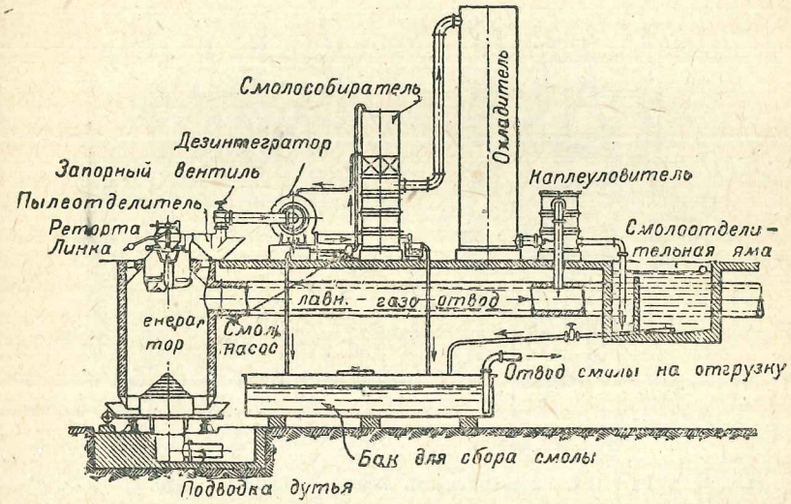
В качестве очистительных устройств могут применяться при этом, так же как и при всасывающих установках, скрубберы или охладители большого объема, промывные колокола и т. п.; но эти методы не рекомендуются, так как получаются значительные потери смолы, в особенности же происходит большое ее обводнение, что очень неблагоприятно сказывается при последующей перегонке смолы. Поэтому в последнее время переходят, главным образом, на очистку газа при помощи дезинтеграторов или вращающихся фильтров, работающих при температурах вводимой смолы, превышающих точку росы газа.

Для последующего отделения водного баласта необходима простая орошаемая охладительная башня, в которой газ охлаждается по возможности до наружной температуры. При соответствующей строительной высоте башни могут применяться и без футеровки (стр. 265). Чтобы устранить нежелательное образование отходящих вод, отработавшую воду снова охлаждают в градирнях или охладителях, устроенных на дымовых трубах, и устанавливают таким образом круговорот воды. Потери вследствие испарения превосходят при этом прибыль за счет конденсирующейся

[1] «Braunkohle», 1922, вып. 6.
[1] Seidenschnur, «Br. Ch.», Jg. 2, стр. 241.
[2] Конечно, в германских условиях. Ред.

влажности. Охладительное устройство при каменноугольном топливе можно устранить; общая схема такой установки показана на фиг. 133.

Ротационные газопромыватели известны, главным образом, в конструкциях Тейсена (Theisen, Мюнхен), Шварца (Schwarz, Дортмунд), Цшокеверке (Zschockewerke, Кайзерслаутерн), Динглер (Dingler, Цвейбрюкен), которые представляют лишь различные водоизменения дезинтеграторa, предложенного уже в 1877 г. Брауном для очистки газа. Способ их применения всегда заключается в том, что газ прогоняется или

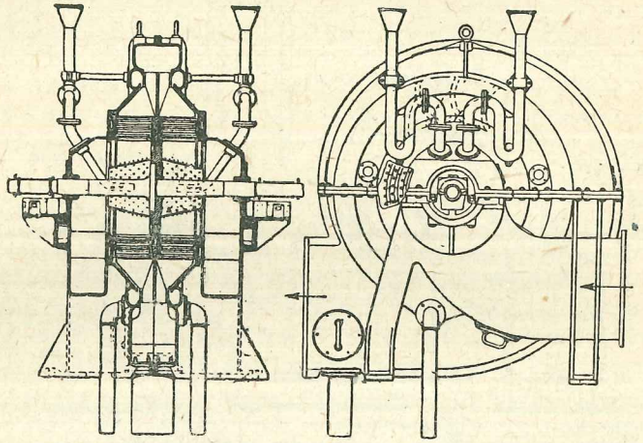


Фиг. 133. Схема установки для получения первичной смолы.

просасывается при помощи вентилятора через дезинтегратор, снабженный вращающимися спицами (рабочая часть), которые движутся между неподвижными рядами брусков; при этом создаются самые разнообразные условия для прохода газа и происходит сильнейшее «выбивание» смолы из газа. Этот принцип одинаков для всех названных систем; однако в то время, как Тейзен вентилятор и дезинтегратор размещает на одном валу в радиально последовательном порядке и таким путем получает весьма уплотненную и надежную конструкцию, в других системах эти агрегаты разделены, причем они ставятся или на одном валу непосредственно один за другим по оси вала (Шокеверке), или же вообще полностью отделены один от другого (Шварц-Байер). Последняя система имеет преимущество в отношении меньшей затраты энергии, так как каждый аппарат может работать на характерном для него оптимальном числе оборотов, и унос смолы может быть снижен; но она имеет и недостатки: требует двух приводов и занимает большее место. Степень очистки, достигаемая всеми конструкциями, примерно одинакова; повышение степени очистки во всех случаях требует значительного увеличения расходов энергии. При использовании газа на нагрев это не является необходимым. Конструк-

ция газоочистителя Тейзена представлена на фиг. 134 и не требует дополнительных разъяснений [1].

Новой конструкцией, заслуживающей большего внимания, является так называемый вращающийся фильтр фирмы Петри и Гекинг (Petry u. Hecking), Дортмунд. В нем отсутствует специальный вентилятор, так как обычно требуется лишь небольшое давление, необходимое для преодоления сопротивления самой установки. Вместо быстроходного дезинтегратора мы имеем здесь медленно вращающийся фильтр, заполняющая набивка которого и оказывает достаточное задерживающее действие на отделяемые ингредиенты [2]. Конструкция аппарата ясна из



Фиг. 134. Газоочиститель Тейзена (дезинтегратор).

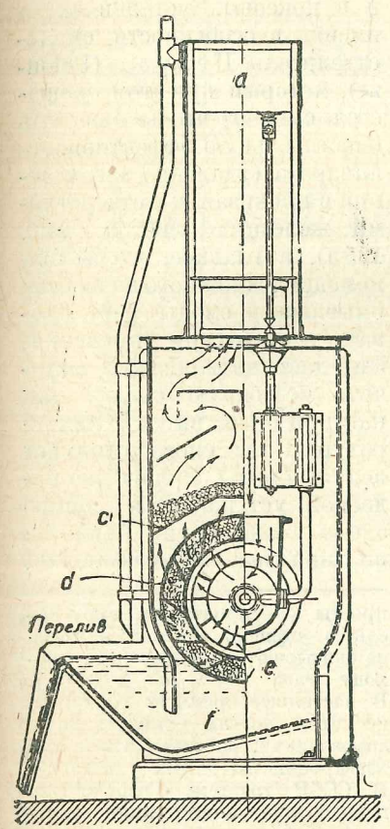
фиг. 135; при степени очистки в 96% он требует расхода энергии в три раза меньшего, чем дезинтегратор; так что даже считаясь с несколько низшей степенью очистки, необходимо признать, что это обстоятельство более чем уравновешивается меньшим расходом энергии, тем более, что последующее охлаждение газа для освобождения его от водяного баласта удаляет одновременно из газа последние остатки смолы. Эти назначительные количества содержащей воду смолы можно снова пропустить через фильтр для освобождения их от влажности, так что в общем цель получения практически безводной смолы достигается полностью.

Сухие фильтры не могут применяться для содержащего смолу газа, так как смола залепляет отверстия фильтра. В последнее время стали применять для предварительной очистки от пыли подогреваемую фильтрующую массу [(способ Раффлоера (Raffloer)], чтобы получить затем смолу, свободную от пыли; однако мы не имеем еще удовлетворительных эксплоатационных характеристик этого метода. Электроочистка делает также возможным последовательное удаление пыли и смолы, одно-

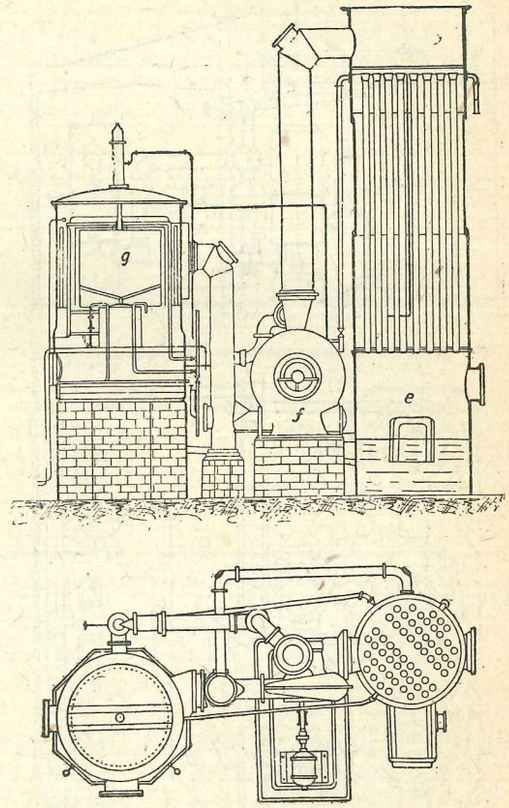
[1] Новая конструкция Тейзена снабжена стальным диском с волнистыми тарелками (по 16 с каждой стороны) и новой системой орошения газа; экономия энергии — около 20—25%. См. «St. u. E.», 26, 269, 1932. Ред.

[2] «Z. d. V. d. I.», 1922, стр. 1264.

нако такое разделение никогда нельзя осуществить полностью, так как незначительные количества смолы всегда выделяются совместно с тонкой пылью, залепляют фильтрующую массу или загрязняют электроды и в конце концов приводят к короткому замыканию [1]. Все же оба способа заслужи-



Фиг. 135. Вращающийся фильтр Петри и Гекинга.

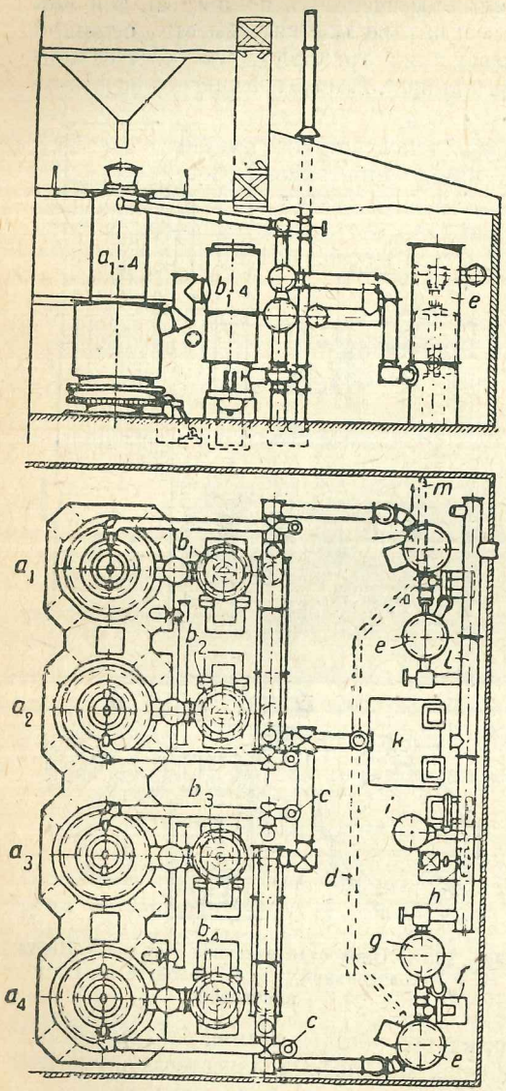


Фиг. 135 а. Смолоотделительная установка Пелуз: *e* — холодильник, *g* — смолоотделитель, *f* — вентилятор.

вают внимания, так как предварительное обеспыливание газа имеет значительные преимущества в отношении повышения качества получаемой смолы.

[1] В последние годы техника электроочистки газов сделала большие успехи и получает все большее распространение, так как обеспечивает высокую чистоту газа, что важно для его применения как в стекловаренных печах, так и печах химической и металлопромышленности; механическое удаление смол в пелюзах и скрубберах не дает достаточно полной очистки; ротационный дезинтегратор Тейзена дает высокую степень очистки, но чувствителен к газам, получаемым из низкосортных топлив и содержащих кислоты (торф, древесина); кроме того, он требует до 6 *квт* энергии для очистки 1 000 $м^3$ газа в час.

В то же время последние конструкции электрофильтров Коттреля (Cottrell, САСШ, 1907) требуют затраты лишь 0,5 *квт* на 1 000 $м^3/час$, очень



Фиг. 136. Установка Пинч для получения первичной смолы.

a_{1-4} — газогенераторы;
b_{1-4} — котел на отходящих газах;
c — отводы продувочные.
d — обводная линия;
e — трубчатый охладитель;
f — газовый эксгаустер;
g — смолоотделитель Пелуза;
h — вентилятор для воздуха;
i — увлажнитель дутья;
k — охладитель для горячего газа;
l — отвод чистого газа;
m — отвод смолы.

Для выделения первичной смолы применяют также частично и аппараты, известные уже на газовых заводах и в коксовых установках, а именно в особенности смолоотделитель Пелуза (Pelouze), который при этом орошается смолой, чтобы повысить очистительную эффективность аппарата (удаление загрязнений с пронизанных отверстиями железных листов, фиг. 135 а), а главное, чтобы при помощи возможного подогрева омывающей смолы регулировать температуру выделения. Это дает возможность получить безводную смолу, так как при более высоких температурах газ снова отнимает воду из смолы. Включение подобной установки в общую схему газификации брикетов по Пинчу показано на фиг. 136.

просты в эксплоатации, дают высокую степень очистки и почти не оказывают сопротивления проходу газа (3—5 *мм* вод. ст.). В настоящее время за границей, несмотря на их сравнительную дороговизну, работают уже сотни электроочистительных установок. В СССР трестом «Газоочистка» разработана конструкция электрофильтра, почти полностью устраняющая те недостатки, на которые указывает Тренклер: электродам придана форма трубок, по которым осажденная смола стекает вниз. Кожух весьма плотный, цилиндрической формы; газ подается в междутрубное пространство сбоку, что обеспечивает его правильное распределение. При работе выше точки росы электрофильтр осаждает безводную смолу. Предотвращение коррозии уксусной кислотой (при торфяном или древесном газе) легко возможно; уксуснокислый кальций может быть получен сравнительно чистый. Расход энергии электрофильтрами ограничивается всего лишь 10 *квт* на сдвоенный

Таблица 50

Сорт угля	Саарский уголь		Верхнесилезский уголь		Лаузицкий сортированный уголь	Среднегерманские бурогольные брикеты	
Тип газогенератора	Акционерное о-во газификации топлива [1]	Реторта с внутренним нагревом	Общество газогенераторов Монда	Акционерное о-во газификации топлива [1]	Вращающаяся решетка с ретортами	Газер Гэллера без реторт	Генератор AG
I. Выход смолы . . . . . %	5—5,5	6—7	6—6,5	2,0—2,3	—	10—12	
II. Свойства смолы:							
Удельный вес при 15°	1,104	1,059	1,02—1,05	1,012	1,005	0,98	
Механическое загрязнение . . . . . %	2,36	2,03	1,3	0,52	0,58	0, 4—0,5	
Вязкость при 100° Э	—	1,69	1,7	—	1,84	—	
Выход дестиллята . . . . . %	59,5	66,0	72,0	66	63,7	70,0	
Выход песка . . . . . %	39,7	33,0	27,0	32	30,0	28,0	
III. Первичный дестиллят:							
Удельный вес при 15°	1,020	1,022	1,023	1,003	—	0,97	
Вязкость при 50° Э	1,41	2,0	1,8	2,5	—	2,5	
Точка вспышки . . . . . °Ц	108	105	96	112	—	105	
Точка затвердения . . . . . °Ц	—2	—2	—1	—	—	+ 18	
Содержание парафина. . . . . %	1,95	2,8	2,92	3,5	11,8	10—14	
Точка плавления парафина . . . °Ц	58	51	52	51	51,5	50—51	
Кислых масел . . . . . %	40	36	37	26	13	28	
Асфальта . . . . . %	3,07	—	—	8,9	—	—	
IV. Разгонка первичного дестиллята по удалении парафина:							
Легкого масла . . . . . %	25,5	27,0	30,0	—	26,5	24,0	
Удельный вес при 15°	0,976	—	—	—	0,9695	0,94	
Точка вспышки . . . . . °Ц	89	82	85	—	95	95	
Смазочное масло . . . . . %	31,4	37	30	—	35,5	44,0	
Точка вспышки . . . . . °Ц	148	152	150	—	179	150	
Вязкость при 50° Э	4,97	4,9	6—7	—	8,5	4—5	
V. Свойства пека:							
Температура затвердения . . . °Ц	100	76—77	3—84	92,5	57,5	65	
Нерастворимый остаток в бензине . %	22,7	12,3	16,7	12,8	Следы	15,0	
Зола . . . . . %	1,115	0,72	1,09	0,46	—	0,6	

[1] В настоящее время — Lurgi A. G. Ред.

Подобным же образом можно было бы повысить эффективность очистительных колоколов путем их орошения, и, что в особенности важно, путем подогрева смолы предотвратить конденсацию влаги газа; при этом возможно было бы получить безводную, годную для немедленной отгрузки смолу, если бы не являлись препятствием значительные размеры потребных охлаждающих поверхностей.

Так как все подобные очистители производят такое же механическое действие как и дезинтеграторы и вращающиеся фильтры, то в них имеет место потеря давления, почему они и должны быть соединены с экгаустором; расход энергии в них примерно такой же, как во вращающихся фильтрах или в разделенных дезинтеграторах. Более старые конструкции механических очистителей при сравнении с ротационными не представляют каких-либо технических преимуществ; наоборот, степень очистки в них ниже, поддерживание определенной температуры и предотвращение этим путем образования эмульсии — затруднительнее, так что даже несколько повышенный расход энергии при применении ротационных газовых очистителей вполне себя оправдывает.

Вполне возможный метод газоочистки, до сего времени еще не испытанный, представил бы очищение при помощи впрыскивания смолы в том виде, как оно применяется в коксовых установках фирмы Отто (Otto Co); однако этот способ при больших количествах газа не представит особых преимуществ по сравнению с применяемыми методами [1].

Выше мы приводили уже некоторые эксплоатационные данные. Систематический обзор их сделан д-ром Ф. Франком [2]; сопоставление полученных им результатов дано в табл. 50, относящейся к различным топливам и различным конструкциям газеров. Дальнейшее сопоставление результатов анализа первичных смол из различных производств дано в табл. 51 [3]. Вопросы переработки смол не могут быть здесь затронуты. Но все же мы должны указать на ценные работы д-ра Франца Фишера и его сотрудников [4].

агрегат, пропускающий 30 000 $м^3$ в час (по данным инж. Н. Егорова, трест Газоочистка); см. также Prof. Dr. R. Seeliger, Electrische Gasreinigung und Filterung, «Труды II Всемирной энергетической конференции, Берлин 1930, доклад № 415; S. Schlaicher u. E. Göbel, Untersuchung einer Cottrell — Möller — Anlage, «St. u. E.», № 2, 1929, R. Heinrich, Reinigung von gasen unttels Elektrofilter, «Z. d. V. d. J.» № 7, 1930; Г. Н. Шведер, Современное состояние электроочистки доменного газа, «Бюллетень Гипромеза № 4, 1930; инж. Н. Н. Егоров и Б. М. Шнеерсон, Электрическая очистка газов, «Химстрой» № 4 — 8, 1930 и № 2 — 4, 1931. Ред.

[1] Из многочисленной литературы последних лет по вопросу удаления смолы из газа можно указать дополнительно: G. Junge, Die chemisch-physikalischen Grundlagen der Teergasreinigung, «Teer und Bitumen» № 27, 1920; того же автора: «Die technischen Einrichtungen zur Reinigung teerhaltigen Gase», «Bergbau» № 4, 1929; G. Weissenberger, Naphthalinabscheidung mittels Tetralin, «G. W. F.» № 35, 1930; Funke, Die Gewinnung von Peek und Teerölen Sowie Ammoniak und Schwefelwasserstoff aus Kokereigas nach den Verfahren v. Walter Feld, «G. W. F.» № 25, 26, 27 и 28, 1925; G. Kroupa, Zur Gewimung von Tieftemperaturteer (Urteerverkonung) «Petroleum» № 33, 1929. Ред.

[2] «Brennstoffchemie», Jg. 2, стр. 152.

[3] Из Тренклера «Chemie der Brennstoffe», 2-е изд., Leipzig, Spamer, 1921.

[4] «Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle», т. 1 — 5, Берлин, Борнгребер. (Из последних работ по переработке газогенераторных смол в СССР можно указать: Н. М. Караваев, В. И. Каржев, «Смола московских углей», «Химия твердого топлива» VII, 1932, стр. 477; М. Б. Раппопорт и С. В. Кафтанов (то же), «Химия твердого топлива» № 11—12 1932 г., работа Мосхимэнергостроя (Тульской лаборатории) и др. Ред.

Таблица 51

Состав первичной смолы из производства

	Топливо			
	Газовый пламенный уголь	Тощий уголь	Газовый уголь	Буроугольные брикеты
Сырая смола:				
Удельный вес	1,052	1,068	1,066	1,026
Нерастворимый остаток в бензоле, %	0,954	0,11	1,60	2,77
Золы %	0,12	0,18	0,14	0,13
H_2O % около	3,0	5,80	4,50	7,3
Масла (при первичной дестилляции) %	56,35	67,50	57,0	56,2
Пека %	40,00	26,30	38,3	34,8
Первичный дестиллят:				
Удельный вес	1,001	1,030	1,008	1,013
Вязкость при 20° Э	4,31	9,47	3,11	11,6
Температура вспышки °Ц	93	112	85	115
„ воспламенения °Ц	108	130	98	135
„ застывания °Ц	—5	+4	—6	+7
Кислых масел %	36	44	32	28
Пек:				
Точка плавления, °Ц (размягчения)	87	95	83	70
Растворимый остаток в алкоголе %	58	60	76	75,5
Золы %	0,47	0,55	0,20	1,24
Парафина на сырую смолу %	0,345	17,0	0,5	8,5
Точка плавления °Ц	34	—	54	57
Смазочных масел (концентрат) на сырую смолу %	34,8	40,5	34,9	28,4
Вязкость при 50° Ц Э	4,35	—	4,91	6,70
Точка вспышки °Ц	154	173	148	152

Таблица 51а (Ред.)

Состав первичной смолы [1] из лисичанских углей (Харьков, Институт прикладной химии)

Бензин	7,1%
Легкое и среднее масло (фенолов 55—60%)	10,2%
Тяжелое масло (шпалопропиточное, фенолов—55—60%)	23,7%
Парафиновое масло (креозолов—55—60%)	16,2%
Гудрон (пек)	39,7%
Потери	3,1%

[1] Г. И. Булгаков, «Уголь и железо» № 18, 1927 г.

О первичной торфяной смоле (генераторной и полукоксовальной) см. у В. Е. Раковского и П. М. Иоффе, «Химия твердого топлива» № 11 — 12, 1931. Генераторная смола перерабатывается пока Торфопродуктом преимущественно на кислые масла (антисептики, акрологи).

Торфяная смола установки в Гусь-Хрустальном имеет удельный вес 1,03, теплопроизводительность — около 8 700 *кал/кг*, содержит парафина 5,23%, воска — 3,279%, асфальтенов — 23%. Ред.

Температура пламени при сжигании различных газов

Таблица 52

Газифицируемое топливо	I. Сырой бурый уголь					II. Бри
Вид газа, конечное состояние газа при употреблении	Неочищенный газ		Бессмольный газ		Очищенный газ	Неочищенный газ
	Без охлаждения	Не принимая в расчет собственное тепло	Без охлаждения	Не принимая в расчет собственное тепло		Без охлаждения
	а	б	в	г	д	а
Анализ газа: CO_2 %	7,0					2,5
CO %	24,0					31,5
CH_4 %	2,7	Как в „а“	Как в „а“	Как в „а“	Как в „а“	2,5
C_nH_m %	0,4					0,4
H_2 %	13,5					13,2
O_2 %	0,4					0,2
N_2 %	52,0					49,7
Итого . . . %	100,0	—	—	—	—	100,0
Воды, ... г/м³	500,0	Как в „а“	500,0	Как в „а“	30,0	120,0
Смолы . . . . . „	30,0		0,0		0,0	28,0
Низшая теплопроизводительность вычисленная: газа кал/м³	1 368	Как в „а“	1 368	Как в „в“	Как в „в“	1 573
смолы „	237		—			221
Итого . . кал/м³	1 605	—	1 368	—	—	1 794
Потребность в воздухе для теоретического сжигания: газа, . . м³	1,208	Как в „а“	1,208	Как в „в“	Как в „в“	1,360
смолы . . „	0,247		—			0,221
Итого	1 455	—	1,208	—	—	1,581
25% избыток воздуха для практического сжигания 1 м³ газа						
Результат горения. Состав продуктов горения: газа CO_2 . . . . . м³	0,348		0,302			0,395
N_2 . . . . . „	0,345		0,345			0,573
O_2 . . . . . „	1,474		1,474			1,584
H_2O . . . . г/м³	0,004		0,004			0,002
смолы CO_2 . . . . . м³	158,33	Как в „а“	158,33	Как в „в“	Как в „в“	152,73
N_2 . . . . . „	0,043		—			0,040
H_2O . . . . г/м³	0,196		—			0,183
	18,77		—			17,52
Состав отходящих газов: CO_2 . . . . . м³	0,388	Как в „а“	0,345	Как в „в“	Как в „в“	0,413
$N_2 + O_2$ + воздух, м³	2,058		1,780			2,164
Итого . . . . . м³	2,446	—	2,125	—	—	2,577
H_2O от сжигания, ... г/м³	177,10	—	158,33	Как в „в“	158, 3	170,25
Первоначальная влажность, ... г/м³	500,00	—	500,00		30,00	120,00
Итого, . . . г/м³	677,10	—	658,33	—	188,33	290,25
Собственная температура газа . . . . °Ц	130	(0)	80	(0)	28	290
Собственное тепло газа и смолы, кал/м³	43	0	25	0	9	95
Собственное тепло газа . . . . . кал/м³	24	0	15	0	1	13
Итого . . кал/м³	67	0	40	0	10	108
Общее теплосодержание газа у места использования . . . . . кал/м³	1 672	(1 675)	1 408	(1 368)	1 378	1 902
Температура пламени при сжигании с 25% избытком воздуха . . . . . °Ц	1 340	1 290	1 270	1 230	1 540	1 695
CO_2 в газообразных продуктах горения, %	15,86	15,86	16,23	16,23	16,23	16,02

кет (буроугольный)				III. Каменный уголь						I—IV
Бессмольный газ		Очищенный газ	Очищенный смешанный газ при получении первичной смолы с внутренней ретортой	Неочищенный газ		Бессмольный газ		Очищенный газ	Очищенный смешанный газ при получении первичной смолы с внутренней ретортой	Газ Монда
Без охлаждения	Не принимая в расчет собственное тепло			Без охлаждения	Не принимая в расчет собственное тепло	Без охлаждения	Не принимая в расчет собственное тепло			
в	г	д	е	а	б	в	г	д	е	
Как в „а“	Как в „а“	Как в „а“	Как в „а“	1,8 30,4 3,4 0,3 12,6 0,3 51,2	Как в „а“	Как в „а“	Как в „а“	Как в „а“	Как в „а“	16,2 12,8 3,8 0,5 25,0 0,2 39,5
—	—	—	—	100,0	—	—	—	—	—	100,0
120,0	Как в „а“	30,0	30,0	35,0	Как в „а“	35,0	Как в „в“	30,0	30,0	30,0
—		—	Следы	14,0		—		—	Следы	—
1 573	Как в „в“	Как в „в“	Как в „в“	1 585	Как в „в“	1 585	Как в „в“	Как в „в“	Как в „в“	1 432
—				111		—				—
1 573	—	—	—	1 696	—	1 585	—	—	—	1 432
1,360	Как в „в“	Как в „в“	Как в „в“	1,391	Как в „а“	1,391	Как в „в“	Как в „в“	Как в „в“	1,334
—				0,115		—				—
1,360	—	—	—	1,506	—	1,391	—	—	—	1,234
0,340				0,377		0,348				0,334
0,373				0,363		0,363				0,338
1,584				1,611		1,611				1,449
0,002	Как в „в“	Как в „в“	Как в „в“	3,003	Как в „а“	0,003	Как в „в“	Как в „в“	Как в „в“	0,002
152,73				160,76		160,76				270,1
—				0,020		—				—
—				0,091		—				—
—				8,76		—				—
0,373	Как в „в“	Как в „в“	Как в „в“	0,383	Как в „а“	0,363	Как в „в“	Как в „в“	Как в „в“	0,338
1,926				2,082		1,962				1 784
2,304	—	—	—	2,465	—	2,325	—	—	—	2,122
152,73	Как в „в“	152,73	Как в „в“	169,52	Как в „в“	160,76	Как в „в“	160,76	Как в „в“	270,1
120,00		30,00		35,00		35,00		30,00		30,0
272,73	—	182,73	—	204,52	—	195,76	—	190,76	—	300,1
175	(0)	28	140	540	(0)	350	(0)	28	360	28
55	0	9	44	177	0	113	0	9	117	9
8	0	1	2	7	0	5	0	1	5	1
63	0	10	46	184	0	118	0	10	122	10
1 636	(1 573)	1 583	1 619	1 830	(1 696)	1 703	(1 585)	1 595	1 797	1 442
1 650	1 585	1 645	1 685	1 820	1 640	1 745	1 620	1 630	1 750	1 525
16,19	16,19	16,19	16,19	15,54	15,54	15,69	15,61	15,61	15,61	15,93

г) Экономическое значение отбора первичной смолы

Для полноты рассмотрения вопроса здесь надлежит коснуться вопросов экономики получения первичной смолы при газификации. Совершенно ясно, что вместе со смолой удаляется из газа горючая составная часть; для сохранения тепловой ценности газа на уровне, достижимом при сохранении в газе смолы, мы должны заменить удаляемую смолу соответствующим количеством газа.

Однако удержание смолы имеет место лишь в сравнительно незначительных размерах и притом только при высоких температурах газа (как, например, при каменном угле). В центральных газоустановках значительная часть смолы теряется уже в газопроводах и каналах, и еще большая часть в вентилях и тому подобных устройствах. Если газ применяется на нагревание печей (как, например, мартеновских печей, нагревательных печей, стекловаренных ванных печей и т. п.), то оставшаяся в газе смола разлагается в камерах печи с выделением сажи (подобно метану и другим углеводородам по наблюдениям Ледебура, Вюртембергера и Мейера); сажа придает пламени газа сильное окрашивание, но она сгорает в рабочем пространстве печи не полностью, так что теплопроизводительность смолы используется для целей нагрева только в невысокой степени. С другой стороны, при работе на очищенном газе легко может быть осуществлен подогрев газа отходящими газами, всегда имеющимися в достаточном количестве, что и может уравновесить потерю смолы. Совершенно очевидно, что мы имеем возможность подогревом холодного газа достичь не меньшей его температуры, чем температура горячего газа при подаче его в печь, так как теплопередача в первой части камеры вследствие значительной разности температур идет весьма интенсивно, подобно теплопереходу в воздушных камерах; как показывает опыт, температура воздуха при выходе его из камер бывает не менее, а часто даже более высокой, чем температура газа. Повышение расхода топлива при применении очищенного от смолы газа может быть таким путем сведено к совершенно незначительному минимуму и только в редких случаях соответствует теплопроизводительности выделенной смолы. Если считать для средних условий выход смолы в 6 — 7%, что соответствует максимально 10% теплопроизводительности угля, то этим примерно количеством и ограничивается повышение расхода топлива, что показывают уже наблюдения Линка (стр. 273). Как правило, однако, можно считать повышение расхода только в $^1/_2$ — $^1/_3$ этого количества.

Иначе складывается соотношение работы на смольном и бессмольном газах, если не применять подогрева газа и работать на установке, позволяющей сохранить собственное тепло газа. В табл. 52 [1] сделан соответствующий сравнительный подсчет всех возможных случаев применения для трех различных топлив, а именно для сырого бурого угля, буроугольных брикетов и каменного угля. В первом случае исходят из предположения, что вся смола и все собственное тепло газа сохраняются полностью, что, собственно говоря, никогда не имеет места. Другие случаи относятся к смольному, но охлажденному, затем к очищенному и бессмольному, но теплому газу (с применением внутренних и наружных ре-

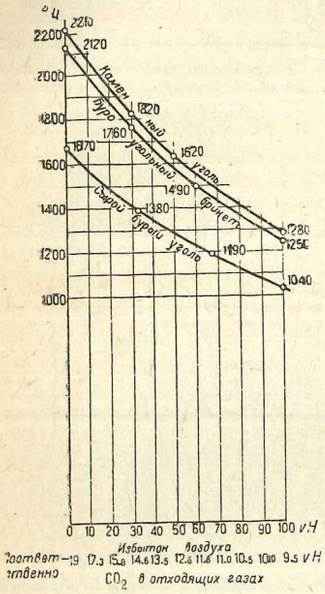
[1] По Тренклеру, Sparsame Wärmewirtschaft, вып. 1, с некоторыми дополнениями.

Таблица 53

Температуры пламени при сжигании твердых тел

	Топливо		
	Сырой бурый уголь	Брикет	Каменный уголь
Элементарный анализ:			
Влажность . . . . . %	52,68	13,96	2,79
A (зола) . . . . . %	5,77	10,49	1,62
C . . . . . %	29,59	53,80	80,18
H_2 . . . . . %	2,35	4,27	5,40
O_2 . . . . . %	8,22	14,95	8,15
N_2 . . . . . %	0,35	0,63	1,42
S . . . . . %	1,04	1,90	0,44
Итого, . . . %	100,00	100,00	100,00
Теплопроизводительность: вычисленная . . *кал/кг*	2 490	5 017	7 758
Теплопроизводительность: определенная . . . »	2 547	5 064	7 768
Теоретическое сжигание:			
Расход воздуха . . . . . *м³/кг*	3,031	5,511	8,317
Содержание в продуктах горения:			
CO_2 . . . . . *м³/кг*	0,553	1,006	1,498
N_2 . . . . . »	2,398	4,359	6,582
SO_2 . . . . . »	0,007	0,013	0,003
Итого, . . *м³/кг*	2,958	5,378	8,083
H_2O . . . . . *г/кг*	210,0	381,6	482,6
Кроме того, первоначально H_2O . . . *г/кг*	526,8	139,6	27,9
Итого . . *г/кг*	736,8	521,2	500,5
Содержание CO_2 в газообразных продуктах . . . . . %	18,04	18,04	18,62
Температура пламени . . . . . °Ц	**1 670**	**2 120**	**2 210**
Практическое сжигание:			
Избыток воздуха . . . . . %	100	60	50
» » . . . . . *м³/кг*	3,031	3,307	4,158
В том числе O_2 . . . . . *м³/кг*	0,636	0,694	0,873
» » » N_2 . . . . . »	2,395	2,613	3,285
Общее количество газообразных продуктов горения . . . . . *м³/кг*	5,986	8,681	12,275
Содержание в них $CO_2 + SO_2$ . . . *м³/кг*	0 560	1,019	1,501
Кроме того, H_2O . . . . . *г/кг*	736,8	521,2	500,5
Содержание CO_2 в газообразных продуктах горения . . . . . %	9,24	11,59	12,20
Температура пламени . . . . . °Ц	**1 040**	**1 490**	**1 620**

торт). Сопоставление показывает, что при сыром буром угле очищенный газ дает более высокие температуры пламени; при газификации брикетов в этом случае наблюдается лишь незначительная разница, которая, впрочем, при работе с внутренней швелькамерой вообще почти исчезает. Для каменного угля эта разница в случае очищенного газа значительно больше, однако, при работе с внутренней ретортой она снова делается незначительной. Необходимо при этом иметь в виду, что температуры пламени на практике не достигают, конечно, теоретически вычисленных значений, так как, выше уже было сказано удержание полностью смолистых ингредиентов в газе обычно не может иметь места. Поэтому при работе на каменном угле, а также в большинстве случаев газификации буроугольных брикетов, безусловно надлежит применять внутренние и наружные реторты, что в то же время дает преимущества в отношении качества смолы. Очистка всего газа является невыгодной в тех случаях, когда необходим максимальный пирометрический эффект, или же в тех случаях как например, при получении газа Монда), когда необходимо предотвратить повышение расхода топлива; как правило, в таких случаях имеются в виду и другие конструкции печей (например, с подогревом газа). С другой стороны, во многих случаях очищенный газ дает, наоборот, более высокие температуры пламени вследствие удаления водного баласта, чем неочищенный газ; во многих случаях эти температуры даже выше, чем достижимые при непосредственном сжигании самого топлива; последнее ясно из фиг. 137, дающей изменение температур пламени для тех же трех видов топлива при повышении избытка воздуха; вычисленные средние значения даны в табл. 53.



Фиг. 137. Температура пламени для различных топлив и меняющегося избытка воздуха.

Простейшим способом удаления водного баласта является охлаждение газа; этот способ имеет преимущества также и перед способом удаления влаги предварительной подсушкой топлива, применимой в тех случаях, когда содержание влаги в топливе не влияет на состав газа. Водный баласт газа колеблется в зависимости от вида топлива, как это ясно из табл. 52. Очень часто он превосходит 100 *г*; всю важность удаления этого баласта можно себе представить, если вспомнить, что объемная доля пара в газе при 100 *г* влажности составит почти 11,5%, а при 500 *г* — уже 38%. Получается, следовательно, чрезвычайное разжижение газа. Определение температур пламени на практике очень затруднительно, так как при измерении получаются не абсолютные величины, а лишь сравнительные значения и то при точной работе с оптическими термоэлектрическими пирометрами. На этом основании обычно приходится удовлетворяться сравнением температур пламени, определенных вычислением.

Теоретическую температуру пламени можно легко рассчитать, исходя из стехиометрических формул. Если мы обозначим через CO_2, CO, CH_4, C_nH_m, O_2, H_2, H_2S, N_2 — объемные проценты соответствующих составных частей газа, то потребное количество возуха для сжигания газа без избытка воздуха будет:

$$L_т = (CO + H_2 + 4CH_4 + 6C_nH_m + 3H_2S) \cdot 0{,}02382\ м^3.$$

Объемы определенных составных частей продуктов сгорания будут:

$$(CO_2 + CO + CH_4 + 2C_nH_m) : 100 м^3\ CO_2;$$

$$(H_2 + H_2S + 2CH_4 + 2C_nH_m) : 100\ м^3\ H_2O \text{ — пара,}$$

или

$$(H_2 + H_2S + 2CH_4 + 2C_nH_m) \cdot 8{,}308\ г\ H_2O \text{ — пара;}$$

$$(CO + H_2 + 4CH_4 + 6C_nH_m + 3H_2S) \cdot 0{,}01882 + N_2 : 100\ м^3\ N_2,$$

$$H_2S : 100\ м^3\ SO_2,$$

$$O_2 : 100\ м^3\ O_2,$$

Таблица 54

Средние теплоемкости (между 0° и $t°$) при постоянном давлении $(C_p)_m$

	0°	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 600	2 800	3 000
1 $м^3$ двухатомных газов	0,306	0,308	0,311	0,313	0,316	0,318	0,320	0,323	0,325	0,328	0,330	0,332	0,335	0,337	0,340	0,342	0,344	0,349	0,354	0,359	0,363	0,368	0,373	0,377
1 $м^3$ CO_2	0,397	0,411	0,424	0,437	0,450	0,463	0,475	0,487	0,498	0,507	0,514	0,519	0,524	0,528	0,533	0,537	0,541	0,550	0,558	0,565	0,572	0,577	0,582	0,587
1 $м^3$ H_2O	0,374	0,376	0,378	0,380	0,382	0,384	0,387	0,390	0,393	0,397	0,402	0,408	0,414	0,420	0,427	0,433	0,440	0,455	0,473	0,493	0,513	0,534	0,556	0,578
1 *кг* O_2	0,215	0,216	0,218	0,219	0,221	0,223	0,224	0,226	0,228	0,229	0,231	0,233	0,234	0,236	0,237	0,239	0,241	0,244	0,247	0,251	0,254	0,257	0,261	0,264
1 *кг* N_2	0,245	0,247	0,249	0,251	0,253	0,254	0,256	0,258	0,260	0,262	0,264	0,266	0,268	0,269	0,271	0,273	0,275	0,279	0,283	0,287	0,290	0,294	0,298	0,302
1 *кг* воздуха	0,237	0,239	0,240	0,242	0,244	0,246	0,248	0,250	0,251	0,253	0,255	0,257	0,259	0,261	0,262	0,264	0,266	0,270	0,273	0,277	0,281	0,284	0,288	0,292
1 *кг* H_2	3,403	3,429	3,455	3,482	3,508	3,534	3,561	3,587	3,613	3,640	3,666	3,692	3,718	3,745	3,771	3,797	3,823	3,876	3,929	3,981	4,034	4,087	4,139	4,192
1 *кг* CO	0,245	0,247	0,249	0,251	0,253	0,254	0,256	0,258	0,260	0,262	0,264	0,266	0,268	0,269	0,271	0,273	0,275	0,279	0,283	0,287	0,290	0,294	0,298	0,302
1 *кг* CO_2	0,202	0,209	0,217	0,225	0,232	0,238	0,243	0,248	0,253	0,257	0,260	0,263	0,265	0,268	0,270	0,273	0,275	0,280	0,283	0,286	0,289	0,291	0,294	0,296
1 *кг* H_2O	0,462	0,464	0,466	0,468	0,470	0,473	0,476	0,479	0,484	0,490	0,495	0,500	0,506	0,513	0,520	0,527	0,535	0,554	0,578	0,603	0,629	0,655	0,683	0,713

К этим величинам надлежит добавить неустранимый избыток воздуха. Последний можно принять для топок с регулируемыми горелками и ограниченным топочным пространством (как, например, для котлов, испарителей и т. п.) в размере 10%, для печей же, смотря по конструкции, 20—30%. Для определения температуры пламени служит следующая формула:

$$t = \frac{\text{низшая теплопроизв. 1 } м^3 \text{ газа} + \text{собствен. тепло газа} + \text{собствен. тепло воздуха для горения}}{C_p^{cp}\, м^3\,(CO_2 + SO_2) + C_p^{cp}\, м^3\,(O_2 + N_2 + \text{возд.}) + C_p^{cp}\, м^3 \cdot H_2O},$$

где C_p^{cp} — средняя теплоемкость между 0° и t° по табл. 54 на 1 $м^3$ различных составных частей отходящих газов [1]. Для приближенного расчета таким путем можно быстро найти теоретические температуры пламени для выбранных избытков воздуха.

Как показывает опыт, эти температуры пламени [2] являются практически недостижимыми, так как вследствие обычно недостаточно хорошего перемешивания газа и подводимого воздуха немедленное полное сгорание невозможно. На самом деле газ сгорает, так сказать, слоями, что и приводит к всегда наблюдаемому образованию языков пламени. При тщательном смешивании воздуха и газа, как это имеет место в новейших газовых горелках, или при применении соответственно действующих устройств, в особенности при подводе дутья с давлением (сжатый воздух), возможно значительно приблизиться к теоретическим температурам пламени, в то время как в печах с открытыми горелками возможно получить лишь около 70% этих величин. При сравнении обычно можно избегать внесения ненужных уточняющих поправок, так как они могут быть применены лишь при условии одинакового назначения сравниваемых газов; однако, нужно иметь в виду преимущества применения очищенного газа, напр. возможность работы с другими горелками и т. п.

Передача тепла (конвекционная) нагреваемому объекту пропорциональна $d_{cp}^{1,232}$, где d_{cp} — средняя разность температур между отходящими газами (температурой пламени) и телом (температура рабочего помещения). Кроме конвекционной теплопередачи нужно учитывать передачу излучением, которая обычно, правда, значительно уступает по величине теплопередаче путем теплопроводности [3]. Какое значение

[1] CO_2 и SO_2, с одной стороны, O_2 N_2 и воздух, с другой стороны, имеют одинаковые теплоемкости и могут быть поэтому объединены. Для водяного пара можно вести расчет как на куб. метры, так и на килограммы, в последнем случае, конечно, надлежит взять теплоемкость на 1 *кг*.

[2] Теоретические температуры пламени чистых и технических газов — см. диаграммы у Бунте, Gas als Brennstoff, «G. W. F.» № 41, 1931. О границах температур взаимодействия горючих газов с кислородом — см. статью Д. Коппа, А. Ковальского, А. Сагулина, Н. Семенова, «Entzündungsgrenzen des Gemisches $2H_2 + O_2$ und $2CO + O_2$» Zeitschr. d. phys. Chemie 1930, т. 6, стр. 307. Начало реакции $H_2 + O_2$ наблюдается примерно при 440° и $CO + O$ — при 575°. Ред.

[3] Этот вопрос еще является недостаточно выясненным, но во всяком случае для первой величины можно также дать формулу, аналогичную выражению для теплопередачи конвекцией, причем между обеими величинами оказывается определенное соотношение, поэтому для сравнения можно ограничиться расчетом одной передачи путем теплопроводности, которая пропорциональна $d^{1,232}_{cp}$.

имеет величина наибольшей возможной температуры пламени, показывает табл. 55, дающая значение перепадов температуры от 50 до 1 000° в степени 1,232 (Δ); эти величины весьма характерны для сравнительной оценки значений теплопередачи при различных разностях температур.

Чтобы выяснить влияние более высокой влажности газа, можно привести следующий расчет: при сжигании газа с 25% избытком воздуха среднее понижение температуры составит на каждые 100 *г* H_2O в 1 $м^3$ — около 60 — 70° Ц. Для буроугольного газа с содержанием 500 *г*/$м^3$ H_2O это снижение составит уже свыше 300°, и в этом случае путем охлаждения газа и освобождения его от водного баласта можно весьма значительно повысить теплоперепад; например, если он достигал ранее 500°, то с тем же газом по освобождении его от воды можно достичь в 1,75 раза большей теплопередачи [1].

Таблица 55

d_{cp}° Ц	50	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1 000
$\Delta = d_{cp}^{1,232}$	124	291	480	700	900	1 127	1 606	2 114	2 647	3 200	3 772	4 361	4 966

По сравнению с этим значительным снижением температуры пламени вследствие присутствия влаги повышение этой температуры вследствие наличия смолы является совершенно незначительным. Оно достигает для средних условий всего 50 — 70° Ц и может быть обычно легко заменено более значительным подогревом воздуха или улучшением горелки. Несомненно, что работа с отбором смолы на почти или полностью освобожденном от смолы газе связана во многих случаях с пере-

Новейшие исследования в области теплопередачи посредством излучения показали, что углекислота и водяной пар при температурах свыше 600° Ц обладают весьма сильной излучающей способностью. При этом количество тепла, излучаемое поверхностью газового слоя по приближенной формуле Эккерта (см. Die Wärme, № 39, 1931 г.) пропорционально корню квадратному из толщины газового слоя и пропорционально абсолютной температуре газа в степени 3, 2. Сильное влияние на количество излучаемого тепла оказывает также парциальное давление углекислоты или водяного пара, входящих в состав продуктов сгорания или газификации. С увеличением этого парциального давления количество излучаемого тепла возрастает. Точная зависимость между всеми этими величинами выражается в табличной форме или в виде диаграмм. См. Гребер, Введение в теорию теплопередачи. Энергоиздат, 1933 г. Шакк, Теплопередача в промышленных установках. Энергоиздат, 1933 г. См. также статью Кубынина и Ладера, Лучеиспускание дымовых газов, в «Известиях ВТИ», № 7—8, 1932 г. Ред.

[1] См. по вопросу о сравнительной оценке эффективности газа: Schwier, «St. u. E.», 1920, стр. 1033 и сл. и Dolensky, Zur Beurteilung der Nutzwirkung verschiedener Industriegase, «Z. f. G.», 1919, стр. 137 и сл. (касается, в особенности, сравнения газов светильного, водяного, тройного и т. п.).

обучением обслуживающего персонала, но практика показала во многих случаях, что это сопровождается часто значительными экономическими преимуществами.

д) Экономические расчеты

Если избежать повышения расхода топлива, что технически почти всегда возможно, то весь выход смолы, поскольку она ранее терялась в каналах, газопроводах, вентилях, горелках, камерах и т. д., представляет чистый выигрыш. Мы можем принять в расчет в среднем около $^2/_3$ стоимости всего выхода; во всех случаях, когда удаление водного баласта улучшает качество газа, мы можем ожидать еще больших экономических преимуществ, в то время как в расходной части мы имеем лишь стоимость амортизации смолоотделителя, стоимость его ремонта и расход энергии, составляющие сравнительно незначительную величину. Пусть, например, часовая производительность газоочистки будет 10 000 $м^3$, причем выход смолы за сутки составляет 6 $т$. Расход энергии вместе с работой насоса не превысит 10 *квт*. Стоимость установки соответствует, примерно, если применить стабильную единицу для расчета, около 1 000 $т$ смолы; стоимость 1 *квт-ч* может быть оценена достаточно высоко в 1 *кг* смолы. В год мы получим $6 \cdot 300 = 1\,800$ $т$ смолы; в самом худшем случае 1 200 $т$ из них составят прибыль. Если засчитать 30% на амортизацию и проценты на капитал, и 10% на расходы по ремонту, то это соответствует 400 $т$; стоимость тока составит 35 $т$, так что чистая прибыль будет около 765 $т$, т. е. около $^2/_5$ всего выхода смолы. При этом мы оставили без внимания экономию на распределительной аппаратуре, получаемую при отборе смолы; между тем, она достигает обычно значительных размеров.

Теперь является уже старым фактом то обстоятельство, что калория в смоле имеет большую ценность, чем в угле; это делает окончательно установленной экономичность отбора смолы. Повышение ценности примерно 3—5-кратное, что очень легко пояснить расчетом. Если мы даже оставим без учета возможность получения из смолы высокоценных веществ и не примем во внимание их стоимости, то основной ценностью смолы будет главная часть смоляного масла, причем мы можем даже расценивать это масло как горючее. Разницу в ценности составит при этом гораздо больший к. п. д. силовой установки на тяжелом жидком горючем (дизели) по сравнению с паровой установкой.

Стоимость 1 000 полезно затраченных калорий какого-либо топлива может быть получена из выражения

$$W = \frac{(b + f + f') \cdot 100}{\eta \cdot Q},$$

где b — цена топлива в рублях на 1 $т$ на месте добычи;
f — стоимость транспорта топлива до установки в рублях на 1 $т$;
f' — добавочные транспортные расходы (стоимость нагрузки, откатки, сортировки, страховки и т. д. вагонов, разгрузка, штабелевание) в рублях на 1 $т$;
η — получаемый на данном топливе к. п. д.;
Q — низшая теплопроизводительность в калориях.

Если бы возможна была идеальная конкуренция, то величина этого выражения для различных топлив должна бы быть одинаковой. Если мы примем теплопроизводительность каменного угля в средних условиях 6 700 *кал*, и смолы 9 600 *кал*, к. п. д. паросиловой установки в 0,09 и к. п. д. дизельмотора при сравнимых условиях в 0,28, и, кроме того, примем для упрощения расчета, что f и f' в сравниваемых случаях для обоих топлив одинаковы, то выражение примет вид:

$$\frac{100 \cdot (a + f + f')}{0{,}09 \cdot 6\,900} = \frac{100 \cdot (b + f + f')}{0{,}28 \cdot 9\,600},$$

$$b = 4{,}37\,a + 3{,}37\,(f + f').$$

Отсюда следует, что для смоляного масла будет правильней более чем четырехкратная стоимость по сравнению с углем, и что преимущество жидких горючих будет тем большим, чем больше будет величина $f + f'$, т. е. чем дальше будут расстояния от места добычи, чем дороже штабелевание угля и т. п.

Если же принять во внимание, что другие облагороженные продукты переработки смолы вполне окупают расходы по дестилляции, то указанные пределы стоимости масла можно с полным основанием отнести и к самой смоле, однако с тем условием, что процесс переработки не будет сопровождаться пирогенным разложением смолы, дающим преимущественно пек.

Цены продуктов переработки смолы естественно зависели от условий потребления их в стране. Совершенно установлен, однако, тот факт, что Германия имеет значительную потребность в минеральных маслах, покрываемую преимущественно за счет ввоза. В табл. 56 приведены раз-

Таблица 56

Потребление минеральных масел и парафина в Германии [1]

	1913 $т$	1921/22 $т$
Перевес ввоза минеральных масел над вывозом	1 270 000	660 000
Германская добыча нефти	120 000	27 000
„ продукция масел из буроугольных, торфяных и сланцевых смол	55 000	80 000
Потребление тяжелых каменноугольных масел	235 000	400 000
Потребление бензола	100 000	—
Перевес ввоза парафина над вывозом	16 000	11 000
Германская продукция парафина	10 000	10 000
Итого	1 806 000	1 188 000

[1] Дальнейший рост продукции можно характеризовать следующими цифрами: в 1927 г. тяжелых каменноугольных масел получено 487 тыс. $т$; выработано масел из буроугольной и торфяной смол 111,9 тыс. $т$; парафина 16 тыс. $т$. Общее количество каменноугольной и газовой смол, переработанных в Германии, достигло в 1913 г. 1 224 тыс. $т$ и в 1927 г. — 1 429 тыс. $т$; в САСШ перерабатывается около 1 млн $т$ коксовой смолы (1929), в Англии примерно столько же. В СССР в 1931 г. — 206 тыс. $т$. Ред.

меры потребления по Гроссе [1] (Grosse) для 1913 и 1921/22 г. Из этого ориентировочного сопоставления мы видим, что потребление снизилось примерно на то же количество, как и импорт, причем это сокращение надлежит преимущественно отнести за счет уменьшения потребления легких масел. Для всех других сортов потребление осталось на том же уровне, для темных горючих, бензола и т. п. даже, вероятно, несколько поднялось. Дальнейшее развитие потребления последних продуктов, наблюдающееся в других странах в значительных размерах с 1914 г., может иметь место в Германии только при условии нормального развития всей хозяйственной жизни страны. Но так как дестилляты первичной смолы с полной уверенностью могут найти применение в качестве топлива для тяжелых двигателей внутреннего сгорания, то нет никакого сомнения в том, что германский рынок поглотит значительно развивающуюся продукцию переработки генераторной смолы в первую очередь за счет снижения импорта.

3. Получение побочных продуктов, содержащих азот

а) Химические основы выделения азота

Содержание азота в углях весьма сильно колеблется, как это мы уже видели ранее в приведенных анализах топлива. Если мы попробуем из состава нашей теперешней древесины выявить возможность образования азота в угле, то оказывается, как это впервые указал Мук, что содержание азота не может быть выведено только из превращения целлюлозных элементов древесины, так как они содержат лишь около 0,05 — 0,1% азота. Поэтому сравнительно высокое содержание азота в угле приходится объяснять образованием его из более богатых азотом спор, смол и т. п., причем нельзя не иметь в виду также и возможности животного происхождения азота. Последнее, однако, как правило, не имеет места; поэтому причины высокого содержания азота были разъяснены с достаточной простотой только после того, как было выявлено значительно повышенное содержание азота в болотных растениях по сравнению с древесиной и было установлено, что целлюлоза в значительной своей части со временем исчезает, что ведет к обогащению пласта другими растительными веществами; несомненно, с другой стороны, что смолообразные вещества играют при этом весьма большую роль. Этим же можно объяснить, что часто содержание азота в смежных пластах угля колеблется в пределах до 25%.

Если, таким образом, мы до некоторой степени выявили происхождение азота, то в отношении характера связи азота в топливе мы не можем сказать ничего точного. Нам известны, правда, химические соединения азота с углеродом [2] кроме циана, но их характер еще очень слабо уяснен. Приходится поэтому ограничиваться лишь предположением, что азот кокса находится в нем в виде полимерного азотистого углерода в той форме, как он получается экспериментально — графитоподобный, нерастворимый и неплавящийся. Интересен, однако, тот факт, что азотистые углероды при нагревании даже до наиболее высоких температур не теряют азота. При нагревании с натронной известью получается количественно аммиак с образованием промежуточного цианистого соединения. При реакции с водяным паром также образуется аммиак, что, между прочим, и делает вероятным нахождение подобных соединений в коксе. В угле должны присутствовать довольно сложные органические соединения [1] (главным образом амиды), которые при коксовании или вообще нагревании разрушаются и образуют в конце концов, вероятно, азотистые углероды и т. п. соединения, из которых азот уже не может быть извлечен без содействия водяного пара или химических реагентов. Это было подтверждено также опытами Вальдека (Waldeck), который привел описание этих операций в своем патенте 281096 (1913). Ему удалось из коксовой мелочи (0 — 15 *мм*) путем применения внутреннего нагрева электрическим током, для получения потребных температур при значительном расходе пара (который без применения тока понизил бы температуру), достичь выхода аммиака в 88 — 99%.

Прежде всего нужно было изучить поведение азота при дестилляции. В начале существовал взгляд, что весь азот при этой операции переходит в аммиак. Гофман первый показал (1863), что отдается только около $^1/_3$, в то время как остальные $^2/_3$ остаются в коксе. Более тщательно вопрос был изучен Фостером (1888), установившим примерно следующее рапределение:

Переходит в аммиак	14,50%
„ в циан	1,56%
Остается в коксе	48,68%
Выделяется в виде элемента	35,26%

Вопрос о выделении аммиака при дестилляции многократно исследовался позднее, с изучением различнейших влияний на процесс. Оказалось прежде всего, что отщепление начинается уже при низких температурах, но что оптимум достигается лишь при 800°; при дальнейшем повышении температуры отщепление азота продолжается, но вследствие наличия последующего разложения аммиака последний уже не может быть полностью получен. Наиболее основательными в этой области были исследования Майера и Альтмейера (Mayer и Altmeyer), по данным [2] которых составлена таблица 57, сопоставляющая различные свойства двух топлив в отношении выделения азота.

Таблица 57.

Опыты Майера и Альтмейера

		Наивысшая температура при трехчасов. нагреве			
		600°	700°	800°	900°
Уголь I	в коксе . %	72,4	70,1	65,2	62,1
	в NH_3 . . %	10,6	19,6	21,7	20,8
Уголь II	в коксе . %	82,33	80,83	78,21	74,18
	в NH_3 . . %	5,99	11,98	15,28	14,82

[1] См. журнал «Teer», 1922, стр. 125.

[2] «J. f. G.», 1914, стр. 730.

Форма связи азота в более молод[illegible]аустобиолитах (торф, бурые угли) преимущественно амино- и динамино-кислоты и их амиды.

[1] Dr. Gerteismann, Der Stickstoff der Steinkohle, Stuttgart, Enke, 1906. См. также у Г. Л. Стадникова, «Химия торфа». Ред.

[2] «J. f. G.», 1907, вып. 25 и сл.

Названные исследователи обнаружили также, что форма отщепления азота меняется с природой топлива, причем таким образом, что топлива, дающие малые выхода кокса, удерживают меньшие относительные количества азота в коксе и больше отдают в виде аммиака (например, бурые угли).

Значительное влияние на этот процесс в отношении характера упомянутых выше разложений имеет медленный или, наоборот, очень быстрый нагрев. Можно принять, что при быстром нагревании топлива отщепление происходит полнее, но что при этом бо́льшая часть получаемого продукта подвергается разложению вследствие наличия более высоких температур. Относящиеся сюда работы проведены Кристи [1], подвергавшим один и тот же уголь нагреванию до 865°; результаты опыта представлены в табл. 58. Оказалось, что при медленном нагревании как само отщепление происходит значительно полнее, так и получение азота именно в форме аммиака наблюдается в больших количествах. При этом нужно особенно отметить, что полученный при быстром нагревании кокс при последующем вторичном нагревании уже более не отщепляет азота; это обстоятельство чрезвычайно важно, так как оно показывает, что превращения азотистых соединений угля при его коксовании совершаются по определенным химическим путям. Тот же исследователь изучал поведение различных топлив при одинаково замедленной дестилляции и получил при этом результаты, приведенные в табл. 59, вполне

Таблица 58.

Опыты Кристи (Christie)

	В коксе	В NH_3	Прочие летучие
При 12-минутном нагреве . %	66,42	33,58	
» 80 » » . %	56,92	18,25	24,83
» 170-часовом » . %	37,35	27,45	35,20

Таблица 59

Опыты Кристи

	Торф (около Бремена)	Газовый уголь		Жирный уголь (Аахен)	Антрацит
		Иоркшир	Шахты Консолидешен		
Выход кокса . . . . . %	31,74	64,48	68,57	77,32	94,80
Из всего азота:					
в коксе . . . . . %	24,02	42,63	43,60	54,03	63,64
» NH_3 . . . . . %	40,28	29,45	29,07	33,78	25,85
» прочих летучих . . . %	35,70	27,92	27,33	12,19	10,51

[1] Diss. Aachen, 1906, см. также Rau, «St. u. E», 1910, стр. 1235.

подтверждающие сказанное выше о выделении азота из различных топлив и о примерном соответствии одинаковых выходов кокса одинаковым количествам удерживаемого азота.

К подобным же выводам пришли Рау и Ламбри [1] (Rau и Lambris), работавшие не только на различных топливах, но и при различных температурах. Результаты приведены в табл. 60. Необходимо упомянуть еще о работах Дрешмидта [2] (Drehschmidt) и Зоммера [3] (Sommer). Подробные данные по этому вопросу приведены Зиммерсбахом в его руководстве по коксохимии [3].

Таблица 60

Опыты Рау и Ламбри

Выход NH_3 из всего азота	Газопламенный уголь (шахта Бисмарк)	Газовый уголь (Цольферейн)	Коксующийся уголь (Альтдорф)	Антрацит (Кольшейд)
При 290° . . . %	2,6	1,1	1,6	1,5
» 510° . . . %	8,6	5,6	4,5	3,6
» 670° . . . %	25,3	24,1	19,4	14,9
» 815° . . . %	31,1	30,6	25.6	22,5

Эти исследования показали, что выходы аммиака при дестилляции в коксовых установках и газовых заводах колеблются между 12 и 25%, считая на содержание азота; дальнейшей задачей является правильный выбор углей для возможного повышения общих выходов, которые, как показывает практика, колеблются обычно между 10 и 12 *кг* сульфата аммония на 1 *т* сырого топлива; только в редких случаях удается получить до 14 *кг*. В коксовых установках получается гораздо больший выход, чем в газовых заводах, причем он может быть повышен в последнем случае добавлением определенного количества водяного пара, предотвращением слишком высоких температур и прежде всего быстрым удалением газа из реторт, чтобы понизить разложение аммиака раскаленными стенками.

Гораздо менее исследовано поведение азота при газификации. Почти общим является мнение, что, как и при дестилляции, главные количества азота остаются в образующемся в начале процесса коксе и освобождаются только при окончательном превращении последнего. Но, повидимому, это не вполне соответствует действительности, так как в этом случае путем соответствующего добавления пара и ограничения температуры, а также замедлением реакции, мы могли бы значительно увеличить выхода аммиака по сравнению с теми, которые получаются при дестилляции. Основные работы в этой области проведены Грувеном (Grouven,

[1] «J. f. G.», 1913, стр. 533.
[2] «J. f. G.», 1904, стр. 677.
[3] «St. u. E.», 1919, стр. 261.
[4] Ю. Шпрингер, 2-е изд., Берлин, 1914. (Есть русский перевод 1932 г. Ред.).

стр. 305), и были распространены на различные марки углей Юнгом и Рамзеем [1] (Young и Ramsay). Последние получили при переработке саарских углей приведенные в табл. 61 выхода; при этом нужно заметить, что топлива подвергались предварительной трехчасовой сухой перегонке при указанных температурах и только после этого через слой пропускался водяной пар без воздуха. Поэтому собственно здесь не имела места полная газификация топлива; но опыты очень наглядно показывают полезное влияние водяного пара. Наиболее выгодной температурой оказалась температура в 800°.

Таблица 61

Опытын Юга и Рамзея

	При температурах			
	600°	700°	800°	900°
После трехчасовой газификации . . . . . %	10,83	19,17	21,88	20,57
При подводе пара: После 6-часов . . %	13,04	20,85	23,12	23,84
» 9 » . . %	3,17	8,53	9,04	5,35
» 12 » . . %	1,84	5,10	6,12	2,21
» 15 » . . %	0,17	3,17	3,71	—
» 18 » . . %	—	1,50	2,14	—
» 21 » . . %	—	—	1,12	—
NH_3 из общего содержания азота . %	29,05	58,32	67,23	51,97

Результаты этих опытов были очень скоро перенесены в практику и применены как при полукоксовании шотландских горючих сланцев, так и при газификации каменных углей; в первой области особенные заслуги имеют Юнг и Бейльби (Beilby); чтобы иметь возможность получить наиболее подходящие температуры для разложения низкосортных топлив, они применяли реторты, нагревавшиеся снаружи получаемым газом, в то время как в нижнюю часть реторты вдувался водяной пар с очень незначительной примесью воздуха.

Над разработкой соответствующих приспособлений для газификации особенно много работал Людвиг Монд. Он отказался от наружного обогрева шахты, применяемого в газовых ретортах; чтобы, однако, не расходовать больших количеств пара, потребных для подвода достаточного количества тепла, он использовал собственное тепло получаемого газа для подогрева паро-воздушной смеси. У него поэтому мы имеем дело уже с правильной газификацией, между тем, как дестилляция сланца в ретортах может рассматриваться по существу как перегонка с повышенным подводом пара; последний процесс может оказаться более подходящим в этом случае, так как остатки содержат очень мало

[1] «Journ. of the Sos. of Chemical Industry», 1884.

горючих составных частей и не имеют поэтому какой-либо ценности [1]. К тому же здесь вообще приходится оценивать только побочные продукты — смолу и аммиак, так как получаемый газ не имеет потребителей [2]. При газификации каменных углей и других высокоценных топлив нельзя, конечно, не учитывать ценности получаемого газа, вследствие чего является более экономичным процесс получения обычного генераторного газа (полуводяного газа), т. е. работа с большими количествами воздуха (английские патенты 3923, 1883 и 8973, 1885).

Размеры выходов по способу Монда одинаковы с получающимися при полукоксовании сланцев, т. е. соответствуют данным вышеприведенных опытов. После преодоления значительных трудностей удалось в 1889 г. поставить проверку опытных работ на крупной установке, после чего способ нашел многократное применение на практике. Описание установки Монда будет дано несколько ниже.

Теоретические основы процесса были тщательно изучены Боном и Уилером [3]; результаты их работы приведены в табл. 19. Все более поздние работы в этой области вполне согласуются с их данными; таковы работы Закса [4] (Sachs), Зальманга [5] (Salmang) и др. Если эти результаты представить графически, как это сделано на диаграмме 138, то бросается в глаза тесная зависимость между содержанием водорода в газе, с одной стороны, и выходом аммиака — с другой, причем последний имеет максимум около 67%, что снова согласуется с опытами Юнга и Рамзея. Заксу удалось при помощи лучшей защиты процесса (от разложения), с применением специальной горяче-холодной трубки, повысить выход до 84%; поэтому мы можем принять, что весь азот отщепляется именно в форме аммиака, но вследствие наличия высокой температуры последний претерпевает частичное разложение. Опыты Закса с коксом показали, наоборот, значительно меньшие выхода, из чего можно вывести заключение, что азот при газификации не переходит в кокс, как это имеет место при дестилляции, и отщепляется уже ранее; возможно, конечно, что процесс протекает и в несколько другой форме. Несомненным, однако, является гидролизующее действие водяного пара, причем все же остается открытым вопрос — действует ли пар при этом процессе как таковой, или же при посредстве образующегося при его разложении водорода? По опытам Никодема Каро [6] (Dr. Nicodem Caro) первое объяснение является как будто более вероятным и согласуется с упомянутыми уже ранее свойствами азотоуглеродов, а также, например, цианамида («азотной извести» — кальций цианамида).

Другие исследователи пытались повысить выход аммиака, применяя вместо более интенсивного подвода пара — подмешивание сильного неорганического основания. Подобные опыты ставились в первую очередь в процессах дестилляции, но дали лишь незначительное повышение выхода и поэтому не нашли дальнейшего применения, хотя способ

[1] Конечно, тепловой ценности. Как известно, зола многих сланцев представляет весьма ценный строительный материал. Ред.

[2] Кроме собств[illegible] расходов, весьма значительных. Ред.

[3] См. стр. 69.

[4] Diss. Karlsruhe, 1913, см. «St. u. E.» 1915, стр. 801.

[5] Diss. Karlsruhe, 1913.

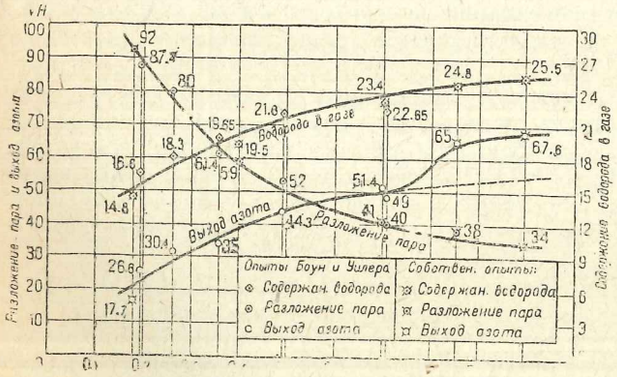
[6] «Chem. Z.», 1911, стр. 505.

является уже весьма старым [Мидглей и Кайен (Midgley a. Kyan) английский патент 7460, 1837]. В условиях процесса газификации подобные опыты ставились лишь в единичных случаях. В последнее время испытывалось примешивание хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов, так как присутствие хлора особенно сильно препятствует разложению аммиака, как и присутствие избытка водяного пара. Относящиеся к этой области исследования В. Оствальда [1] (Wa. Ostwald) не привели еще к окончательным результатам; естественным условием, делающим целесообразным применение этого способа, является одновременное протекание процесса отщепления хлора почти с той же интенсивностью, как и процесса отщепления аммиака, причем влияние влажности загруженного топлива и соответственно содержания водяного пара в газе является также весьма значительным.

Наряду с отщеплением азота в форме аммиака при дестилляции имеет место также и частичное образование циана. Исследованию этого явления были также посвящены многочисленные работы специалистов газового дела и ученых. При этом было установлено, что для образования циана нужна температура не ниже красного каления и что присутствие кислорода при этом является нежелательным. Даже и присутствие водяного пара сказывается уже весьма неблагоприятно, в то время как сильные основания способствуют образованию циана. Отсюда ясно, почему при газификации циан и его соединения совершенно отсутствуют, в то время как при коксовании в циан переходит около 1,5 — 4% всего азота.

б) Устройства для получения аммиака

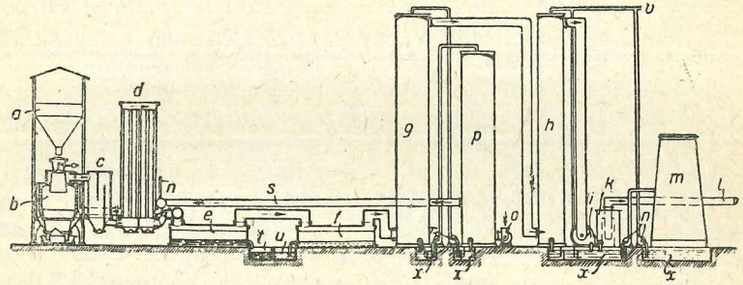
В то время как выделение смолы происходит при всякой газификации и задачей рациональной ее добычи является лишь теплотехнически правильная постановка процесса, дающая возможно лучшие выхода и качество смолы, образование аммиака при газификации требует уже мероприятий химического характера и соответственного изменения процесса, а именно согласно данным практики необходимо повышение подвода пара, как это ясно показывает фиг. 138. Обусловленные этим изменения и влияние прочих факторов приведены также в табл. 19, дающей результаты основных опытов Бона и Уилера на установке системы Монда. Мы



Фиг. 138. Зависимость степени реагирования азота воздуха от подачи пара.

[1] Trenkler, «Brennstoffchemie», 2 Aufl., Leipzig, Spamer, 1921.

здесь видим, что количество водяного пара, проходящего газогенератор в неразложенном состоянии, возрастает с увеличением его подвода, что конечно, ухудшает термический к. п. д.. Монд установил, поэтому, что достижение необходимой экономичности процесса возможно лишь при условии возвращения газогенератору значительных количеств тепла, уходящего с газом, поскольку это возможно; иначе это тепло уже при промывке газа будет потеряно. Поэтому наряду с собственно очистительными устройствами необходимо придать установке еще многочисленные теплоулавливающие аппараты, что весьма увеличивает стоимость установки. При этом здесь дело идет не только о возврате



Фиг. 139. Схема установки Монда:

a — бункер;	*m* — башенный охладитель;
b — газогенератор;	*n* — насосы для охлаждающей воды;
c — пылевой мешок;	*o* — вентиляторы для воздуха;
d — теплообменный прибор;	*p* — увлажнитель воздуха;
e — смолоочиститель;	*r* — насосы для охлаждающей воды;
f — поглотитель аммиака;	*s* — воздухопровод;
g — первый охладитель;	*t* — бак для сбора смолы;
h — второй охладитель;	*u* — бак для сбора раствора;
i — ротационный газоочиститель;	*v* — подача охлаждающей воды;
k — ударный очиститель (механический);	*w* — подача пара;
l — отвод чистого газа;	*x* — отстойники для охлаждающей воды.

тепла, но также и об осуществлении подачи паро-воздушной смеси под решетку с более высокой температурой, так как разложение пара отнимает от топливного слоя большие количества тепла, и связанное с этим понижение температуры всегда ухудшает условия разложения пара.

Схему установки Монда дает фиг. 139, причем мы должны добавить следующие разъяснения: топливо поступает из бункера *a* в газогенератор *b*, к которому присоединен пылеотделитель *c*. Газ проходит далее подогреватель дутья или теплоуловитель *d*, где он отдает часть своего физического тепла от 200 до 400° и нагревает при этом циркулирующий в противоположном направлении через аппарат уже насыщенный паром газификационный воздух приблизительно от 80 до 200—250°. Далее, следует смолоотделитель *e*, в котором газ пропускается через заполненное мельчайшими каплями воды (при посредстве специального распылителя) пространство, и охлаждается при этом приблизительно до 90°, причем он дополнительно насыщается водяным паром. После этого газ промывается в покрытом свинцом аппарате *f* содержащим серную кислоту

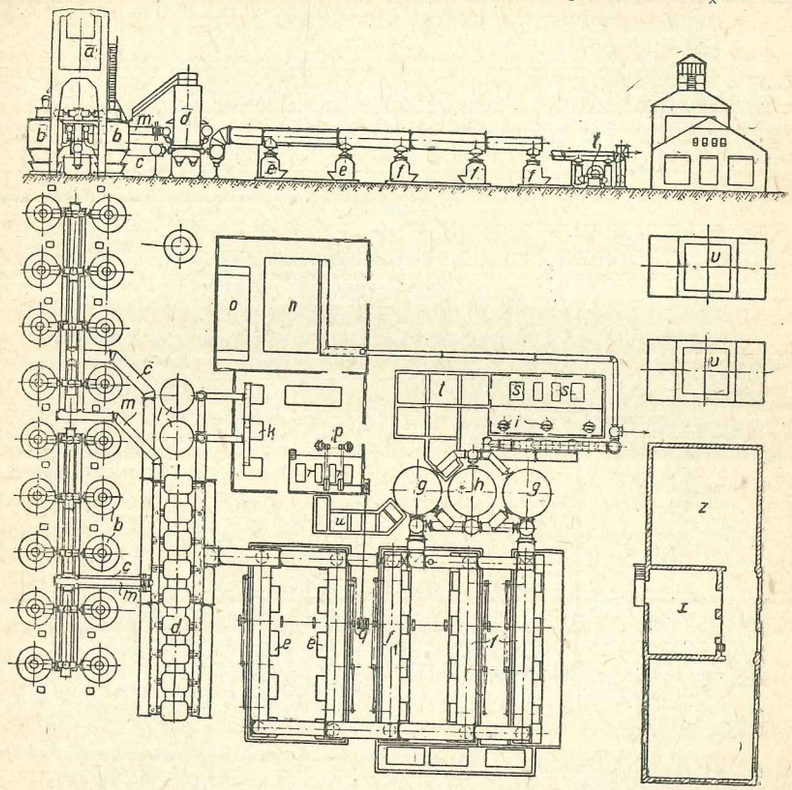
раствором, которым и связывается аммиак. Ранее для этого применялась специальная кислотная башня, сделанная из листового свинца и заполненная камнями, причем бо́льшая часть собиравшегося в нижней части башни раствора снова перекачивалась специальным насосом в верхнюю часть башни, после чего к раствору добавлялась свежая кислота из особого бака. Этот кругооборот кислого раствора делается ненужным при горизонтальном промывателе, почему получается значительная экономия на весьма к тому же чувствительной насосной установке; стоимость самого аппарата также значительно ниже. Расход энергии, напротив, остается почти таким же, так как взамен привода для насоса работает привод для крыльчатого распылителя. После промывки кислотой газ последовательно поступает в охлаждающие башни g и h, где он встречает тонко раздробленную охлаждающую воду и где осаждается водный баласт газа. Чтобы использовать тепло газа, увлекаемое в первой башне орошающей ее пространство водой, эта последняя перекачивается в третью башню p — насытитель воздуха, в которую в обратном направлении подается газификационный воздух, нагревающийся при этом и насыщающийся водяным паром. Охладившаяся при этом вода снова перекачивается в охлаждающую башню, так что получается совершенно замкнутый кругооборот. Дутьевой воздух, насыщенный водяным паром, после того как к нему примешивают еще потребное количество добавочного пара, проходит через подогреватель дутья d и достигает, наконец, пройдя по пути через полость двойных стенок газогенераторной шахты, дутьевой камеры газогенератора с корзинообразной решеткой. Аналогично этому всегда содержащая смолу охлаждающая вода второй башни h не выбрасывается, но перекачивается через охладительную башню m для доведения ее до температуры атмосферного воздуха, после чего она снова возвращается в процесс. Потери на испарения в градирне выравниваются при этом добавочными количествами конденсационной воды из газа, выпадающей в башне. Покинув вторую башню, газ достигает через вращающийся промыватель i водоотделителя k, в котором происходит очистка газа, после чего он поступает в линию под давлением. Если газ предназначается для работы газовых машин, то его еще дополнительно пропускают через очиститель с опилками, чтобы удалить из газа последние остатки смолы и влаги.

Фиг. 140 дает схему пространственного размещения газоцентрали, работающей по способу Монда, производительностью около 350 m каменного угля со всеми вспомогательными установками, устроенной с таким расчетом, чтобы к ней подавалось только необходимое сырье, т. е. уголь, вода и кислота.

Несмотря на продуманное устройство для использования отходящего тепла, все же количество подводимого извне водяного пара достигает еще около 60% всего потребного его количества; заготовительную стоимость этого добавочного пара можно уменьшить путем утилизации других подходящих источников отработанного пара (как паровые машины, выпаривательные котлы и т. д.).

Фиг. 141 представляет типичный тепловой баланс процесса газификации каменного угля и дает наглядное понятие о теплотехнических взаимоотношениях при условии частичного использования газа для получения необходимого пара (как это ранее указывалось).

Как видно из диаграммы, значительная часть физического тепла газа теряется с охлаждающей водой, между тем, как здесь приходится получать значительные количества пара другим путем. Этот факт может

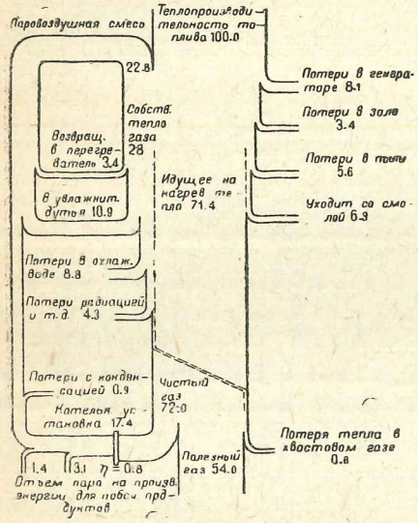


Фиг. 140. Пример установки для получения газа Монда:

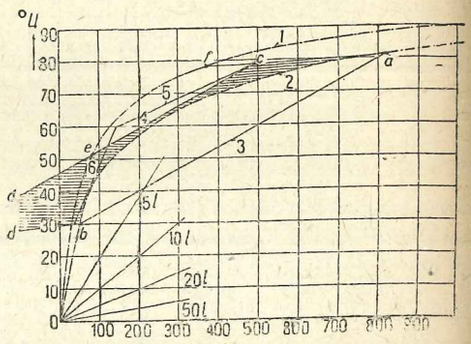
a — бункер;
b — газогенератор;
c — газовая магистраль;
d — теплообменный прибор (перегреватель);
e — смолоочиститель;
f — поглотитель аммиака;
g — первый охладитель;
h — второй охладитель;
i — ротационный газоочиститель;
k — центробежный вентилятор;
l — увлажнитель воздуха;
m — воздухопровод;
n — паровой котел;
o — подогреватель;
p — приводные моторы;
q — трансмиссия для поглотителей аммиака;
r — насосы для оборотной воды;
s — насосы для охлаждающей воды;
t — отстойники для охлаждающей воды;
u — отстойники для оборотной воды;
v — башенный охладитель;
w — бак для сбора раствора;
x — установка для получения сульфата;
y — склад сульфата.

показаться при первом взгляде удивительным, но он легко объясняется неблагоприятными температурными соотношениями, затрудняющими более целесообразное использование теряемого отходящего тепла. Автором в этой области были проведены обширные опыты и запатентован несколько

модифицированный способ (D. R. P. 357238, 1916), дающий возможность устранить этот недостаток. Это достигается одновременным разделением на две или несколько операций не только процесса охлаждения, но и процесса насыщения воздуха. На фиг. 142 кривая *1* представляет изменения теплосодержания 1 $м^3$ воздуха в соответствии с ходом кривой насыщения. Кривая *2* дает приходящиеся на 1 $м^3$ средние количества газа — в 1,8 $м^3$, если процесс насыщения газа соответствует тому же закону, что практически и наблюдается с большой точностью. Обе линии идут асимптотически. Теплосодержание определенного количества воды меняется по прямой; на диаграмме приведено несколько подобных линий, начинающихся от нуля. Если мы желаем газ с начальной температурой 82° (соответственно точке *a*) довести до конечной температуры 30° (соответственно точке *b*), то расход воды мы найдем при помощи прямой *3*, кото-



Фиг. 141. Тепловой баланс процесса Монда.



Фиг. 142. Тепловая диаграмма процесса охлаждения и насыщения.

рая соответствует затрате 16 *л* на 1,8 $м^3$ газа, следовательно, 9 *л* на 1 $м^3$. В действительности расходуются значительно большие количества воды, так как начальная температура воды не вполне соответствует конечной температуре газа и наоборот; однако теплосодержание воды в каждом отдельном охлаждающем элементе установки должно быть меньше, чем теплосодержание газа, так что фактическое изменение температуры должно отвечать линии *4*, которая в самых благоприятных случаях должна образовать касательную к кривой *2*. Подобно этому, но в обратном смысле, наблюдаются взаимоотношения при насыщении воздуха теплой водой; при этом нужно отметить, что глубокое охлаждение газа и насыщение воздуха, производимые последовательно одною и тою же циркулирующей водной средой, представляют преимущество лишь в том случае, если линии теплосодержания охлаждающей воды лежат в промежутке между линиями *1* и *2*, соответствуя примерно линиям *5* и *6*, что также делает необходимым разделение процесса насыщения на отдельные стадии. Для ознакомления с дальнейшими деталями установки мы отсылаем к соответствующей патентной литературе; между

прочим, возможно получить еще большую экономию, если уже горячую воду, выходящую из охлаждающей башни, подогреть при помощи физического тепла газа в специальном подогревателе до температуры примерно 85° и только после этого применять ее для насыщения воздуха.

Установки для получения газа Монда с отбором побочных продуктов впервые строились в Англии фирмой Power Gas Corporation, позднее также фирмой Duff and Crossley. В Германии сначала эти установки выполнялись для газификации торфа и бурого угля фирмой Deutsche Mondgas und Nebenprodukten-Gesellschaft, Берлин. Только позднее перешли на установки для каменного угля, причем первая была выполнена в Вальдгофе фирмой Эргардт и Земер (по проекту Лимна, работавшего ранее директором Power Gas Corporation. По сравнению с прежними установками по системе Монда она размещена значительно компактнее [1], но в общем ничем существенным не отличается. Лимн отказался от горизонтальных аммиачных уловителей и применяет для этого вертикальные башни, сделанные, однако, не из свинца, а из литой стали.

Существенным дополнением первоначального способа Монда явился метод Франк-Каро (D. R. P. 255291, 1911), распространившего применение этого метода на бурые угли, торф и другие содержащие кислоты топлива. В конструктивном отношении этот метод характеризуется подогревом паро-воздушной смеси при помощи специальных перегревателей с самостоятельными топками, так как использование для этой цели собственного тепла газа при газификации низкосортных топлив невозможно вследствие его низкой температуры; такой самостоятельный подогрев ведут до весьма высоких температур (до 350°).

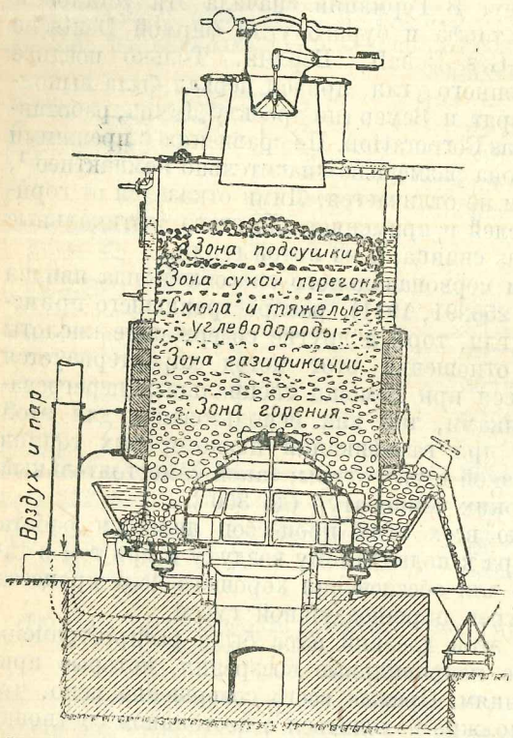
Характерной особенностью всех этих процессов является работа газера с обильной добавкой пара к подводимому воздуху и при том в таких больших количествах, что для обеспечения хорошего хода процесса необходим специальный подогрев паро-воздушной смеси.

О необходимых размерах этой добавки пара были распространены среди специалистов несколько неправильные воззрения, которые приводили к частым недоразумениям. Прежде всего совершенно ясно, что подводимое количество пара должно находиться в постоянном соотношении с потребным количеством воздуха, уменьшаясь и увеличиваясь одновременно с последним, безразлично, будем ли мы придавать главное значение непосредственному участию пара или получающегося из него водорода в реакции образования аммиака из азота топлива, или же охлаждающему воздействию пара в верхних участках слоя, предотвращающему распадение образовавшегося аммиака. Примерно это количество пара достигает 900 *г* на 1 $м^3$ воздуха, колеблясь от 500 до 2 500 *кг* на 1 *т* топлива. Часть необходимого пара может быть покрыта при помощи утилизации возвращаемого тепла (фиг. 141).

Для разъяснения теплотехнической обстановки мы должны здесь упомянуть, что газификация без подогрева паро-воздушной смеси может итти без перебоев лишь при содержании пара не выше 700 *г* на 1 $м^3$ воздуха, если не желают рисковать чрезмерным снижением калорийности газа и плохо выгоревшей золой.

[1] W o l f f, «St. u. E.», 1914, стр. 579.

Химические основы процесса были приведены выше (стр. 298); мы не имеем чего-либо к ним добавить. В последнее время, однако, систематически и длительно прорабатываются попытки снизить расход пара, о чем и нужно поэтому вкратце упомянуть. Так, Моором (Moore, D. R. P. 266601) был предложен газогенератор с паровым кожухом, для охлаждения в особенности верхних слоев топлива. Однако определенной экономии пара для собственного процесса в газогенераторе при этом трудно ожидать. Сходную конструкцию газогенератора Монда разработала фирма Тиссен в Мюльгейме на Руре (фиг. 143)[1]. Больше оснований достичь снижения расхода пара имеет способ Закса (D. R. P. 274011) — применение холодно-горячих трубок для отсасывания газа, устраняющих распад аммиака; однако при осуществлении этого предложения встречаются значительные технические трудности. Работа на зональном газогенераторе[2] с раздельным отводом дестилляционных газов также не дает экономии пара, все указания на эту экономию должны быть поэтому принимаемы с осторожностью.



Фиг. 143. Газогенератор с отбором побочных продуктов фирмы Тиссен и К°.

Своеобразный метод предложил Копперс (D. R. P. 279550), вводящий под решетку вместе с воздухом еще и богатый водородом газ, который сгорая в нижних слоях, обеспечивает получение потребной для процесса температуры и одновременно разрежает получающиеся газы. Не является исключенным, что мы можем получить при этом экономию пара, но преследуемая цель окупается слишком дорогой ценой, не говоря уже о значительных технических трудностях.

Другой группой мероприятий для снижения расхода пара являются способы, связанные с добавлением солей и других подобных веществ (стр. 299). Окончательного суждения об этих методах еще нельзя иметь, так как практические данные по ним отсутствуют; однако во всех подобных процессах необходимо рассчитать, не превысит ли стоимость добавляемых веществ стоимости сбереженного пара. Если удастся при этом использовать очень дешевые отбросы соли, к чему в Германии имеется возможность, то эти новые методы смогут дать ценные результаты.

[1] Roser, Über die Wirtschaftlichkeit von Vergasungsanlagen bei Erzeugung von Tieftemperaturteer und schwefelsaurem Ammoniak, «St. u. E.», 1920, стр. 349.

[2] Schulz, «St. u. E.», 1913, стр. 1221.

В результате изложенного мы можем сказать, что все принятые в крупном производстве способы в отношении основных своих характеристик вполне аналогичны первоначальному методу Монда. Более или менее полное сопоставление полученных на различных топливах данных приведено в табл. 62. В ней в первую очередь бросается в глаза весьма равномерный состав газа для различных топлив, что вполне, однако, объясняется самой химической природой процесса. О влиянии изменения состава газа на температуру пламени необходимо иметь в виду сказанное на стр. 286 и сл.

Получаемый в Монд-процессе раствор сернокислого аммония обычно выпаривается в отдельной установке, дающей прямо поступающий на рынок сульфат аммония. В этом отношении получение аммиака при газификации отличается от процесса в коксовых установках и на газовых заводах, так как непосредственное образование сульфата[1] в силу значительной влажности газа и низких температур обычно невозможно, да и при более тщательном рассмотрении не обещает каких-либо преимуществ. Нужно принять во внимание при этом, что разреженность аммиака в генераторном газе значительно больше, чем в газах сухой перегонки, и что нагрев газа для прямого образования сульфата при значительных общих количествах газа приведет к большему расходу тепла, чем потребовала бы раздельная переработка раствора.

В отношении отбора смолы способ Монда позволяет, конечно, без затруднений приспособление новейших технических операций; как известно, во время войны большинство установок Монда было переделано на получение первичной смолы. Введение отбора смолы делает во многих отношениях все очистительное устройство более простым и дешевым.

в) Газификация для силовых целей с отъемом побочных продуктов

Применимость газа Монда для целей нагрева не вызывала никаких сомнений. Напротив, очень много внимания было уделено условиям отбора побочных продуктов при силовых газовых установках после того, как этот вопрос был поставлен в порядок дня детальным исследованием проф. Клингенберга[2]. Является несомненным, что экономичность установки Монда весьма зависит от ее высокой стоимости; это обстоятельство приводит к тому, что получение побочных продуктов газификации является рентабельным лишь для сравнительно крупных установок. Решающую роль играют далее местные цены на топливо и побочные продукты в различных районах. При высоких ценах на топливо экономичность понижается вследствие повышения стоимости пара; себестоимость газификации тем выше при этом, чем значительнее колебания нагрузки установки.

[1] Сухого. Ред.

[2] Z. d. V. d. I.», 1918, стр. 1.

Таблица 62

	Топливо						
	Торф	Бурый уголь	Вестфальский антрацитный каменный уголь	Верхнесилезский каменный уголь	Каменный уголь, мелочь	Молодые каменные угли	Спекающиеся каменные угли
Анализ сырого топлива:							
H_2O, ... %	48,5	33,28	3,00	6,86	11,10	10,85	11,70
A (зола) . . . . . %	1,21	19,70	9,32	12,38	21,53	18,95	13,20
Летучие . . . . . %	33,14	26,26	—	28,27	—	—	—
Чистый кокс . . . . . %	17,15	20,76	—	52,40	—	—	—
N_2 . . . . . %	0,80	0,58	1,48	1,26	0,94	1,61	1,04
Теплопроизводительность сырого топлива, *кал/кг*	2 790	2 720	7 710	6 345	5 900	5 210	5 415
Анализ горючей массы:							
C . . . . . %	60,50	65,53	90,04	81,72	80,46	76,88	76,21
H_2 . . . . . %	7,48	5,56	4,43	5,43	5,33	5,69	5,58
N_2 . . . . . %	1,59	1,23	1,69	1,56	1,26	2,39	1,39
S . . . . . %	0,06	4,75	2,13	2,02	2,51	2,92	2,96
O_2 . . . . . %	30,01	22,93	1,71	9,27	10,44	12,12	13,86
Содержание азота в сухом угле . . . . . %	1,55	0,87	1,53	1,35	0,98	1,80	1,18
Средний состав газа:							
CO_2 . . . . . %	18,40	17,22	15,50	16,00	16,02	18,10	17,32
C_nH_m . . . . . %	0,25	0,12	0,15	0,20	0,20	0,66	0,62
O_2 . . . . . %	0,10	0,50	0,00	0,10	—	0,32	0,41
CO . . . . . %	11,40	12,11	12,60	11,80	11,62	9,90	10,20
CH_4 . . . . . %	3,30	4,42	2,90	3,30	3,78	4,07	3,27
H_2 . . . . . %	23,30	26,53	26,00	24,50	24,35	25,50	22,70
N_2 . . . . . %	43,05	39,10	42,85	44,10	44,03	41,45	46,48
Горючих составных частей . .	38,15	43,18	41,65	39,80	39,95	40,13	36,79
Низшая калорийность газа, *кал/м³*	1 265	1 445	1 320	1 300	1 333	1 404	1 265
Содержание углерода в газе, *г/м³*	178,7	182,6	167,0	167,8	169,5	175,4	168,4
Содержание углерода в газе, *г* на 1 000 *кал*	141,3	126,4	126,1	129,0	127,1	124,9	133,1
Углерода на 1 *кг* сырого угля, *г*	304,26	308,12	789,47	659,97	598,38	539,7	572,3
Потери углерода на 1 *кг* сырого угля в:							
золе, *г*	20,0[1]	12,6	Не определялся, так как очень незначител.	19,18	19,56	15,23	10,25
пыли, »		53,94		38,19	16,97	38,45	20,65
смоле »	33,14			33,53	35,10	54,98	42, 8
Итого	53,14	66,54	65,0	90,90	71,63	108,66	72,98

Продолжение

	Топливо						
	Торф	Бурый уголь	Вестфальский антрацитный каменный уголь	Верхнесилезский каменный уголь	Каменный уголь, мелочь	Молодые каменные угли	Спекающиеся каменные угли
Углерод газа на 1 *кг* сырого угля, *г*	251,12	241,58	724,47	569,07	526,75	431,04	499,32
Вычисленный выход газа из 1 *т* бурого угля, *м³*	1 405	1 323	4 340	3 390	3 110	2 460	2 965
То же, из 1 *кг* сухого угля, *м³* .	2 730	1 985	4 470	3 640	3 240	2 750	3 355
Измеренное количество газа на 1 *т* сырого угля, *м³*	1 690	1 720	4 960	Измерительн. аппараты не работали	3 990	3 150	3 340
Температура в месте замера, °Ц .	29	47	29		41	37	20
Измеренное количество газа на 1 *т* сухого угля, *м³* [2] . . .	2 880	1 970	4 450		3 340	2 670	3 465
Теплотехнический к. п. д. газогенератора [3], ...	65,5	69,9	74,1	69,4	71,2	65,2	70,3
Вычисленный расход воздуха на 1 *т* сырого угля, *м³*	928	655	2 250	2 070	1 790	1 450	1 700
Вычисленный расход пара на 1 *т* сырого угля, *кг*	830	585	2 400	2 020	1 675	1 420	1 870
Выход безводной смолы на 1 *т* сухого угля, *кг*	85,8	94,8	—	51,5	50,1	77,1	52,5
Выход сульфатаммония на 1 *т* сырого угля, *кг*	24,0	19,7	45,2	40,1	28,7	51,2	31,4
Выход сульфатаммония на 1 *кг* азота угля, *кг*	3,006	3,397	3,067	3,183	3,053	3,180	3,010

Относительно этой взаимной связи хотел бы я здесь привести соображения высказанные мною еще до работы Клингенберга в одном докладе: [4]

«Получение электрической энергии на крупных централях получило неожиданное развитие именно во время войны. Установки, мощность которых ранее казалась гигантской, стали теперь совершенно обычными, нормальными установками. Этим развитием электростанции обязаны в первую очередь паровой турбине, так как ведь только применение этих машин позволяет сконцентрировать в одном агрегате почти произвольно большие мощности. При этом высокая мощность в соединении с значительной компактностью конструкции обусловливает необходимую легкость наблюдения за установкой, дает возможность сравнительно легкого регулирования и приспособления к эксплоатационному режиму. К тому же самый удельный расход тепла в крупных турбоагрегатах все более уменьшается. Все это делает весьма полезным сопоставление паросилового и газосилового хозяйства в связи с введением газификации с отъемом побочных продуктов.

[1] Определен приблизительно.
[2] Для 0° и 760 *мм* рт. ст.
[3] Как среднее из определенного и вычисленного.
[4] Z. d. V. d. I., 1918, стр. 78. Доклад от 22/II 1917.

Расход тепла в больших газовых машинах при работе с полной нагрузкой достигает 3 600 *кал/квт-ч*, в крупных же турбоагрегатах — около 4 200 *кал*. Для первых машин теплопроизводительность перечислена на очищенный рабочий газ, для последних на пар. Однако в то время как первая величина является надежной эксплотационной цифрой, для турбины мною взята величина для исключительно благоприятных условий, чтобы заранее отвести упрек, что сравнение ведется в пользу газовой машины. Соответствующие значения, даваемые турбинными заводами, замеренные у котла, обычно достигают не менее 4 500 — 4 800 *кал*, так как в зависимости от расстояния нужно считаться с значительными потерями на конденсацию (4 — 8%). Ясно поэтому, что вычисляемые таким путем величины нельзя считать вполне отвечающими практическим оценкам. Зато тем надежнее будут наши выводы в отношении сопоставления экономичности установок с газовыми машинами и паротурбинных.

Для сравнения экономичности нужно ввести в расчет к. п. д. основной производящей установки. При получении очищенного газа можно принять к. п. д. в среднем около 72%, при получении же пара, для хороших топлив — 78%, причем для менее ценных топлив к. п. д. спускается до 72% и ниже. Расход тепла в топливе будет поэтому около 5 000 *кал* в первом случае и около 5 400 — 5 900 *кал* во втором (на 1 *квт-ч*). Работа турбины оказывается, следовательно, в отношении расхода топлива лишь немного хуже, и поэтому от выбора топлива зависит, даст ли газовая машина (без отбора побочных продуктов) в отдельных случаях некоторое преимущество перед турбиной с обогреваемыми непосредственно котлами. Это может, например, иметь место в том случае, если в данном пункте при низкой цене на низкосортные топлива котельные приходится вести на хорошем, следовательно, дорогом угле. В то же время газовая машина требует, с другой стороны, гораздо более высоких затрат на амортизацию. Так как стоимость установки с газомашинами почти в три раза выше стоимости соответствующего турбогенератора [1], то превышение амортизации весьма значительно и достигает почти $1^1/_4$ пфенига на 1 *квт-ч* [2]; это значит, что только при цене на каменный уголь около 23 марок за 1 *т* более низкий расход топлива газомашиной сделает ее применение более выгодным. Но этот случай встречается очень редко. При этом, конечно, получаемая выгода должна быть всецело отнесена к преимуществу самой газовой машины, так как стоимость получения газа (эксплоатационные расходы) в среднем выше, чем пара; в особенности необходимость очистки газа требует обширных специальных устройств, значительного расхода энергии и высоких расходов на зарплату. Но во всяком случае эта необходимость очистки влечет за собой почти принудительно введение отъема побочных продуктов, так как сама очистка газа уже заставляет выделяться эти побочные продукты, хотя и в небольших количествах, так что эти оба процесса технически весьма близки.

[1] Только для собственно машинной части установки. Для установки в целом затрата в первом случае составляет от полуторной до двойной величины по сравнению с затратами во втором случае.

[2] Денежные расценки здесь и далее относятся к условиям 1916 г., следовательно, они несколько выше довоенных цен (около 33%); для современных условий они должны быть соответственно изменены.

Обратные условия имеем мы при соединении паротурбинного хозяйства с газификацией с отъемом побочных продуктов; здесь необходимо точное обоснование связи путем экономического подсчета. Хотя газовая топка котла дает лучший к. п. д., чем угольное отопление, необходимо принять во внимание также и к. п. д. самой газификации. При к. п. д. котла в 80% в общем мы получим тогда $\frac{80 \cdot 72}{100} = 57{,}6\%$ использования, т. е. другими словами, расход 7 300 *кал* в топливе на 1 *квт-ч*. При этом мы еще не учли расхода на парообразование для самого процесса газификации, с принятием которого в расчет по данным диаграммы 141 мы повысим общую затрату тепла на 1 *квт-ч* до 9 700 *кал*. Однако это получится при расчете на свежий пар; между тем, фактически для газогенераторного дутья может применяться отработанный пар низкого давления. Если для этого выбрать турбину с отбором пара в 30% с 2 *ата*, то расход тепла на 1 *квт-ч* получится до 8 680 *кал*. Эта величина была установлена в результате детальной проработки, и решение вопроса в соответствии со сказанным выше, несомненно, легко выполнимо технически, а экономически является чрезвычайно благоприятным, так что в будущем на крупных силовых станциях такая постановка дела должна найти исключительное применение; так как отъем пара низкого давления может легко регулироваться, то предлагаемая схема совершенно с тем же успехом может быть использована на силовых станциях с колеблющейся нагрузкой.

Для сравнения экономичности мы примем, что турбинная установка работает с котлами на газе и что газовая установка в свою очередь работает на паре из промежуточного отбора турбины. Расход тепла в топливе достигает 8 680 *кал/квт-ч*. С другой стороны, мы возьмем газомашинную централь с газификацией и использованием побочных продуктов: расход тепла в топливе — 5 000 *кал/квт-ч*. Пар для газогенераторного процесса полностью получается путем использования выхлопных газов без какого-либо другого расхода тепла.

Конечно, расчет экономичности будет сильно зависеть от сорта топлива, его цены, содержания в нем азота и смолы; поэтому было бы целесообразно при сравнительном вычислении сначала не вводить в расчет стоимости топлива, чтобы лучше уловить взаимоотношение величин. Прежде всего мы определим расходы на газификацию 1 000 *кал* топлива, затем издержки теплосиловой части на 1 *квт-ч*, издержки электрической части и только в заключение введем в расчет стоимость самого потраченного топлива за вычетом стоимости использованных побочных продуктов.

Расходы на газификацию при расчете на 1 000 *кал* в топливе очень мало меняются даже для различнейших топлив, и составляют обычно 0,08 пфенига, причем амортизация установки и проценты на капитал приняты в размере 12%. Точный средний расчет дает, например, для сырого бурого угля 1,75 марки на 1 *т*, для каменного угля — 5,60 марки на 1 *т*, что согласуется с ранее опубликованными данными. При этом нельзя, конечно, брать за основу условия послевоенного периода, и необходимо делать соответствующие надбавки, которые, не вполне отвечая настоящим условиям, несомненно, могут быть распространены на будущее время при возвращении нормальных условий. Эксплоатацион-

ные расходы машинной централи при длительной полной нагрузке с учетом указанных надбавок при расчете на 1 *квт-ч* примерно составят: для паровых турбин, включая котельную установку — 0,6 пфенига, для газовых машин с котлами на отходящих газах — 0,9 пфенига.

Расходы в случае котельной установки, работающей на угле (в соединении с турбоцентралью), независимо от сорта топлива, будут по меньшей мере равняться указанной величине, так как хотя котел на угле будет иметь меньшую поверхность нагрева, но, с другой стороны, котел на газе не будет иметь цепной решетки, угольного бункера и золоудаления. Зарплата обслуживающего персонала, несомненно, для котла на угле будет выше. Более точные расчеты дают более высокие издержки, но все же лишь с разницей, не могущей быть принятой к учету, почему для целей сравнения мы и должны исходить из названной выше величины в 0,6 пфенига.

Общие издержки для обеих машиноцентралей в соединении с газобатареей с отъемом побочных продуктов достигают в таком случае независимо от стоимости топлива:

Для турбоцентрали . . . . . $8{,}68 \cdot 0{,}08 + 0{,}6 = 1{,}3$ пфенига за 1 *квт/ч*.
Для газомашинной установки $5{,}0 \cdot 0{,}08 + 0{,}9 = 1{,}3$ » » 1 »
Для турбины с котлами на угле . . . . . 0,6 » » 1 »

Общие издержки, как мы видим, для установок с отбором побочных продуктов являются почти одинаковыми, почему, следовательно, при выборе типа установки решающим фактором должна явиться стоимость топлива. Если мы обозначим через A выражение $\frac{100 \cdot K}{W}$, могущее быть условно принятым за абсолютную стоимость топлива, причем K обозначает цену угля в марках за 1 *т* и W — теплопроизводительность 1 *кг* угля, то эта величина будет иметь законность лишь для топливосжигания. В наших же случаях мы должны иметь дело с относительными стоимостями топлива, учитывающими влияние получения побочных продуктов, а именно

$$B = \frac{100\,K - \frac{sS + tT}{10}}{W},$$

где

S — прибыль (в марках), полученная от 1 *т* сульфата аммония за вычетом стоимости кислоты,
T — прибыль (в марках) от 1 *т* смолы,
s — выход сульфата аммония в *кг* из 1 *т* топлива,
t — выход смолы в *кг* из 1 *т* топлива.
A и B — получаются в пфенигах и относятся к 1 000 *кал* в топливе.

Относительные стоимости топлива могут иметь как положительное, так и отрицательное значение. Стоимость расхода топлива на 1 *квт-ч* получится, если мы помножим относительную цену на 8,68 или соответственно 5,0. Можно сейчас же установить, что стоимость топлива для газовых машин будет только в том случае благоприятна, если относительная цена топлива положительна.

Дальнейшее исследование вопроса показывает, что величина B

колеблется в весьма широких границах в зависимости от свойств топлив. Поэтому для сравнения надлежит заранее вычислить относительные цены топлив по возможности для наиболее различных типичных сортов углей, а именно, для:

1. Каменного угля с 7 000 *кал* теплопроизводительности при цене 13 марок за 1 *т*, 1,25% азота и 6,5% смолы.

2. Низкосортного каменного угля (штыба или сланцеватого каменного угля) с теплопроизводительностью 6 000 *кал*, ценою 5 марок за 1 *т*, 1% азота и 5,5% смолы.

3. Буроугольных брикетов с теплопроизводительностью в 4 800 *кал*, ценою 8,5 марки за 1 *т*, 0,6% азота и 9,0% смолы.

4. Сырого бурого угля с теплопроизводительностью в 2 300 *кал*, ценою 2 марки за 1 *т*, 0,3% азота и 4,5% смолы.

Мы вводим в формулу для S значение 220 и для T — 45. Современные стоимости значительно выше, в особенности для смолы; но так как мы не должны терять из виду предстоящего развития рынка побочных продуктов, то лучше руководиться ценами, существовавшими незадолго до войны. Выход сульфата вводится в расчет в размере сравнительно низком — 30 *кг* на 1% содержания азота в угле, выход смолы — в 85% от содержания смолы по анализу.

Таким путем были получены сопоставленные в табл. 63 стоимости 1 *квт-ч* для различных типов силового оборудования. В первую очередь здесь мы можем установить без дальнейшего правильность приведенных выше положений об экономических преимуществах газопаротурбинных и газомашинных установок с применением отбора побочных продуктов. В случаях 1 и 3 (при положительном значении B) имеют преимущество газовые машины, в случае 2 и 4 (при отрицательном значении B) — паровые турбины. Во всех случаях, однако, рассматриваемые установки оказываются выгоднее при условии отбора побочных продуктов, чем централи с непосредственным сжиганием, дающие более высокую стоимость тока. Однако, в то время, как различия для случаев 1 и 3 являются лишь незначительными, для случаев 2 и 4 снижение стоимости является довольно ощутимым, причем необходимо отметить, что выбранные случаи вполне отвечают средним условиям обычной работы и самые данные установлены эксплоатационной практикой. С другой стороны, необходимо указать, что эти расчеты действительны лишь для равномерной нагрузки электроцентрали. Совершенно ясно, что при работе на газе в случаях 2 и 4 колебания в отдаче энергии действуют неблагоприятно на экономичность работы, и что, наоборот, эта разница для централи с непосредственным сжиганием топлива является значительно меньшей, так как при большем расходе тепла, имеющем при этом место, отрицательная часть стоимости тока возрастает. В конце концов получается такое явление, что стоимость 1 *квт-ч* при большем потреблении тепла становится меньше именно в том случае, если относительная стоимость топлива дает отрицательную величину в 0,08 пфенига. Во всяком случае эти экономические преимущества находятся в тесной зависимости от повышения расхода топлива, и существует естественная граница, на которой потребление топлива должно остановиться. В случаях 1 и 3 преимущества установки с газификацией побочных продуктов при переменных нагрузках электроцентрали делаются столь незначительными,

Таблица 63

Стоимость производимой энергии при различных условиях

Случай	Топливо	A	B	Стоимость 1 *квт-ч*, пфенигов		
				Турбина с газовой топкой	Газовая машина	Нормальная турбина
1	Каменный уголь, 13 марок за 1 *т*, 7 000 *кал*, 1,25% N_2, 6,5% смолы .	0,1857	0,0324	$1{,}3 + 8{,}68 \cdot 0{,}0324 = 1{,}581$	$1{,}3 + 5 \cdot 0{,}0324 = 1{,}462$	$0{,}6 + 5{,}4 \cdot 0{,}1857 = 1{,}603$
2	Отбросный уголь, 15 марок за 1 *т*, 6 000 *кал*, 1,0% N_2 5,5% смолы .	0,0833	— 0,0617	$1{,}3 - 8{,}68 \cdot 0{,}0617 = 0{,}764$	$1{,}3 - 5 \cdot 0{,}0617 = 0{,}992$	$0{,}6 + 5{,}83 \cdot 0{,}0833 = 1{,}086$
3	Брикеты, 8,50 марки за 1 *т*, 4 800 *кал*, 0,6% N_2, 9% смолы	0,1773	0,0229	$1{,}3 + 8{,}68 \cdot 0{,}0229 = 1{,}499$	$1{,}3 + 5 \cdot 0{,}0299 = 1{,}415$	$0{,}6 + 5{,}4 \cdot 0{,}1773 = 1{,}557$
4	Бурый уголь. 2 марки за 1 *т*, 2 300 *кал* 0,3% N_2, 4,5% смолы . . .	0,0870	— 0,0839	$1{,}3 - 8{,}68 \cdot 0{,}0739 = 0{,}659$	$1{,}3 - 5 \cdot 0{,}0731 = 0{,}930$	$0{,}6 + 5{,}83 \cdot 0{,}0870 = 1{,}107$

что непосредственное сжигание под котлом становится, несомненно, предпочтительнее [1].

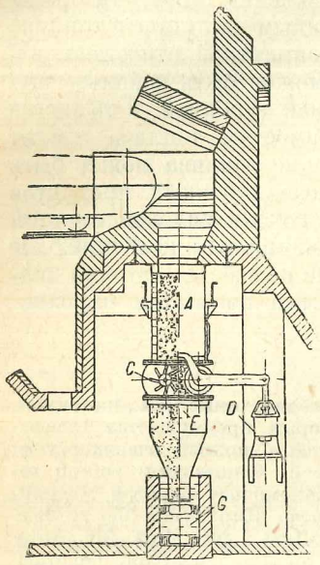
Резюмируя изложенное, можно сказать, что при обычных свойствах наших топлив введение газификации с отбором побочных продуктов приводит во всех случаях, как правило, к удешевлению стоимости производимой энергии по сравнению с непосредственным сжиганием топлива под паровым котлом. В условиях очень благоприятной относительной стоимости топлива (отрицательная стоимость) может быть использована с успехом котельная установка на газе с паровой турбиной, в то время как при положительных относительных стоимостях топлива имеют преимущество газовые машины. Прямое сжигание топлива может быть более выгодным лишь при очень малом выходе побочных продуктов или в том случае, если сильные колебания нагрузки силовой станции делают применение газификации вообще неэкономичным или приводят к таким затратам топлива, которые будучи сами по себе достаточно экономичными, не могут быть, однако, допущенными по общим народнохозяйственным основаниям.

---

[1] В советских условиях взаимоотношения, конечно, иные (см., например, «Труды Гипромеза»). Однако есть случаи, при которых преимущества газификации перед непосредственным сжиганием выявляются с полной очевидностью; например, по данным проф. Кирклунда (H. Kyrklund, Финляндия) работа газогенераторного мотора на катере на 50 — 60% экономичнее паровой машины (топливо в обоих случаях — дрова). См. доклад проф. Кирклунда на II Всемирной энергетической конференции 1930 г.: «Kraftgas aus Holz für Automobile». Особенно экономичны, конечно, газогенераторные двигатели, работающие на отбросном топливе в том случае, если имеющиеся топочные конструкции непригодны для его сжигания. См., например, генератор с обратным процессом, работающий на древесных отбросах, фирмы Дейц, у проф. К. К. Блахера, Теплотехника в лаборатории и производстве, 1931, 2-е изд., стр. 163. См. также «Новости Техники» № 1, 1932. Эта специальная силовая конструкция может использовать всякого рода растительные отбросы (щепа, стружки, опилки, хлопковая лузга, бумажные отбросы и т. п.). Установка снабжена газоочистителем, поэтому газ может беспрепятственно применяться в двигателях внутреннего сгорания. Газеры Дейц для более крупных силовых установок (порядка 150 — 160 *л. с.*) делаются с двумя зонами горения, что дает возможность получить газ теплопроизводительностью около 1 150 — 1 200 *кал/м*³.

Интересной советской конструкцией дровяного транспортного газера является тракторный газогенератор системы Декаленкова (Центральный научно-исследовательский лесной институт). См. также: W. Kirnich, Neuere Heizgas—Kleinanlagen zur Erzeugung von Generatorgas aus verschiedenen Brennstoffen. «F. T.», № 13, 1928. Goutal, «Использование древесных отбросов», «Chal. et Ind.», № 71, 1926. R. Cherny, Hochwertiges Generatorgas aus minderwartigen Brennstoffen «Fot» № 29, 1927. Hubert Hermanns, Gasgeneratoren u. Gasfeuerungen, 1924. А. Г. Беглецов, Газогенератор для дров, торфа и кизяка, «Вестник Комподиз 1925 г., июнь. Проф. Швецов Б. С., «Теплотехническое обследование завода «Светлана» (газогенератор на дровах), «К. и С.» № 7 — 8, 1925. Гвирцман, Новейшие системы небольших газогенераторных установок на различных топливах, «Т. Д.» № 6, 1929. Тепловик Ижевского, как уже было указано ранее, одной из своих задач имеет именно газификацию (неполную) древесины, см. В. Н. Ижевский, Теория обращенного газогенератора-«тепловика», «Труды I Теплотехнической конференции сахарной промышленности», стр. 358; Д. Левитский, На защиту «тепловика» Ижевского, «Ж. Рус. мет. о-ва» № 4, 1927. О влиянии свойств топлива на качество силового газа для транспортных газеров см. «Труды Дизельного института» (ВНИДИ), вып. 7, 1932, работа Б. Ф. Ребока. Ред.

Приведенные соображения не были бы, однако, достаточно полны, если бы мы не рассмотрели еще одного обстоятельства, которое в будущем должно иметь особенное значение, а именно влияния удорожания топлива. Это удорожание должно привести в случаях 2 и 4 к уменьшению экономических преимуществ, в то время как в случаях 1 и 3 будет иметь место обратное; поэтому газовые машины в будущем должны получить большее значение даже при колеблющейся нагрузке. При этом, конечно, мы исходим не из того положения, что из данной определенной продукции мы должны извлечь максимальную пользу, а ставим вопрос именно так, чтобы получить вообще на 1 *т* переработанного сырого угля наибольшее полезное действие [1]. Поэтому мое личное мнение сводится к тому, что будущее принадлежит газовой машине или же ожидаемой всеми новой конструкции — газовой турбине».



Фиг. 143а. Дожигательный генератор для цепной топки.

Выведенные мною заключения в отношении экономического эффекта газификации с отбором побочных продуктов, а также и в отношении разграничения трех различных форм силовых установок, вполне согласуются с выводами, к которым приходит Клингенберг в своей чрезвычайно поучительной и логически обоснованной работе; последняя, однако, рассматривает вопрос гораздо обширнее, с особенным принятием во внимание всех изменений условий нагрузки и т. п., почему мы и можем считать эту работу фундаментальным исследованием вопроса о получении энергии в соединении с газификацией.

[1] Переход энергетических установок на низкосортное топливо влечет за собой обычно понижение к. п. д. за счет увеличения механического недожога, в особенности это резко сказывается при легкоплавкой золе, увлекающей значительные количества несгоревшего топлива; форсировка работы топки еще более увеличивает потерю. Это привело к устройству вспомогательных газогенераторов, входящих в систему современной топки, как своеобразный дожигательный элемент (фиг. 143а), газифицирующий горючее шлаков, сходящих с цепной решетки: *A* — шахта газера с водяным охлаждением, *C* — дробилка шлака, состоящая из зубчатых валиков с гидравлическим приводом *D*; *G* — транспортер в водяном канале, уносящий раздробленный шлак, отдавший свое тепло воде водного затвора, что и обеспечивает подачу пара для газификации, поступающего в шахту через *E* совместно с воздухом для газификации. Это устройство снимает механический недожог даже при самых многозольных топливах и в условиях сильно колеблющейся пиковой нагрузки (как пример можно привести такие цифры: недожог после механической решетки, выразившийся в размере 39,5 и 52,2%, упал после установки газера до 0,85 — 1,25%). Капитальные затраты очень невелики и быстро покрываются получаемой экономией (на одной из установок Северной Франции при зольности топлива в 36% к. п. д. после устройства дожигательной шахты поднялся с 65 до 81%). Кроме того, дожигательный газер упрощает обслуживание топки («Бюлл. Нов. техн.» № 66, 1932, реф. В. Дмитриева 1642). Ред.

Довольно детально занимался этим вопросом также д-р Розер [1], который во всех случаях приходит к несколько иным выводам, еще более благоприятным для газификации. Однако уже из приведенного нами материала ясно, что вопрос никогда не может быть решен в общем виде и что необходимо исследование его в каждом отдельном случае.

С появлением работы Клингенберга, представлявшей первоначально заключение по докладу д-ра Беземфельдера в правительственные органы, вопрос об экономичности газификации с отъемом побочных продуктов сделался предметом оживленнейшей дискуссии, однако, не приведшей к полному его выяснению, хотя бы уже по той причине, что специалистам-производственникам предложение о всеобщей газификации топлива представляется бессмысленным; это приводит к такому ограничению задачи, что единое и сводное ее разрешение делается совершенно невозможным. Я отсылаю читателя по вопросам этой дискуссии к многочисленным публикациям [2], особенно же к выводам де-Граля в его книге «Экономичное использование топлива», стр. 256 — 268.

В качестве заключения приведу слова последнего автора:

«Для правильной оценки нашего будущего топливного хозяйства, по моему убеждению, является решающим не вопрос о наиболее целесообразном направлении использования наших угольных запасов, т. е. о частичном или полном переводе топлива в газ с отбором побочных продуктов или, наоборот, прямым сжиганием топлива, гораздо большее значение мы должны придавать условиям народнохозяйственным и социальным, общим условиям производства и транспорта. В этом отношении не могут помочь также и руководящие экспертные материалы Государственного топливного бюро (Reichsschatzamt), несмотря на их исключительную полноту; причиной этого является то обстоятельство, что бюро исходит из одностороннего взгляда с большей дешевизной прямого сжигания угля по сравнению с его газификацией с использованием побочных продуктов. Между тем, указанный взгляд не может быть признан правильным в указанной форме для всех случаев, как это будет показано ниже».

В отношении получения аммиака имеет решающее значение то обстоятельство, что даже и последние методы получения азотистых удобрений из отечественного сырья и с использованием отечественных вспомогательных материалов требуют все же значительного расхода топлива. А именно при синтезе необходимо израсходовать:

1. На 1 *т* связанного азота по способу воздушной селитры . . 45 *т* угля
2. » 1 *т* » » » » кальций-карбида . . 15—18 » »
3. » 1 *т* » » при синтезе аммиака по Габеру 6—9 » »

[1] «St. u. E.», 1920, стр. 349, 387, 533, 610, 651 и сл.

[2] См., между прочим, Prof. Dr. Askenasy, Vortrag über die Gewinnung von künstlichem Stickstoff, Essen 1915; Dr. Scheuer, Gewinnung und Verwertung von Nebenerzeugnissen bei der Verwertung von Stein und Braunkohlen, «Glasserei Ann.», 1915, стр. 209 и сл.; Dr. Eduard Besemfelder, Die Staatswirtschaftliche Verwertung der Kohle, Berlin, Heymanns Verlag, 1918; Dr. Caro, Klingenberg, Russig, Lempelius, Die rationelle Ausnutzung des Kohle, Gutachten Berlin, Heymanns Verlag, 1918.

Dr. Dollinger, Die Anpassung der Gaserzeugung an der Spitzenbedarf, «G. W. F.» № 32, 1931 F. Bartscherer, Gasmaschine oder Dampfturbine, «Arch. f. d. Eisenhuttenwesen» № 4, 1927. Ред.

Другие авторы дают для этих методов еще более высокие цифры расхода [1]. Поэтому для правильного сравнения мы обязательно должны ввести, как это и делает де-Граль, специальные угольные эквиваленты для смолы и аммиака. С течением времени этот взгляд сделался уже господствующим, и цены на сульфат аммония ставятся в полную зависимость от цен на уголь; государственные германские предельные цены [2] на оба эти товара поднимались или понижались всегда одновременно.

г) Экономика получения аммиака [3]

Для способа Монда во всяком случае легко может быть установлена граница экономичности, в связи с решающим значением в данном случае содержания азота в топливе. Потребное при процессе увеличение расхода топлива зависит от его теплопроизводительности и соответственно от выхода газа или расхода воздуха; выход же сернокислого аммония зависит не от теплопроизводительности топлива, а исключительно от содержания в нем азота.

Если принять повышение расхода топлива для средних случаев (для каменных углей) примерно в 22% [4] и выход азота в 60%, то можно установить зависимость между ценой топлива B в марках за 1 *т* и ценой сернокислого аммония — S — в марках за 1 *кг* выводимой соответственно стоимости серной кислоты, — от процентного содержания азота N_2; мы имеем:

$$\frac{B}{S} = \frac{10 \cdot N_2 \cdot 0{,}6}{0{,}22 \cdot 0{,}206} = 132\ N_2.$$

Если в эту формулу подставить цену топлива по расчету на 1 млн. *кал*, то мы получим соотношения между содержанием азота и теплопроизводительностью, с одной стороны, и между калорийностью угля и ценой сернокислого аммония — с другой. Указанная формула дает возможность в каждом отдельном случае установить экономичность получения азота по методу Монда. Например, для каменного угля с $N_2 = 1{,}2\%$ и значением $S = 0{,}20 \cdot 1334{,}1 - 52{,}40$ (где 1334,1 — цена 1 *кг*/% N_2 и 52,40 — цена 1 *кг* серной кислоты в 60° Боме для 1923 г.), мы получим предельное значение $B = 33\,950$ марок за 1 *т*, при котором получение аммиака еще является рентабельным. Так как средние цены топлива для указанного

[1] Де-Граль, стр. 260.

[2] Периода инфляции. Ред.

[3] Для характеристики значения отбора аммиака из технических газов по сравнению с его синтезом (из водяного и коксового газов и другими путями) приведем данные по балансу азота за 1930 г. (мировому):

В переводе на азот в 1930 г. получено:

Сульфата аммония из побочных продуктов	380	тыс. *т*
» » синтетического	455	» »
Цианистых соединений	263	» »
Кальция азотистого	130,5	» »
Других соединений азота из побочных продуктов	62,3	» »
» » » синтетических	423	» »
Чилийской селитры	464	» »
Всего	2 177,8	тыс. *т*

Ред.

[4] Для бурых углей и торфа вследствие более низкой калорийности расход возрастает до 28%, см. диаграмму 141.

времени (1923 г.) колеблются между 22 700 марок для рядового угля и 30 800 марок для сортированного марки О (орех), то при указанном выше содержании азота метод Монда является вполне экономичным [1]. Если же содержание азота будет ниже указанного, что часто имеет место во многих германских углях, то получение азота едва ли сможет представить какие-либо выгоды, так как при предыдущих расчетах мы не могли еще учесть обычно сравнительно незначительных издержек на самый процесс получения. Однако необходимо при этом указать, что заграничные цены на сульфат аммония значительно выше, хотя и в других странах замечается тенденция к снижению прибавки водяного пара при процессе Монда для обеспечения его экономичности [2].

4. Работы по использованию серы топлива [3]

Так как выполненные до сего времени крупные установки для получения азота работают с серной кислотой, то стремление использовать топливную серу является весьма понятным; к тому же все более и более учащаются требования [4] очистки генераторного газа от сернистых соединений, как это производится уже на газовых заводах. Однако применяемые на них способы удаления сероводорода не могут быть использованы в связи с большими количествами газа, отпускаемого газогенераторными промышленными станциями, поэтому весьма большой интерес привлекали методы, которые давали возможность использовать для связывания аммиака содержащуюся в газе серу.

Наиболее простым способом казалось бы должно было быть сжигание серы газа и соединение получающегося сернистого ангидрида с аммиаком с дальнейшим применением сульфита аммония как такового или же перевода его путем окисления в сульфат аммония. Этот способ был осу-

[1] Rambush, Production of Dye-Producer Gas under Low-Temperature Condition; Glasgow, West of Scotland J. u. St. I. 1922.

[2] Интересный метод получения аммиака предложен Гофманом и Гроллем путем обработки бурого угля перегретым паром при нагреве до 500°; см. K. A. Hofmann u. H. Groll, Ueber die Gewinung von Ammoniak und Kohlenwasserstoffen aus Braunkohlenkoks mit Wasserdampf bei 500°, «Z. f. ang. Chemie» № 10, 1927. Ред.

[3] Автор опускает вопрос о формах связи серы в топливе; действительно до сего времени не удалось выделить из угля ни одного органического соединения серы, хотя частичная связь серы с углеродом несомненна; часть серы в топливе находится также в виде сульфитной (обычно пирит или маркацит) серы и в виде сульфатной серы ($CaSO_4$, Na_2SO_3). Ред.

[4] В настоящее время очистка промышленного газа от серы приобрела еще большее значение и распространение. Очистка так называемого «городского» газа от серы всегда являлась обязательной; критика методов этой очистки дана А. В. Сиволобовым («Изв. Теплотехнического ин-та» № 3, 1930). Интересный метод очистки газа во вращающемся барабане (длиной около 3,5 *м*) люкс-массой описан фирмой König Ludwig (Рекклингхаузен), «Br. Chemie», 15/XII 1931. Понижение содержания серы в газах достигается также и другим путем — при помощи добавления в шихту газера специальных присадок (например, 2 — 3% обожженного известняка), см. J. Brown, «St. u. E.» № 2, 1926; на русском языке его статья реферирована в «Журнале Русск. металл. о-ва», № 3, 1927. Обширные материалы по улавливанию серы горючих газов обработаны инж. Г. О. Нусиновым в его книге «Очистка технических газов от серы», 1933, под редакцией проф. Б. С. Швецова. Ред.

ществлен Буркгейзером (Burkheiser). Он состоит в поглощении серы коксового газа гидроокисью железа и в последующем ее обжиге с подводом воздуха. Сернистый газ переводится в раствор с образованием бисульфита аммония, который в дальнейшем поглощает содержащийся в газе аммиак, давая сульфит аммония. Последняя соль и выпадает из раствора; ее отделяют от маточного раствора, который снова используется для поглощения сернистого ангидрида. К сожалению, однако, сульфит аммония имеет очень неприятные свойства, и перевод его в сульфат является далеко не легким.

К тому же при работе по этому способу часто происходят взрывы, и, кроме того, аппаратура очень страдает от кислых растворов. Поэтому Буркгейзер многократно подвергал его значительным изменениям, но ни один из этих модифицированных методов не получил применения на практике.

Гораздо более применимым оказался способ Вальтера Фельда. (Walter Feld), который основан на наблюдавшемся явлении поглощения как аммиака, так и сероводорода даже при более высоких температурах тетратионатом аммония, с образованием сульфата аммония, тиосульфата аммония и серы:

$$(NH_4)_2S_4O_6 + 2NH_3 + H_2O = (NH_4)_2S_2O_3 + (NH_4)_2SO_4 + {}^1/_2S_2$$

$$(NH_4)_2S_4O_6 + 3H_2S = (NH_4)_2S_2O_3 + 5S + 3H_2O$$

Путем выжигания серы мы получаем сернистый газ, который переводит тиосульфат аммония снова в тетратионат аммония:

$$2(NH_4)_2S_2O_3 + 3SO_2 + S = 2(NH_4)_2S_4O_6.$$

Такой попеременной обработкой раствора то коксовым газом, то сернистым ангидридом настолько повышают содержание сульфата аммония, что раствор делается непосредственно годным для выпаривания. При кипячении его образуются с выделением сернистого газа — сульфат аммония и сера:

$$(NH_4)_2S_4O_6 = (NH_4)_2SO_4 + SO_2 + 2S.$$

Серу отфильтровывают, а раствор сульфата — выпаривают.

Первоначальный метод Фельда был впоследствии изменен на основании данных производственной практики. Систематизированы эти данные были Зандером [1] (Sander). Ход химических процессов обычно несколько затемняется вследствие одновременного течения нескольких реакций.

Во всяком случае после длительной работы удалось выработать надежный и испытанный на практике способ, позволяющий вести получение аммиака при коксовании без добавления серы. Существуют некоторые сорта углей, в которых, правда, количество серы в топливе оказывается недостаточным; во многих же случаях, однако, получается даже избыток серы.

[1] «J. f. G.», 1919, стр. 65, см. об этом также у Bertelsmann, «J. f. G.», 1919, стр. 3.

Другие авторы, как, например, д-р Гарцер [1] (Harzer), оценивают также и способ Фельда не особенно высоко; решить этот вопрос может только практика большого производства.

Многократно в качестве промывной жидкости предлагался раствор соды, применяющийся и в нынешнее время в американской коксовой промышленности. Так как абсорбция происходит с выделением CO_2, то состав газа при этом несколько ухудшается. Кроме того, регенерация содового раствора связана с известными трудностями, так как одновременно образуется тиосульфат. Аналогичным методом является применяющийся в среднегерманской швельиндустрии — в незначительных, впрочем, размерах — способ промывки газа раствором фенолята натрия, получаемым при переработке смолы.

В других предложениях встречается абсорбция известковым молоком (Петтер) или разведенной серной кислотой. Особенного внимания заслуживают попытки применения аммиачного раствора гидроокиси меди и, с другой стороны, — медного купороса Мулерта (Muhlert) D. R. P. 306988,), с процессом, идущим по следующим формулам:

$$CuSO_4 + H_2S = CuS + H_2SO_4;$$

$$CuS + 3O = CuO + SO_2;$$

$$CuO + H_2SO_4 = CuSO_4 + H_2O.$$

В заключение необходимо указать и для генераторного газа на новый способ Байера, основанный на удалении сероводорода при помощи активированного угля.

Каких-либо решительных выводов из всех этих методов мы не можем сделать; но поскольку они дают известные результаты при коксовом газе, то применение их для генераторного газа не представляет особых затруднений, так как в обоих газах почти вся сера содержится в виде сероводорода, а следы сернистого газа могут быть вполне надежно удалены полностью при предварительной промывке. Нужно только иметь в виду, что при газификации мы имеем дело со значительно большими относительными количествами газа, почему подлежащие выделению составные части получаются в гораздо более сильном разжижении; здесь приходится, в особенности, принимать во внимание баластные газы — азот и углекислоту. При влажных топливах нужно также принять в расчет значительное содержание водяного пара. С другой стороны, именно низкосортные топлива, имеющие особенно большое значение для газификации, содержат обычно много серы, что имеет известные экономические преимущества для процесса и может создать более благоприятные условия. Так как теперь с развитием добычи газогенераторной смолы все более переходят на глубокую очистку газа, то проблема сероулавливания безусловно заслуживает сильнейшего внимания.

* К 1932 г. работы по развитию методов очистки технических газов от сероводорода привели к внедрению в промышленную практику следующих наиболее установившихся основных процессов.

Методы совместного удаления аммиака и сероводорода. Особенного внимания заслуживает способ I. G. Farbenen-

[1] «Apparate».

dustrie (улучшенный способ Фельда); он дает наиболее хорошие результаты при соотношении в газе удаляемых ингредиентов $2NH_3 : H_2S$. При этом основная реакция идет по уравнению:

$$(NH_4)_2S_4O_6 + 3H_2S = (NH_4)_2S_2O_3 + 5S + 3H_2O$$

$$(NH_4)_2S_4O_6 + 2NH_3 + H_2O = (NH_4)_2S_2O_3 + (NH_4)_2SO_4 + S.$$

Во всех случаях политионат восстанавливают сернистым ангидридом, получаемым из выделяющийся серы:

$$2(NH_4)_2S_2O_3 + 3SO_2 = (NH_4)_2S_4O_6 + (NH_4)_2S_3O_6.$$

Получаемый сульфат по данным фирмы дешевле, чем получаемый по прочим методам на 25 — 30%. В качестве побочного продукта получается роданистый аммоний NH_4CNS [1].

Другой метод совместной очистки разработан Э. Терресом и фирмой Копперс (Эссен): это так называемый цианид-аммиачно-серный процесс (C — A — S — Verfahren) [2]. В этом способе необязательно какое-либо определенное соотношение удаляемых веществ; однако способ является весьма сложным, и хотя им пользуются уже 3 крупных установки, все же окончательных заключений о его экономичности сделать еще нельзя. Способ включает следующие операции:

а) Предварительная промывка:

$$NH_3 + HCN + S = NH_4CNS.$$

б) Реакции основной абсорбции:

$$2FeSO_4 + 4NH_3 + 2H_2S = 2FeS + 2(NH_4)_2SO_4;$$
$$FeS_2O_3 + 2NH_3 + H_2S = FeS + (NH_4)_2S_2O_3;$$
$$FeS_2O_3 + 3H_2S = FeS + 3H_2O + 4S;$$
$$2Fe(OH)_3 + 3H_2S = 2FeS + S + 6H_2O;$$
$$FeS_3O_6 + 3H_2S = FeS_2O_3 + 4S + 3H_2O.$$

в) Регенерация воздухом:

$$2FeS + 3H_2O + 3O = 2Fe(OH)_3 + 2S.$$

г) 1-я регенерация сернистым ангидридом:

$$2FeS + 3SO_2 = 2FeS_2O_3 + S,$$
$$2FeS_2O_3 + 3SO_2 = FeS_4O_6 + FeS_3O_6.$$

д) 2-я регенерация сернистым ангидридом:

$$2(NH_4)_2S_2O_3 + 3SO_2 = (NH_4)_2S_4O_6 + (NH_4)_2S_2O_6.$$

Стоимость сульфата по этому способу по данным фирмы еще ниже, чем по способу I. G. [3], так как роданистый аммоний также переводят в сульфат.

[1] G. Cranacher, Gas Age Record № 2, 1931, стр. 3. Ред.

[2] Koppers Mitteilungen, 1929. См. также: A. May, Методы связывания аммиака посредством содержащейся в газе серы. «Уголь и железо» № 52, 1930. Ред.

[3] Подробнее см. G. W. F., 1931, Ernst Terres и G. Patscheke, «Исследов. физ. хим. основания получения сульфата аммония из технических газов, содержащих аммиак»; E. Terres, Technisch-Wirtschaftliche Studie, der Nebenproduktengewinnung, 1931, «G. W. F.», Критика методов Raffloer, Burkpeiser, I. G. Seabord и др. Ред.

Сюда же относится интересный каталитический метод Бара (патент приобретен I. G. Farbenindustrie), состоящий в окислении сероводорода каталитическим путем без добавления сернистого газа; при этом окисляется и органическая сера газа.

Методы раздельного удаления: здесь нужно отметить применение активированного угля фирмой «I. G» (см. выше способ Байера); способ является довольно распространенным, но требует полного предварительного удаления смолы и дорог.

Впрочем для малых концентраций (порядка 70 *г* серы на 100 $м^3$ газа) В. Фейст (W. Feisst) получил при применении активированного угля из коксового ореха стоимоть очистки порядка 0,1 пфенига на 1 $м^3$; содержание серы при этом понижается с 0,04 до 0,0008%; регенерация адсорбента затруднительна и может быть повторена около 12 раз [1]. Фирма же считает метод рентабельным при наличии не менее 3 *т* серы на 1 $м^3$, так как выделенная сера в этом случае уже начинает окупать издержки на очистку. Сера, полученная по сухому способу, расценивается значительно выше, чем выделенная мокрым путем [2].

Институтом исследования угля в Мюльгейме (Фр. Фишер и И. Дильтей) предложен способ связывания сероводорода железосинеродистыми щелочами:

$$2K_3Fe(CN)_6 + H_2S + 2KOH = 2K_4Fe(CN)_6 + S + 2H_2O.$$

Гамбургский газовый завод применяет этот способ, оказавшийся весьма экономичным: промывка газа раствором, содержащим 200 *г*. $K_4Fe(CN)_6$ и 60 *г* двууглекислого калия на 1 *л* воды [3].

I. Электролиз:

$$2K_4Fe(CN)_6 + 2KHCO_3 = 2K_3Fe(CN)_6 + 2K_2CO_3 + H_2.$$

II. Очистка:

$$2K_3Fe(CN)_6 + 2K_2CO_3 + 2HS = 2K_4Fe(CN)_6 + 2KHCO + S.$$

В итоге [4]: $H_2S = H_2 + S$.

Карбонатный способ Пти (1911 — 1913 гг.), по которому работают несколько крупных установок (преимущественно фирмы Отто), основан на следующих процессах:

$$K_2CO_3 + H_2S = KHCO_3 + KHS;$$

полученный раствор обрабатывается во втором скруббере избытком CO_2:

$$KHCO_3 + KHS + CO_2 + H_2O = 2KHCO_3 + H_2S;$$

освобождающийся сероводород поглощается болотной рудой, а раствор двууглекислого калия нагревается и регенерирует K_2CO_3 и CO_2. При

[1] «Br. Ch.» № 5, 1931. Ред.

[2] См. Е. В. Раковский, Санин, Юдкевич, Сера из горючих сланцев, «Химия твердого топлива», 1932, вып. 1. Довольно хорошими катализаторами оказываются при этом полукоксы торфов и сланцев. Ред.

[3] H. Müller, «G. W. F.», № 28, 1931. Ред.

[4] Производительность Гамбургской установки — 12 000 $м^3$ водяного газа в сутки. Затрата электроэнергии — около 4 *квт-ч* на 1 *кг* выделенной серы. Стоимость — около 66% стоимости сухого способа. См. «Новости техники» № 52, 1932. Ред.

этом способе получается весьма чистая сера — до 99,9%; из болотной руды серу экстрагируют трихлорэтиленом.

Способ Глуда-Штилля (Gluud-Still) является развитием способа Буркгейзера: при промывке газа суспензией гидроокиси железа в присутствии щелочи Na_2CO_3 происходит полное связывание сероводорода с освобождением серы:

$$2Fe(OH)_3 + 3H_2S = 2FeS + S + 6H_2O;$$

$$2FeS + 3O + 3H_2O = 2Fe(OH)_3 + 2S.$$

Одновременно происходит и связывание аммиака по уравнению:

$$S + 2NH_4OH + O_2 = (NH_4)_2SO_3 + H_2O.$$

Сульфит аммония в дальнейшем, присоединяя серу, переходит в тиосульфат — $(NH_4)_2S_2O_3$.

Несколько крупных установок фирмы Штилль и др. уже работают [1].

Интенсивный способ связывания серы предложен Р. Р. Боттомсом (фирма Джирдлер, САСШ), применивший для очистки газа органические основания (амино-и амидосоединения):

$$2RNH_2 + CO_2 + H_2O \rightleftarrows (RNH_2)_2H_2CO_3,$$

$$2RNH_2 + H_2S \rightleftarrows (RNH_2)_2H_2S.$$

Наилучшими реагентами оказываются при этом диэтаноламин

$$NH(C_2H_4OH)_2$$ и триэтаноламин $N(C_2H_4OH)_3$ [2].

Между прочим, получаемый по методу Глуда сульфит может быть непосредственно использован для очистки газа от сероводорода и синильной кислоты (в особенности важно для швельгаза, светильного газа), для чего Биби был предложен специальный метод [3].

Сравнительная оценка надежности и экономичности всех указанных способов, к сожалению, еще не может быть сделана за отсутствием достаточных эксплоатационных характеристик. Попытка, не особенно удач-

[1] Лаборатория газификации Всесоюзного теплотехнического института им. Ф. Дзержинского ставит в 1932 г. опытную проверку железо-содового способа (три абсорбера с 1 — 3% раствором соды, имеющим 1 — 2 *г* гидрата окиси железа на 1 *л*; диаметром 1 100 *мм*, высотой 8 *м*, регенератор диаметром 500 *мм*, высотой 12 *м*; сера получается тонко размельченная, что ценно для сельского хозяйства).

Кроме того, на той же установке ВТИ намечено в 1933/34 г. проведение опытной проверки метода сероулавливания с помощью мышьяковых соединений (аналогично методу Тейлокс), разработанного Уральским Научно-исследовательским химическим институтом (см. К. К. Шабалин и Э. М. Михельсон, Регенерация очистных щелоков коксового газа, «Журнал химической промышленности» № 9, 1932). Украинский углехимический институт выполнил проект установки для Московского газового завода и ведет проектирование для многих заводов. См. М. В. Гофтман и С. Г. Аронов, Регенерация серы при коксовании угля, «Химия твердого топлива», VI, 1930, стр. 17.

[2] «Gas Journal», 1 1932, так же «Chem. Trade Journal» о применении ди- и триэтаноламина для очистки природных газов компанией Girdler, Louisville, Kentucky № 89, 1931, стр. 222. Ред.

[3] A. M. Beebee, «Amer. Gas. Assoc.» № 4, 1930. Ред.

ная, экономической оценки нескольких методов была сделана Ставоринусом [1], получившим в результате подсчетов следующие данные для стоимости очистки 1 000 $м^3$: по способу Феррокс (Ferrox) [2] (газ содержит 9,28 $г/м^3$ H_2S, 0,93 $г/м^3$ HCN) 69,2 цента.

По способу Тейлокс (Thylox) [3]

(газ содержит 6,96 $г/м^3$ H_2S и 0,46 $г/м^3$ HCN) . 81,25 цент.

По способу Gluud-Schonfelder

(газ содержит 7 — 8 *г* H_2S) . . . . . 91,8 »

По сухому способу болотная руда . . . . . 7,3 »

По данным Пти цифры Ставоринуса в значительной мере случайны: так, стоимость сухой очистки в средних условиях не ниже 30,9 цента за 1 000 $м^3$, по К. Ферберсу [4] даже 2 марок за 1 000 $м^3$.

Учитывая другую сторону вопроса, а именно, приходную, можно считать, что выхода серы при мокрой очистке покрывают расходы по процессу уже при содержании 7 — 8 *г* H_2S в 1 $м^3$ (германские условия) [5].

5. Дегидратация газа

В заключение необходимо упомянуть о специальных методах обезвоживания газа, имеющих в настоящее время выдающееся значение и для промышленных газов в условиях их транспортирования (предотвращение ледяных пробок).

Для этого применяются три основных метода:

а) компрессия газа, при которой вода переходит в легко удаляемую жидкость;

б) абсорбция воды химическим путем;

в) охлаждение газа.

[1] D. Stavorinus, «Het. Gas. Amsterdam» № 17, 1929. Ред.

[2] Патентованный способ (в основе железо-содовый) Rochester gas and Electric Corp. Ред.

[3] Патентованный способ американской компании Копперса, см. I. H. Steinkampf, «Het Gas» № 5, 1929.

По Муллерту стоимость очистки по Тейлоксу не выше 1,17 марки 1 000 за 1$м^3$. Ред.

[4] Ferbers, «G. W. F.» № 47, 1928. Для Феррокса он дает стоимость лишь в 4,47 марки 1 000 за 1 $м^3$ (для Вальденбургской установки). По Глууду — стоимость очистки по Тейлоксу — 1,30 марки, по способу Глууда - Шенфельда — 0,36 марок, с утилизацией серы — даже 0,66 марок. См. у Муллерта и Нусинова. Ред.

[5] См. также G. Lorenzen, Entschwefelung von Gasen und Nutzbarmachung des Schwefels, «D. f. angew. Ch.», стр. 768, 1929 W. Gluhd, W. Klempt und F. Brodkorb, Die Entschwefelung von ammonianfreiem und ammonian haltigem Gas nach dem, Verfahrem der Gesellschaft f. Kohlentechnik, «Br. Ch.» № 2, 1930; A. Thau, Wet. Purification for the Removal of Sulphur from Gas, «Gas World.», 13/II 1932, № 2480; A. Thau, Das Petit-Verfahren zu Schwefelreinigung des Gases, «G. W. F.» № 20, 1930, Терберг, Мокрая газоочистка, «Металлург» № 1, 1930; K. Peters und K. Weil, Zur Kenntnis des Gastrennung durch Adsorption an Kohle, «Z. f. angew. Chemie» № 26, 1930; Муллерт, Сера в угле, перевод под редакцией Н. М. Караваева, 1932; Г. О. Нусинов, Очистка технических газов от серы, под редакцией Б. С. Швецова. 1933. Ред.

Первый метод весьма прост, одновременно удаляет из газа и воду и нафталин (также весьма опасный в отношении засорений газопроводов); однако этот метод дорог и, кроме того, удаляет из газа часть полезных легких масел (снижает калорийность).

Второй способ наиболее дешев, но при нем необходим отдельный скруббер для нафталина; обычные реагенты — хлористый кальций или роданистый натрий (побочный продукт мокрой очистки), также глицерин.

Третий способ имеет несколько серьезных недостатков: требует значительных капитальных затрат, специального персонала, предварительной очистки от нафталина[1]. Сравнительно удачным примером последнего метода может служить способ циркуляционного охлаждения (с применением аммиака), предложенный Цимпелем [2] (Zimpell). Метод полной очистки газа применением глубокого охлаждения является очень важным для случаев химического использования газа или его отдельных ингредиентов. С промышленной схемой такого способа можно ознакомиться, например, на работе Ленце [3] (Dr. Lenze) (установка завода Тиссен, Дуисбург) *.

[1] W. Doll, Gas Journal, № 3506, 1930, стр. 258, E. W. Smith, «Gas Journal» № 3499, 1930, стр. 738; C. Cooper, Experiences with gas-degydration in great Britain, «Gas Journal» № 3465, 1929. Ред.

[2] K. Zimpell, «G. W. F.» № 6, 1930, стр. 134; также Г. Кеммер, «G. W. F.», № 15, 1932. Ред.

[3] Dr. Lenze, «G. W. F.» № 51, 1931, стр. 169; также журналы: «Кокс и химия» № 4, 1932, «Химстрой», № 4, 1931, № 2 и № 4, 1932 (ст. инж. П. А. Самкина о работах Харьк. углехим. инст. и Гос. инст. высок. давлений в 1931 и 1932 гг.). Ред.

VII. Эксплоатация газогенераторных установок

1. Производственные факторы

Ведение процесса обычно должно считаться с существующими устройствами. В предыдущих разделах были детально изложены основания для оценки и выбора как самого процесса, так и соответствующих конструкций и общего расположения установки; однако, эта оценка может основываться только на данных опыта и поэтому никто не будет строить установки без привлечения имеющих надлежащий опыт специалистов и без использования полученных ими в практической работе знаний. Условия ведения процесса очень различны не только для различных топлив, нагрузок и конструкций, но и в первую очередь для различных назначений газа, так как газовая станция всегда рассматривается лишь как вспомогательная установка, работающая для нагревательных целей, силовых целей или для химических процессов. Приспособление соответствующих установок к задачам производства является необходимым, но в этом отношении трудно было бы дать какие-либо общие указания[1]. Как правило, при газификации для целей нагрева основным вопросом является температура пламени, о чем выше (стр. 288) были уже приведены детальные соображения. В связи с этим и находится требование возможно полного сохранения максимального количества собственного тепла газа или, напротив, получения возможно более чистого газа; первое требование является, по существу, прямым условием высокой температуры пламени и оно может быть удовлетворено простым осуществлением соответствующих предварительных мероприятий по всей установке. Требование возможно большей чистоты газа находится в меньшей связи с характером обогреваемого агрегата, так как только в редких случаях состав газа может обусловить какое-либо загрязнение нагреваемого материала. В большинстве случаев газ загрязняется горючими, почему они и не могут оказать какого-либо заметного действия на процесс. Однако загрязнения газа (смола, вода и пыль) очень неприятны в производственном отношении, так как они затрудняют регулирование печи, делают необходимой частую очистку; при этом особенно неприятные загрязнения, связанные с выделением смолы. К сожалению, чаще всего газогенератор помещается в каком-либо укромном уголке цеха, причем ему уделяется исключительно мало внимания[2].

[1] Американские правила эксплоатации см. в изд. «A. S. M. E. Text-code for gas producer», 1925. Ред.

[2] В СССР это еще более верно, чем в Германии. У нас до последнего времени даже отсутствовали вообще инструкции по обслуживанию газогенераторов. Только в 1931 г. Украинский институт промышленной энергетики выпустил «Інструкцію про обслуговування газогенераторів змішанного газу». Ред.

В последние годы осознание важности рационального ведения теплового хозяйства значительно улучшило положение, однако, существует еще очень много установок старого типа, неправильно расположенных и поэтому едва ли могущих эксплоатироваться сколько-нибудь удовлетворительно. В этом отношении газосиловые установки находятся обычно в лучших условиях, так как, с одной стороны, здесь всегда имеется очистка газа, и с другой стороны, газовые машины весьма чувствительны как к плохому — слабому газу, так и к недостаточно очищенному, почему контроль работы машины ведет к непрерывному контролю работы газогенератора.

Кроме того, силовая установка может быть гораздо проще охарактеризована в теплотехническом отношении, так как учет получаемой энергии и расходуемого топлива делают возможным непосредственный количественный контроль газового производства и позволяют таким образом обнаружить какие-либо неполадки в процессе. При нагревательных устройствах дело обстоит несколько иначе, так как температура пламени зависит не только от самой печи, но и от многочисленных посторонних влияний, кроме газа, так что здесь вопрос заключается не только в том, чтобы получить из данного топлива хороший газ и в большом количестве. Часто бывает, что установка с плохим к. п. д., например, при горячем газе, но с плохо выгоревшей золой, работает лучше, чем другая, у которой газификационная часть, рассматриваемая в отдельности, работает достаточно правильно и не должна бы поэтому показать более высокий расход топлива. Еще сложнее оказываются условия работы при химическом использовании газа, так как в этих случаях вопросы о размерах к. п. д. или о качестве газа и т. п. значительно отступают перед специальными требованиями к газу, являющимися в данном случае решающими.

По всем этим причинам ведение процесса вовсе не является таким легким, как это часто кажется со стороны; приведенные в разделах 2 и 3 соображения могут дать представление об этом. Если все же часто приходится встречаться с попытками усложнить работу специальными заданиями, которые иногда и вообще не разрешимы, или же требуют совершенно других методов, то, конечно, ведение процесса делается еще более трудным, чем оно могло бы быть на самом деле. Поэтому всякие частные задачи надлежит исключать, пока не будет абсолютно выявлен ход главного процесса, и вообще они могут быть допущены только в том случае, если имеется полная возможность установить удовлетворительный материальный и тепловой баланс процесса, и если контроль процесса показывает, в каком направлении и в какой мере могут быть осуществлены поставленные специальной задачей мероприятия. Только тогда мы можем легко установить границы, в которых возможно закономерное изменение всего процесса; дальнейшее постепенное изменение процесса должно привести к правильно поставленной цели и в конце концов с соблюдением потребных химических и механических условий можно найти соответствующий специальный режим и сделать его стойким.

Так как здесь мы уже видим необходимость в составлении теплового и материального балансов, то химическим исследованиям, конечно, должно быть отведено довольно значительное место; без материального баланса составление теплового, конечно, невозможно. В связи с этим

даже простейший производственный контроль не может быть выполнен без учета химических факторов, причем обычно это должен выполнять сам контролирующий орган. О методах соответствующих химических исследований будет сказано в следующем разделе, здесь же мы сначала рассмотрим методы тех замеров, которые должны проводиться на месте.

Чтобы установить, какие факторы являются наиболее существенными и учет каких факторов совершенно необходим, мы вкратце повторим процесс превращения топлива при газификации. Быстро возрастающий подогрев топлива сначала удаляет его влажность, затем начинается сухая перегонка, остаток превращается в более глубоких зонах в газы, частью — горючие, частью — негорючие, и в виде окончательного остатка получается зола, которая содержит еще незначительные количества топлива. Для предотвращения образования шлака подводимый для газификации воздух обычно смешивается с паром, который, впрочем, разлагается не полностью, переходя в некоторой части в газ. В зависимости от количества добавляемого пара и влажности самого топлива, а также в зависимости от характера процесса — температура отводимого газа значительно колеблется; газ содержит в виде примесей пыль из топливного слоя, смолу в результате дестилляции топлива и влажность. Весьма существенны для оценки процесса возможные потери; кроме уже упомянутых в пыли газа и в горючем золы эти потери заключаются в утечках самого газа (при шуровании, при загрузке и т. п.), в подводимом паре (вследствие его конденсации), в подводимом воздухе (через неплотности) и прежде всего в теряемом тепле (путем излучения и теплопроводности) как самим газогенератором, так и получающимся газом. Особенное значение имеет содержание в газе влажности, так как в теплотехническом отношении вода, содержащаяся в газе в виде пара, вовсе не представляет какой-либо потери, но в отношении применения газа она, конечно, является потерей, так как при газификации продуктом является не водяной пар, а горючий газ.

Поэтому мы должны замерять:

1. Топливо — количество, состав.
2. Газ — количество, состав, температуру, давление.
3. Золу — количество, состав.
4. Добавляемый пар — количество, или количество полученного пара, если он без особенных потерь вступает в реакцию; — давление, потеря в виде конденсата.
5. Дутье воздушное — количество, давление.
6. Содержание пыли, смолы и влажности в газе и соответственно состав пыли и смолы.

Весьма трудно или вовсе не могут быть установлены:

7. Потери газа.
8. Потери тепла лучеиспусканием и теплопроводностью[1].

Эти последние представляют в тепловом балансе так называемый остаточный член. Однако желательно сделать попытку предварительно определить примерную их величину, так как это не только позволяет проверить их относительное значение, но и дает возможность контроля

[1] См. также инж. Я. Гольдблат, Газогенераторный процесс и методы его контроля, «Гипромез» № 11, 1931. Ред.

всего теплового баланса. Потери газа обычно незначительны, кроме того, они могут быть сравнительно легко устранены или снижены. Они имеют место в первую очередь при шуровании и при загрузке. Количественно они кажутся значительными, но если принять во внимание, что 1 *кг* угля дает более 3 $м^3$ газа, то можно легко представить себе их истинную относительную величину; гораздо существеннее ухудшение условий работы обслуживающего персонала, а иногда даже и рабочих прилегающих цехов вследствие выпуска газа, тем более, что содержащиеся в газе пары смолы обладают очень неприятным запахом, особенно сильно пристающим к одежде и т. п., прежде же всего — опасна ядовитость самой важной составной части газа — CO. Эта последняя часть уже при шуровке вызывает длительную неработоспособность обслуживания, что между прочим является одной из причин обычного предпочтения для установок открытых площадок, имеющих только навесы; правильным содержанием всех устройств и выбором соответствующей их конструкции обычно можно свести этот неприятный момент к вполне допустимым размерам. Лучше всего применять в тех случаях, когда нельзя избежать частой шуровки, паровые завесы для шуровочных отверстий (стр. 248).; при загрузочных воронках устраняют опасность путем зажигания газа при открывании верхней крышки или же также при помощи парового дутья и т. п. (стр. 248).

Общая потеря газа редко превосходит 0,5%, причем нижнюю границу установить затруднительно. Потери через излучение тепла газогенератором зависят от размеров его поверхности и нагрузки. Температуры в зоне горения обычно довольно одинаковы для различных случаев, но высота зоны колеблется в зависимости от нагрузки. Однако обычно соответствующие поверхности относительно малы по сравнению с поверхностью газового пространства, не говоря уже о том, что вследствие более низких температур прследнего обычно не придают большого значения тепловой его изоляции. Поэтому температура газа для величины этих потерь является решающим фактором. Эти потери, впрочем, редко превосходят 5% и только в неблагоприятных случаях могут достичь 7 — 8%. Если они делаются выше, то нормальная работа обычно уже невозможна, так как это может иметь место, например, в том случае, если газогенератор обмурован без верхних сводов, причем покровная плита, загрузочная воронка и т. п. делаются настолько горячими, что правильная регулировка процесса затрудняется, наступают столь частые неполадки, что уже из-за стоимости ремонта необходимо произвести конструктивное изменение. Нижняя граница этих потерь лежит примерно около 2%, более низкие потери едва ли могут быть длительно получены при нормальной нагрузке, если только не использовать излучаемого тепла на другие цели (как, например, это имеет место в котлогазерах, при наличии охлаждающей рубашки и т. д.).

Из названных ранее факторов вопрос о расходе дутья или его давлении представляется несущественным, так как подача дутья требует сравнительно небольшой затраты энергии, а сам воздух перед его входом в газогенератор не является ценностью. Поэтому потери с дутьевым воздухом принимают во внимание только в тех случаях, если к нему уже примешан пар, так как в этом случае потери дутья будут также и потерями пара. Замер количества подводимого воздуха, однако, нельзя

на основании этих соображений исключить из контрольных операций, так как простота замера этим путем дает безупречное и весьма легкое применимое средство контроля количества получаемых газа и пара. Если определять температуру дутья под решеткой, следовательно, после насыщения его паром, то по этой температуре, весьма приближающейся к точке росы, зная количество подведенного воздуха, легко можно определить количество и добавленного пара. С другой стороны, содержание азота в газе в соединении с количеством подводимого воздуха позволяет определить выход газа путем вычисления. Измерение давления газа и дутья не является необходимым для составления теплового и материального балансов. Но эти замеры показывают состояние топливного слоя, позволяя при непрерывном их контроле фиксировать все изменения в условиях работы этого слоя; это дает возможность совместно с некоторыми другими определениями своевременно обнаружить и устранить нежелательные явления в слое, как, например, зашлакования, образование пустот или воронок в шихте. В соответствии с изложенным подлежат замеру на месте:

1. Температура дутья под решеткой.
2. Температура газа в выпускном штуцере.
3. Давление дутья в магистрали.
4. Давление дутья под решеткой.
5. Давление газа в выпускном штуцере.
6. Давление пара за регулировочным вентилем.
7. Высота слоя в газогенераторе (расстояние от верхней плиты).
8. Высота зоны горения и зольного слоя в газогенераторе [1].

Эти замеры лучше всего производить каждый час или два часа и заносить на специальную доску на рабочей площадке газогенератора. Тогда контролирующие органы имеют возможность всегда немедленно убедиться в том, что обслуживание ведется без дефектов. На том же месте отмечаются загрузки и, кроме того, в случае надобности:

9. Температура охлаждающей воды при входе и выходе.
10. Давление пара, полученного в парообразователе.
11. Полученное количество пара.
12. Количество охлаждающей воды.

Эти отсчеты сопоставляются для всех газогенераторов и дополняются соответствующими определениями CO_2, производимыми контрольным органом, или же отсчетами CO_2 по газоанализатору; все это вместе дает наглядную картину хода процесса и всех встречающихся неполадок или изменений в производственных условиях. Для занесения данных применяют специальный производственный журнал по форме, приведенной на табл. 64.

В отношении выполнения отдельных замеров нужно заметить следующее: во всех случаях имеет большое значение правильный выбор места замера. Необходимо избегать мертвых пространств, так как они, конечно, дадут ошибочные результаты. Поэтому нужно особенно рекомендовать достаточно длинные или соответственно достаточно глубоко погру-

[1] Обычно производится опусканием шуровочной штанги на несколько минут: вишневокрасный конец ее даст высоту зольного слоя и желто-красная часть — высоту огневой зоны; далее — темнокрасный накал уже относится к топливному слою. Р е д.

жаемые конструкции приборов. Далее, нужно в условиях тесного размещения генераторов и их вспомогательных устройств всегда помнить о необходимости оставлять место для производства замеров.

а) Измерение температур [1]

Обычно ртутные термометры могут применяться до 250° Ц, так как ртуть в безвоздушном пространстве начинает кипеть около 280° Ц. Для более высоких температур применяют азотонаполненные термометры, дающие возможность измерять температуру до 750° Ц, причем они должны быть сделаны из кварцевого стекла, вместо применяющегося в ртутных термометрах иенского нормального стекла (с тонкими красными продольными линиями в стекле). В обыкновенных термометрах необходимо обращать внимание на хороший вакуум, который характеризуется легким спуском ртути в капилляре при перевертывании термометра до самой его вершины, а также легким возвращением ее обратно, без какого-либо разрыва ртутного столба. При отсчете ртутный столб должен по возможности невысоко подниматься из измеряемого пространства, чтобы его охлаждение не сказалось на результате; металлические гильзы также обычно являются причиной слишком низких отсчетов, почему их и рекомендуется применять лишь для постоянно ставящихся термометров, но не в тех случаях, когда необходимы точные замеры, как, например, при опытах [2].

Для более удобных отсчетов в малодоступных местах оказался удобным тип р т у т н о-п р у ж и н н о г о термометра Шефер и Буденберг (Schäffer u. Buddenberg, Магдебург), имеющий погружаемую трубку, снабженную присоединяющимся к ней стальным, наполненным ртутью, капилляром произвольной длины, причем расширение его может быть передано часовому механизму; влияние температуры помещения может быть устранено при помощи второй капиллярной трубки. Измеряемый интервал до 350° Ц; аппарат может быть снабжен циферблатом (подобно манометру) или же записывающим механизмом, и очень удобен поэтому для замера температуры воздуха под решеткой, так как это место является обычно трудно доступным. Для измерения температуры газа едва ли можно рекомендовать для постоянного употребления термометры, так как температура иногда поднимается очень высоко и аппарат будет испорчен, хотя нормальные температуры и будут значительно ниже. Лишь для периодических замеров можно поэтому говорить здесь об азотонаполненных термометрах, поскольку это позволяет измеряемый интервал [3].

---

[1] Детали термометрической практики см. у В. Л. Т е м к и н а, Методы и приборы для измерения температур (термометрия) (Контроль работы котельных установок, ч. III), ГНТИ, 1931. Германские правила измерения высоких температур (Об-ва металлургов) см. в «Журн. русского металл. о-ва» № 3, 1926. Р е д.

[2] Степень точности показаний обычного ртутного термометра для технических целей колеблется от 2 до 4%. Рекомендуется ответственные термометры приобретать с градуировочным паспортом (проверенные по водородному термометру в СССР б. Главной палатой мер и весов, ныне Институтом метрологии и стандартизации). Р е д.

[3] Ртутно-пружинные термометры последних конструкций делают замеры до 500°. Р е д.

Таблица 64

Форма производственного журнала (при трех газогенераторах)

День	Время дня (час)	Наружный воздух: Температура	Наружный воздух: Барометрич. давления	Давление дутья в трубопроводе	Давление дутья под решеткой газогенератора: I	II	III	Давление газа в выпускном штуцере газогенератора: I	II	III
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Продолжение

Давление пара за вентилем газогенератора: I	II	III	Температура дутья под решеткой газогенератора: I	II	III	Температура газа в выпускном штуцере газогенератора: I	II	III	Высота наполнения (расстояние от верхней плиты газогенератора): I	II	III
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Продолжение

Высота горения: Высота зольного слоя газогенератора: I	II	III	Число загрузок: I	II	III	Содержание CO_2 в газе у газогенератора: I	II	III	Теплопроизводительность, *кал/м³*: I	II	III	Примечание
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Для измерения более высоких температур применяются п и р о м е т р ы. Кроме более старых графитовых пирометров, использующих для замера неравномерное тепловое расширение железа (погружаемая в среду трубка) и графита (прикрепленного на ее конце), могут применяться еще: пирометры, сопротивления, термоэлектрические и оптические пирометры. Г р а ф и т о в ы е п и р о м е т р ы имеют значительную инерцию, почему и применяются преимущественно только для постоянных замеров. Они легко портятся и требуют более частой проверки.

Поэтому их применяют лишь для грубых измерений, служащих указаниями для обслуживающего персонала, как, например, на газопроводах, на печах и т. п. Они дают показания до 1 000° Ц, причем измеряемая разность удлинений переносится на специальную градуированную шкалу (подобно тому, как это имеет место в манометрах). Вследствие хрупкости графита их нужно предохранять от грубых толчков. [1]

Пирометры сопротивления, основанные на измерении электропроводности заплавленной платиновой спирали под влиянием измерения температуры, и пользующие для замера принцип мостика Уитстона, могут применяться до 800 — 900°, но в газогенераторных и печных установках они редко употребляются, вследствие их чувствительности и зависимости от обслуживания и необходимости к тому же иметь для их питания постоянный источник тока, точно требуемой силы.

Весьма широко применяются для точных измерений термоэлектрические пирометры. Они основаны на измерении электрического напряжения, возникающего в двух сваренных концами проволоках из различных металлов, если один из противоположных концов элемента нагреть до более высокой температуры, чем другой. Обычно применяют следующие комбинации:

Медь-константан (сплав меди с никелем) . . .	до	500°
Железо-константан	»	700°
Никель-хромникель	»	1 100°
Платина-платинородий	»	1 600°

Последняя пара известна также под именем пирометра Ле-Шателье. Элементы должны быть защищены от химического и механического разрушения, для чего применяют защитные трубки, недоступные для газов (особенно чувствительными оказываются большинство металлов к газам, содержащим углерод). Свободные концы присоединяются к измерителю напряжения (гальванометру), который вместе со шкалой напряжения имеет соответствующую шкалу температур для непосредственных отсчетов. Термоэлектрические пирометры имеют очень малую инертность и очень точны; часто их применяют для длительного температурного контроля (как, например, для печей и газогенераторов), причем обычно присоединяют несколько элементов к одному гальванометру и снабжают его самописцами, так что попеременно можно записывать температуру 4 — 5 мест. Для различения получаемых записей применяют многоцветные записыватели. Наиболее известные и надежные приборы доставляют: Сименс и Гальске; Кайзер и Шмидт, Берлин; Браун и Ко, Берлин; Гартман и Браун, Франкфурт на Майне [2].

[1] Так как спаянные пластинки имеют большое остаточное расширение, то графитовые пирометры в самый короткий срок начинают давать весьма неточные показания (ошибки до 150° при замере в 600°). Ред.

[2] Для измерения поверхностных температур — температуры газера, кладки, газопровода и т. д., применяют поверхностный пирометр Сименса и Гальске (до 200°, железо-константан) или «тепломер Шмидта» (см. статью Н. Дюрнбаума и Б. Васильева, «Тепло и сила» № 5, 1929). Конструкцию «проточного» термоэлектрического пирометра для систематического контроля температуры газа в газопроводе и правила применения — см. у проф. И. М. Рафалович, Рационализация печей металлопромышленности, изд. 2-е, 1930 г., стр. 39. Ред.

Оптические пирометры имеют для газогенераторов меньшее значение, так как замер температур выше 1 000° едва ли может здесь потребоваться или же требуется лишь в таких условиях, которые делают необходимым применение термоэлектрического пирометра. Оптические инструменты, однако, очень удобны для контроля работы печей и соответствующих топочных устройств. Наиболее распространенными являются пирометры Ваннера (Dr. Hase, Ганновер); освещенное измеряемым раскаленным телом полуполе прибора приводится к равной яркости с другой половиной поля зрения, освещаемой маленькой лампой накаливания внутри трубки. Яркость первого поля изменяется путем вращения призмы и при необходимом для выравнивания поля зрения повороте по специальной шкале отсчитывают соответствующую температуру. Сходен с этим пирометр Гольборна и Курльбаума (Сименс и Гальске), в котором нить лампы накаливания помещается на фоне раскаленной поверхности и яркость лампы меняется при помощи реостата до тех пор, пока проволока не перестанет выделяться; тогда просчитывают температуру на шкале гальванометра. Новой конструкцией является пирометр излучения (Сименс и Гальске, или по Гиршзону в исполнении фирмы Браун и Ко, Берлин). Лучеиспускание измеряемого тела действует через комбинацию линз на сопротивление или на спай термоэлемента, а самое измерение производится при помощи мостика Уитстона или гальванометра подобным же образом, как у пирометра сопротивления или соответственно термоэлектрического пирометра [1].

б) Определение точки росы

Мы уже раньше упомянули об измерении температуры дутья, как вспомогательном факторе для определения количества подводимого пара. Само собой разумеется, что это возможно лишь в том случае, если подводимый воздух насыщен и точка росы совпадает с его собственной температурой. Часто в широких кругах техников мы встречаемся с отказом от определения точки росы и обычно сколько-нибудь удовлетворительный контроль над подводом пара отсутствует. Это весьма достойно сожаления, так как при равномерном и соответствующем потребности подводе пара можно достичь очень большой экономии в его расходе. Мне известны из моей собственной практики многочисленные заводы, получившие путем применения этого метода значительные результаты, так как оценка подводимого количества пара путем отсчета напряжения пара за редукционным вентилем, как это имело место ранее, или контроль положения самого вентиля — являются недостаточными. Обслуживающий персонал в большинстве случаев имеет наклонность работать с высоким подводом пара, так как это благоприятно в отношении устранения шлакообразования; но из фиг. 138 ясно видно, что разложение водяного пара при больших его количествах идет очень неудовлетворительно, причем это тем более заметно, чем меньше высота слоя; оставшийся же неразло-

[1] Значительно удобнее и проще фотометрический пирометр Фута и Фишера (Foot and Fischer, САСШ). Получили распространение также так называемые радиационные пирометры (учитывающие кроме световой также и тепловую радиацию) «Ардометр» (Сименс и Гальске), Ферри и др. По данным Г. Кейната максимальная точность пирометров Ваннера и Гольборн-Курльбаума около ± 10° Ц для замеров порядка 1 500°. Ред.

женным пар является потерей. Кроме того, многократное изменение подводимого количества пара не дает возможности обычно сделать правильную оценку работы аппарата и в этом отношении регистрирующий контроль подвода является также весьма рекомендуемым [1].

Выше уже было упомянуто (стр. 250), что отдельная подводка водяного пара под решетку не имеет никаких преимуществ. Единственный недостаток прежнего способа — подмешивания водяного пара к дутью — значительная конденсация, не представляет острого неудобства, так как конденсирующийся пар в виде облака может быть захвачен в рабочую зону. Если нет возможности получить перегретую паро-воздушную смесь, то вполне естественно подмешивание пара производить тотчас перед входом дутья в решеточное пространство, так как в ином случае в более далеко отстоящих трубопроводах возможны значительные охлаждения газа; в самом же дутьевом пространстве, имеющем почти постоянную температуру, конденсация даже без применения перегретого пара при нормальных условиях столь ничтожна, что не может играть сколько-нибудь решающей роли. Что увлекаемые облака конденсирующегося пара могут быть значительными, особенно при низких температурах воздуха, например зимой, показывают вычисления Радтке (Эссен). [2] Приведенные им цифры, по моему мнению, слишком высоки, так как теплосодержание подводимого пара после дросселирования не может быть взято как для насыщенного сухого пара при 100° и, кроме того, внешняя теплота испарения не соответствует табличным данным, так как налицо иные давления. Если поэтому взять за предельное содержание 80 *г* H_2O *м*³ воздуха (обычно редко можно превысить 100 *г*), то температура смеси (точка росы) будет 44°; если проводить насыщение наружного воздуха с $\rho = 0{,}5$ и теплосодержанием подводимого пара, отвечающим 6 *ат* давления, то оказывается, что конденсация или образование облака не имеют места, если начальная температура воздуха достигает 25°; если температура воздуха 10°, то облако образуется максимально на 9%. При содержании пара в 120 *г* и прочих равных условиях это образование составит только 5,5%; самая низкая температура воздуха, при которой образование облака не имеет места вообще, — 23°. Выводимое для 6 *ат* теплосодержание очень низко, так как обычно дросселируют с более высоких давлений. Отходящий пар в 2 *ат* может иметь по таблицам энтропии по меньшей мере столь же высокое теплосодержание, если он перед работой будет перегрет. Определение количества пара путем измерения температуры в общем в средних условиях может быть признано вполне подходящим методом, тем более, что при более значительных образованиях облака конденсата происходит простое осаждение воды в решеточном пространстве. Поэтому возможная ошибка едва ли превосходит 3 — 4%. При применении перегретого

[1] Регуляторы подвода пара являются в настоящее время весьма распространенными приборами; основа обычного регулятора — камера с мамбраной, присоединяемая к газовому штуцеру; при повышении давления газа упругая мембрана дает импульс поршневому золотнику, стопорящему подвод пара и снижающему образование газа и его давление до требуемого предела. Интересны автовапоризаторы системы Heurtey (Париж) и G. Vernon; см. также Griesing, Ueber Verwendung von Reglern im Gaswerksbetrieb, «G. W. F.» № 21, 1930. Ред.

[2] «St. u. E.», 1919, стр. 1080.

пара, конечно, наоборот, температура смеси будет выше точки росы но и при этом ошибка в средних условиях может быть только очень небольшой.

Но можно устранить и эти ошибки, если определять действительную температуру точки росы при помощи психрометра. Здесь может быть предложен лишь способ Аугуста — с двойным термометром; однако обычно применяемое расположение прибора делает работу с ним очень хлопотливой и длительной. Весьма пригодным должен быть предложенный В. Оствальдом [1], (W. Ostwald) аппарат, принятый к производству фирмой П. Клеес (P. Klees). Дюссельдорф.

Величины влажности могут быть взяты в соответствии с температурами по табл. 65, в которой последняя графа дает количество водяного пара, содержащегося в 1 *м*³ первоначального воздуха (начиная от 0°), чтобы, таким образом, по возможности облегчить выполнение расчета. В графе 2 приведены употребительные и известные значения влажности для сухого воздуха; в графе 3 — действительные объемы, получающиеся из 1 *м*³ воздуха при 0°, если он при данной температуре будет насыщен влажностью; из этой таблицы можно также определить частичные (парциальные) объемы воздуха и пара, если принять во внимание, что парциальный объем сухого воздуха при повышении температуры увеличивается по закону множителя $(1 + \alpha t)$. При этом мы получаем, обозначая через s давление водяного пара при температуре t, следующее выражение для объема пара:

$$\frac{760 - s}{760} : \frac{s}{760} = (1 + \alpha t) : V_n;$$

из 1 *м*³ первоначального воздуха получится объем $(1 + \alpha t) + V_n$, почему

$$V = (1 + \alpha t) + \frac{(1 + \alpha t) \cdot s \cdot 760}{760 \cdot (760 - s)} = (1 + \alpha t) \cdot \frac{760}{760 - s} = \frac{1 + \alpha t}{V_s},$$

где V_s означает процентный частичный объем воздуха. Следовательно, можно по V (в графе 3) и по соответствующему значению $1 + \alpha t$ без затруднения найти частичные объемы воздуха и пара.

Особенно имеет значение определение точки росы полученного газа, так как таким путем мы можем проконтролировать баланс водяного пара. Это определение значительно труднее, чем для воздуха, вследствие загрязнений газа. Кроме того, собственная температура газа только редко совпадает с точкой росы и поэтому определение можно выполнить только психрометрическим путем. В литературе описаны различные аппараты для этой цели, разработанные на отдельных заводах [2]. Для этого определения может быть рекомендован уже упомянутый аппарат Оствальда. Путем простого определения температуры можно получить данные лишь при полном насыщении газа. В процессе охлаждения газа это обычно имеет место, причем температура часто даже опускается

[1] «Chemiker-Zeit», 1922, стр. 92.

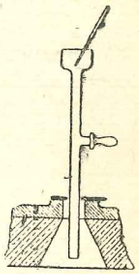
[2] Iohansen, «St. u. E.», 1912, стр. 1539; Leder, «F. T.» Jg. 2, H. 9.

Таблица 65

Содержание влаги в насыщенном воздухе (газе)

Температура насыщения $t°$ Ц	Содержание влаги в 1 $м^3$ сухого воздуха при $t°$, г	Объем, полученный при насыщении 1 $м^3$ воздуха (0° Ц), $м^3$	Содержание влаги в 1 $м^3$ воздуха (0° Ц) при насыщении его при $t°$, г	Температура насыщения, $t°$ Ц	Содержание влаги в 1 $м^3$ сухого воздуха при $t°$, г	Объем, получаемый при насыщении 1 $м^3$ воздуха (0° Ц), $м^3$	Содержание влаги в 1 $м^3$ воздуха (0° Ц) при насыщении его при $t°$, г
0	4,89	1,006	4,92	59	124,1	1,496	185,7
5	6,83	1,027	7,02	60	129,6	1,517	196,7
10	9,39	1,049	9,86	61	135,4	1,539	208,9
15	12,82	1,073	13,35	62	141,3	1,563	220,9
20	17,22	1,098	18,92	63	147,5	1,588	234,2
25	22,93	1,127	25,84	64	153,9	1,614	248,4
30	30,21	1,158	34,99	65	160,5	1,642	263,6
32	33,64	1,172	39,12	66	167,3	1,672	279,8
34	37,46	1,187	44,57	67	174,4	1,704	297,2
36	41,51	1,202	49,89	68	181,8	1,738	315,7
38	46,00	1,219	56,05	69	189,4	1,774	335,9
40	50,91	1,236	62,91	70	197,2	1,813	357,4
41	53,52	1,245	66,64	71	205,3	1,855	380,6
42	56,25	1,255	70,57	72	213,7	1,900	408,7
43	59,09	1,265	74,73	73	222,4	1,948	432,9
44	62,05	1,275	79,12	74	231,3	2,000	462,3
45	65,14	1,286	83,76	75	240,6	2,055	494,4
46	68,36	1,297	88,66	76	250,1	2,116	529,3
47	71,73	1,309	93,85	77	260,0	2,182	567,6
48	75,33	1,321	99,32	78	270,2	2,265	609,5
49	78,86	1,333	105,1	79	280,7	2,336	656,5
50	82,63	1,346	111,2	80	291,6	2,425	706,8
51	86,64	1,360	117,7	81	302,8	2,523	763,4
52	90,66	1,374	124,6	82	314,3	2,632	827,0
53	94,92	1,389	131,9	83	326,2	2,754	898,2
54	99,34	1,405	139,6	84	338,4	2,891	978,6
55	103,9	1,422	147,7	85	351,0	3,049	1070
56	108,7	1,439	156,4	86	364,0	3,227	1175
57	113,6	1,457	165,5	88	391,2	3,678	1439
58	118,8	1,476	175,8	90	420,0	4,342	1810

еще ниже и избыточный переохлажденный водяной пар образует как бы облако в газе (это повышает значение ударных смолоотделителей). Но нет никакой гарантии, что газ был действительно насыщенным, почему и представляется весьма важным определение влажности газа при выходе его из газогенератора. Если температура газа достаточно превышает точку росы, то удается при помощи одного искусственного приема определить точку росы с достаточной для производственного контроля точностью по методу, наблюдавшемуся автором неоднократно в Англии и Америке[1] и состоящего в том, что следят за изменениями температуры при ее измерении и устанавливают температуру, при которой вначале образовавшаяся на термометре роса исчезает. Нагревание должно при этом происходить медленно, почему для этого применяют специальную трубку в 35—50 *мм* диаметром с приваренной пластиной, вставленную в шуровочное отверстие; трубка имеет вверху расширение примерно до 70 *мм* и выбирается такой длины, что возвышается над верхней плитой около 1 *м*; при этом косо поставленный термометр (фиг. 144) находится в удобном для наблюдения положении и, с другой стороны, газ в точке замера не будет слишком горячим. Шарик термометра затуманивается тотчас по его внесении и этот туман исчезает, как только достигается точка росы. Конечно, при этом неизбежны ошибки отсчета в 2—3°, все же таким путем часто могут быть обнаружены некоторые недостатки в работе генератора, как, например, при холодном ходе — воронки в слое, через которые проходит вместе с воздухом неразложившийся пар, дефекты в охлаждаемых частях генератора (охлаждающая рубашка, охлаждающее кольцо и т. п.) или слишком низкая температура вообще в газогенераторе, вызванная слишком обильным подводом пара.



Фиг. 144. Измерение точки росы газа.

Влажность насыщенного газа меняется довольно сходно с влажностью насыщенного воздуха по табл. 65, почему последняя и может без изменения применяться и в этом случае.

в) Измерение давления

Так как измерение давления при газогенераторном процессе служит обычно лишь для целей контроля, то здесь вполне достаточны простые U-образные трубки, которые даже в случае неочищенного газа легко могут быть очищены от загрязнений. Вводимый в газопровод кусок трубы должен быть так согнут, чтобы он был направлен против течения газа; при этом замеряется общее давление (статическое плюс динамическое давление струи), что является более надежным и правильным. Для замеров только статического давления, где это необходимо, измерительная трубка должна быть вставлена заподлицо со стенкой трубопровода, чтобы исключить влияние давления струи; отклонение измерительной трубки в направлении движения дает очень несходящиеся значения. Для наполнения измерительной трубки применяют воду. Более точное измерение давления необходимо в тех случаях, когда дело идет о замерах количества газа, почему соответствующие приборы рассмотрены в соответствующем разделе.

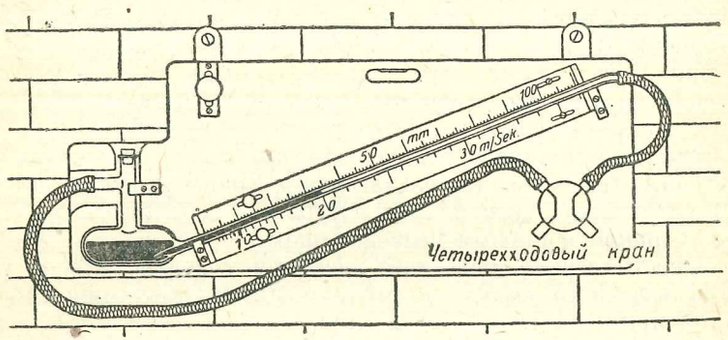
г) Измерение количества газа[2]

При больших количествах газа замер их никогда не производится непосредственно (газовые часы и ротариметр применяются только для га-

[1] Trenkler, «F. T.», Jg. 2, H. 7.

[2] Измерение удельного веса газа производится обычно методом Бунзена-Шиллинга (по скорости вытекания газа по сравнению с воздухом) или же непосредственным взвешиванием определенного объема газа (см. «Определение веса 1 $м^3$ газа» — инструкция IV Всесоюзного теплотехнического съезда, «Изв. Теплотехнического ин-та» № 3/36, 1928. Ред.

зовых анализов), или путем прямого определения скорости газа (анемометр и т. п.); для этой цели применяется исключительно определение давления струи (динамического давления). Это давление обычно определяется из разности, причем для этого применяются приборы, состоящие из простой U-образной трубки с двумя отростками, к одному колену которой подводят давление, воспринимаемое ранее описанной трубкой, расположенной против течения газа, а к другому концу — от трубки, вставленной заподлицо с внутренней поверхностью газопровода. Так как в первом случае замеряется сумма статического давления и давления струи, а во втором случае — только статическое давление, то показание U-образной трубки соответствует давлению струи. Но так как здесь мы имеем дело



Фиг. 145. Микроманометр Крелля.

со сравнительно малыми величинами, то необходимо применить приборы, дающие возможность весьма точного отсчета подобно тому, как это производится тягомерами печных установок. Наиболее распространенными являются микроманометры Крелля (Г. Шульце, Шарлоттенбург, Фюсс-Штеглиц), или же Берловица (Розенмюллер, Дрезден). Первый из них представлен на фиг. 145; способ его работы ясен без дальнейших объяснений. Давление отсчитывается по наклонной трубке, причем или по увеличенной в размерах миллиметровой шкале, или же, если аппарат сделан для определенных условий, — непосредственно в метро-секундах [1]. Здесь также обычно применяется в качестве наполняющего вещества вода. Но во многих случаях предусматриваются и другие наполнители, в особенности, если измерения должны производиться в различных условиях (при этом, если, например, удельный вес газа является постоянным и наполнителем взят алкоголь с уд. вес. 0,8, то при переходе на воду мы можем получить истинные давления струи путем умножения на 1,25; в этих случаях при расчете количества газа необходимо принимать во внимание его действительный удельный вес.

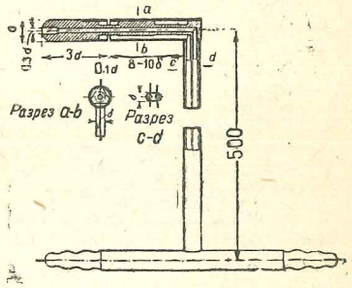
В качестве измерительных устройств, вводимых в самые трубопроводы, применяют вместо простых заборных трубок дающие более точные

[1] Микроманометр системы ЦАГИ (1931 г.) вполне заменяет прибор Фюсса и даже превосходит его в некоторых отношениях (отсутствие проникания воздуха в измерительную трубку, в два раза меньшее количество деталей, простота изготовления). Р е д.

результаты диафрагмы, подпорные измерительные трубки, подпорные кольца или фланцы и сопла (двойные сопла).

Д и а ф р а г м ы представляют собою пластинки около 20 *мм* диаметром и 3 *мм* толщины; давление измеряется перед диафрагмой и за ней. Впервые они были предложены Рекнагелем (Recknagel) и имели специальную поправку — коэфициент 1,37. Но исследования Ритчеля (Rietschel) показали недопустимость применения этого коэфициента, поскольку он в сильнейшей степени зависит от условий движения струи (вихревых и волнообразных движений).

Диафрагмы должны совершенно точно ставиться перпендикулярно к оси струи. При замере количества газа, однако, даже легкие загрязнения оказались весьма вредными, так что применение диафрагм было совершенно оставлено [1].



Фиг. 146. Измерительная трубка Прандтля.

Наиболее распространены п о д п о р н ы е т р у б к и, возникшие из старой конструкции трубки Пито (Pitot), в исполнении Прандтля (Prandtl), Браббе (Brabbée) и Розенмюллера (Rosenmüller), из коих первая приведена на фиг. 146. Закругленный конец с отверстием должен быть поставлен против направления газа; по исследованиям Крумбруха [2] (Krumbruch) небольшое отклонение или поворот трубки не имеют существенного влияния, что делает подпорные трубки наиболее ценными измерительными приборами; неблагоприятно только действует на них загрязнение при неочищенном газе, но оно может быть немедленно обнаружено и устранено. Кроме того, при неочищенном газе редко ставятся длительные замеры. Новейшие формы измерительных трубок имеют поправочный коэфициент 1, следовательно, дают величину динамического давления при прямом отсчете по шкале микроманометра [3].

При измерении необходимо принимать во внимание также влияние распределения скоростей газа по сечению трубопровода [4], которое можно

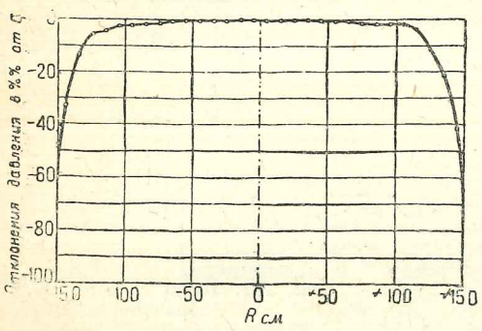
[1] Нужно отметить, что все же диафрагмы нашли применение в газотехнике, даже для замера и более ценных газов (водяного, коксового — Баргод, Англия). Вычисление ведется по формуле: $V_{час} = 3\,600 \cdot K \cdot \sqrt{\frac{2gp}{\gamma}}$, где g — ускорение силы тяжести, p — перепад давления, γ — вес 1 $м^3$ газа, K — постоянная, зависящая от диаметра диафрагмы (коэфициент сжатия); см. F. Plenz, «G. W. F.», 1926, стр. 211, также С. Ф. Ф р о л о в, Газогенераторы и газификация топлива, 1927, стр. 111. Правила замера газа диафрагмами см. в «Изв. Теплот. ин-та» № 8/41, 1928 г.; см. также: P. R h e i n l ä n d e r, «St. u. E.» № 96, 1929; L. Z i p p e r e r, Messung grosser Gasmengen, «G. W. F.» № 17, 1930. Я. М. Р у б и н ш т е й н. Нормы (правила) измерения расхода жидкостей, газов и пара при по ощи дроссельных приборов, Энергоиздат, 1933 г. Р е д.

[2] «Forschungsarbeiten», H. 240.

[3] «Временная инструкция по замеру газа трубками Браббе и Прандтля», утвержденная IV Всесоюзным теплотехническим съездом, «Изв. Теплотехнического ин-та» № 8/41, 1928. Р е д.

[4] «Инструкция по определению средней по сечению газопровода скорости» утвержденная IV Всесоюзным теплотехническим съездом, «Изв. Теплотехнического ин-та» № 8/41, 1928. Р е д.

получить, проведя замер вдоль одного, а лучше двух взаимноперпендикулярных диаметров трубы. Результат такого замера в горизонтальном сечении трубопровода в 300 *мм* диаметром представлен на фиг. 147. Значительное влияние на понижение скорости у стенок трубы оказывают загрязнения стенок и отложения, на них образующиеся. Среднюю скорость нельзя получить, вводя простое среднее из замеров (например, путем планиметрирования площади, занимаемой кривой на фиг. 147), так как количества газа, протекающие через различные кольца сечения, пропорциональны квадратам их радиусов. Поэтому целесообразно нанести найденные значения скоростей на специальную кривую, абсциссы которой выбираются пропорциональными удалению загрязняемого участка от оси трубы, после чего планиметрируют [1]. Средняя скорость ниже осевой (аксиальной) примерно на 8—15%, причем для больших диаметров меньше, чем для малых. В среднем можно считать понижение около 12%, если почему-либо нельзя произвести точного замера распределения скоростей.



Фиг. 147. Распределение скоростей в трубопроводе.

Измерительные кольца и фланцы устанавливаются в трубопроводах для постоянного контроля и обусловливают вследствие уменьшения полезного сечения некоторое местное повышение скорости газа. Их поправочные коэфициенты, в особенности для крупных диаметров, не особенно надежны [2] и должны устанавливаться специальным рядом опытных замеров, что на практике обычно невозможно. Кроме того, они фактически создают некоторую потерю давления и легко загрязняются, почему едва ли найдут себе более широкое применение.

Большего внимания, чем измерительные фланцы, заслуживают измерительные сопла, так как их форма может быть так выбрана, чтобы поправочный коэфициент был равен 1; потеря давления в них, правда, обычно также значительна, так как в нормальных соплах отношение диаметра сопла к диаметру трубы обычно выбирают равным 0,4. Однако эти приборы менее чувствительны и поэтому более удобны для периодических замеров, причем помещаются в специальные отводы или частичные отсеки трубопроводов. Это особенно удобно для неочищенных газов, так как после выключения сопла его можно в этом случае легко очистить, что очень важно для получения правильных данных, как показывает практика. При замерах в части сечения трубопровода нужно иметь в виду, что для правильного соотношения замеряемых величин потери давления должны быть выравнены путем постановки в главном газопроводе регулятора или проще шибера, что дает возможность получить одинаковое давление в обоих потоках газа при их встрече за измерительным соплом. При сильном колебании проходящего количества газа замеры частичного сечения не могут быть рекомендованы или же должны сопровождаться применением автоматического регулятора давления. Обычно этого избегают при помощи пуска газа в обвод на время замера. При этом надлежит иметь в виду, что все упомянутые способы определения количества газа требуют большой внимательности обслуживающего персонала и для длительных измерений требуют непрерывного контроля. Для последнего, несомненно, является наиболее подходящей подпорная трубка.

[1] См. об этом и вообще о замерах количества газа, руководство Litinsky, Messung grosser Gasmengen, Leipzig, Spamer, 1922.

[2] Brandis, Exakte Messung der durch eine Leitung strömenden Gasmengen mittels Staurand, Berlin, Krajn.

Если динамическое давление определялось при помощи сопла, то при поправочном коэфициенте $\mu = 1$.

$$V = f_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma}(p_1 - p)} \text{ в } м^3/сек.$$

где f_0 — сечение сопла в $м^2$,
m — отношение диаметров сопла и трубы,
γ — удельный вес рабочего топлива в $кг/м^3$,
p_1 и p — давление перед и позади сопла.

Конструктивные формы нормальных сопел и их размеры можно найти у Литинского [1] или в «Правилах испытаний вентиляторов и компрессоров» [2]. Поправочные коэфициенты фактически оказываются неравными и колеблются даже для нормальных конусов от 0,95 до 0,97 [3], так что преимущества измерительных конусов нужно признать не существенными [4].

Обычно измерение проходящего количества газа сопровождается пневматической его записью. Аппараты снабжают для этого специальным поплавком, находящимся одновременно с обеих сторон под давлением газа из двух противоположных концов измерительного сопла, так что поплавок под влиянием меняющегося динамического давления газа то опускается, то поднимается. Соединенный с поплавком записыватель регистрирует на вращающемся барабане или давления или же, если аппарат отрегулирован и установлен для постоянного обслуживания одного и того же газопровода, непосредственно количества газа. Наиболее известными конструкциями являются гидроаппараты (Hydroapparate — Bauanstalt, Дюссельдорф) деброаппарат (P. de Bruyn, Дюссельдорф), аппараты Р. Фюсса (R. Fuess, Штеглиц), Шульце (Schultze, Шарлоттен-

[1] «L. c.» 170/171.

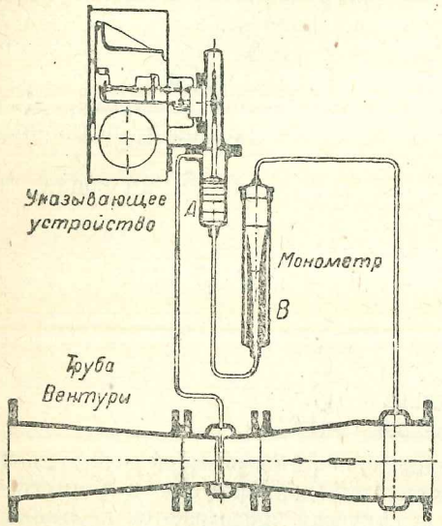
[2] «V. d. I.», 1912 (см. также Ломшаков, Испытание паровых котлов. Ред.).

[3] Wenzel und Schwartz, «Z. d. V. d. I.», 1922, стр. 133.

[4] Последние германские правила для замера газа нормальными соплами и диафрагмами, разработанные «V. d. I.», получили детальную оценку со стороны Бунте (K. Bunte und L. Zipperer, Die V. D. I. Regeln für die Durchflüssmessung mitgenormten Düsen und Blenden, «G. W. F.» № 11, 1931.

Инструкции по замеру газов диафрагмами и подпорными трубками, принятые всесоюзными теплотехническими съездами, см. «Изв. Техплотехнического ин-та» № 8/41, 1928, также С. Н. Александров, Измерение больших количеств газа, Журн. «Русск. металл. об-ва» № 11, 1926. Ред.

бург) и др [1]. Чтобы сберечь время на подсчет объемных диаграмм, строят также аппараты со счетчиками. Для измерения воздуха обычно применяют двойное параболическое сопло — трубку Вентури, — которая может быть использована также для замера воды и пара. В этом случае также может применяться приведенная выше формула, но получаемое значение надлежит умножить на некоторую постоянную, зависящую от m и γ [2].



Фиг. 148. Паромер Вентури.

Конструкция двойного сопла для случая паромера Вентури представлена на фиг. 148. Для измерения воздуха, впрочем, могут применяться также и все другие измерительные устройства, но трубки Вентури предпочитают для длительных замеров, так как потеря давления в этом случае значительно ниже, чем при простых соплах или измерительных кольцах.

При всех количественных замерах надлежит иметь в виду, что действительно определенный объем должен быть приведен к так называемым нормальным условиям, для чего в его величину необходимо внести поправки на барометрическое давление и влажность, а также в случае надобности и температуру. При более значительных отклонениях для этого применяют следующую формулу:

$$V_t = V \cdot \sqrt{\frac{\gamma_n}{f + \gamma_n \frac{273 + t_n}{273 + t} \cdot \frac{b - e}{b_n}}},$$

где V — отсчитанный при замере объем,
γ_n — удельный вес газа, на который рассчитан аппарат,
t_n — температура, на которую рассчитан аппарат,
b_n — барометрическое давление, на которое рассчитан аппарат,
f — вес 1 $м^3$ водяного пара при $t°$ Ц в $кг$,
e — давление при $t°$ Ц в $мм$ ртутного столба,
V_t — действительный объем при температуре замера $t°$ Ц,
t — температура при измерении,
b — барометрическое давление при измерении.

[1] M. Schaack, Ausführungsformen von hydraulischen Messapparaten für Strömungsgasmessung», «G. W. F.» № 47, 1928. Для замера значительных количеств газа имеется большое число патентных конструкций, преимущественно гидравлического типа (см. например, газомер Brandl-Marischka «G. W. F.», 1930, 2 VIII, сходный с газомером Вестингауза, «G. W. F.» № 3, 1931. Обзор газомеров поплавкового типа дан Н. М. Глаголевым («Тепло и сила» № 1, 1929). Ред.

[2] «Baurichter, «St. u. E.», 1917, H. 40.

Определенный таким образом объем приводится к нормальным условиям по табл. 65. При небольших отклонениях от этих условий, как, например, при замере количества воздуха, может применяться табл. 66, дающая процентные объемные поправки при изменении барометрического давления и температуры. При обоих способах пересчета исходили из предположения, что газ или воздух замеряются при данной температуре в насыщенном состоянии.

Таблица 66

Поправки на приведение количества газа к нормальным условиям

$t=$	10	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	30° Ц
$b = 760$ *мм* .	1,21	1,68	1,78	1,90	2,02	2,15	2,29	2,43	2,59	2,75	2,92	3,10	4,15
$b = 750$ » .	1,22	1,70	1,80	1,92	2,05	2,18	2,32	2,47	2,62	2,78	2,96	3,14	4,21
$b = 740$ » .	1,24	1,72	1,83	1,95	2,08	2,21	2,35	2,50	2,66	2,82	3,00	3,18	4,26
$b = 730$ » .	1,26	1,74	1,85	1,98	2,11	2,24	2,38	2,53	2,69	2,86	3,04	3,23	4,32

д) Измерение количества пара

Для этой цели применяются многочисленные аппараты, описание которых здесь, однако, завело бы нас слишком далеко, тем более, что они имеют довольно сложную конструкцию. Надлежит все же упомянуть о поплавковых паромерах Классена (Classen, Stabe, Берлин) и Байера (F. R. Bayer u. Co, Леверкузен), паромере Гере (Gehre — Dampfmesser-Gesellschaft, Берлин), дебропаромере (Paul de Bruyn, Дюссельдорф) а также о представленной на фиг. 148 конструкции паромера Вентури (Сименс и Гальске, Берлин). Почти все эти приборы при сильно колеблющихся количествах газа оказываются недостаточно точными. В случае газогенераторов, в которые почти всегда подводится и обычно на довольно далекое расстояние влажный пар, и в которых колебания режима имеют место довольно часто, поэтому приборы эти применяются редко, главным образом, в качестве регистрирующих на магистральных газопроводах. При отдельных опытах вводимые в генератор количества пара могут быть измерены лучше всего путем определения точки росы и измерения количества подводимого воздуха, проверяя, однако, полученные результаты при более важных испытаниях при помощи конденсационного способа, не требующего обычно больших приготовлений и весьма легко приспособляемого к различным условиям [1].

е) Определение количества топлива

Определение это особенно важно для опытов малой длительности. Для контроля длительного производства обычно достаточно регистрировать количество загрузок, так как подаваемые количества учитываются

[1] Нормальный германский паромер последнего образца описан в «Brennstoff u. Wärmewirtschaft» № 12, 1931, стр. 241; Genormter Messflasch für Dampfmesser. Более подробные указания можно найти в изданиях: П. С. Толкованов и Г. К. Филоненко, «Измерение расхода пара в промышленных предприятиях (диафрагма Бендемана); О-ва «Тепло и сила», «Руководство к пользованию паромером Рацио». Ред.

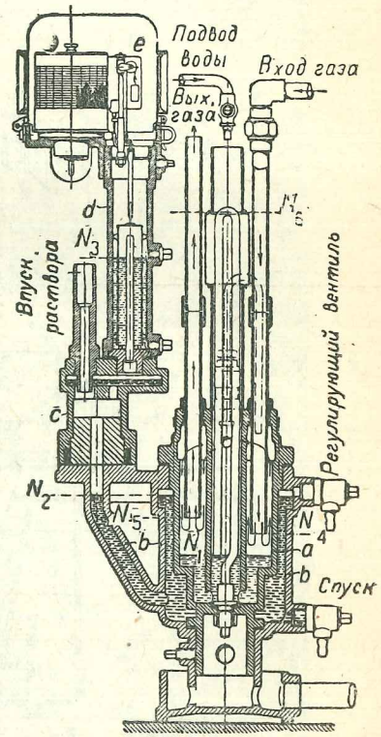
каждую неделю или каждый месяц наряду с остающимися запасами, что ведет к выравниванию возможных ошибок. Однако опыт показывает, что в зависимости от крупности угля вес загрузочной воронки колеблется примерно на 5—10%; кроме того, часто она не бывает загружена в полной мере. При более коротких опытах поэтому необходимо обращать особое внимание на установление количества затрачиваемого топлива, для чего применяется простое взвешивание топлива. Однако, применяя здесь описать достаточно подробно, мы получаем очень большую трату времени на взвешивание, часто соединенное со значительными хлопотами. В последние годы были введены новые конструкции вагонных весов, работающих автоматически, как для нормальных путей, так и для канатных и подвесных дорог. Наиболее известны подобные конструкции Ц. Шенка (C. Schenk, Дармштадт) и А. Шпис (A. Spies, Зиген). Автоматические весы могут быть соединены также с элеваторами и подобными им устройствами, как, например, весы системы Либра (Libra-Werke, Глизмароде в Брауншвейге) и весы «Хронос» фирмы Рейтер и Рейзерт (C. Reuther u. Reisert, Honnef a. d. Sieg).

Однако измерение одного подведенного количества топлива еще не дает нам действительно израсходованного за данный период количества, так как сам газогенератор имеет значительный запас топлива. Поэтому необходимо точно устанавливать высоту слоя до и после каждого испытания, а также оценивать возможное увеличение количества золы, так как даже одинаково наполненный газер не всегда содержит одинаковое количество угля (возможны значительные скопления золы). Для этого же служит замер высоты горящего слоя в газогенераторе. Он производится путем опускания железной штанги не менее $^3/_4''$ в диаметре на определенный промежуток времени (3—5 мин.) на одну и ту же часть решетки или на зольную чашу, с отметкой на штанге положения покровной плиты. После этого, измеряя снизу по штанге, мы находим размеры зольного слоя, зоны газификации и топливного слоя (при одновременном измерении расстояния загрузки от верхней плиты).

Измерение количества золы, вообще говоря, не является необходимым, если вес затраченного топлива определен с достаточной надежностью и среднее содержание золы в топливе и содержание горючего в золе — известны. Взвешивание золы нецелесообразно уже в силу того соображения, что влажность ее колеблется весьма сильно; при этом, конечно, может быть определено количество влажной золы, но пересчет полученного результата на сухую золу вносит уже значительные ошибки, делающие такой способ мало применимым даже для поверочных испытаний. Так как потери в золе в новейших типах газогенераторов обычно невелики, то можно совершенно отказаться от этого взвешивания.

ж) Аппараты для анализа газа

Для контроля производства можно применять определители CO_2, если не имеют в виду вести систематический анализ газа. Последний будет описан в разделе методов исследования. Регистрирующие газоанализаторы служат для определения содержания CO_2 при помощи абсорбции раствором едкого кали или извести. Известно большое количество конструкций, обладающих теми или иными преимуществами и недостатками. Наиболее старым аппаратом является Адос-аппарат фирмы Адос (Ados-Gesellschaft, Аахен), предложенный Арндтом, которому принадлежит также конструкция аци-аппарата фирмы Гефко (Gefko — Gesellschaft, Кельн). Последний имеет все детали из железа, что делает его очень удобным для применения в газогенераторных установках, но в то же время не дает возможности наблюдения за процессами внутри аппарата, загрязнениями его и т. п. Эта конструкция показана на фиг. 149; способ работы следующий: при присоединении к газопроводу в газоприемнике a уровень воды, нормально занимающий положение N_1, поднимается и в положении N_4 замыкает подачу газа, а в положении N_5—выход газа, причем в промежуток отбирается таким образом 100 $см^3$ газа. Это количество газа прогоняется через U-образную трубку в поглотитель b, где он вытесняет раствор едкого кали, опускающийся из его нормального положения N_2 книзу, причем он поднимается в камеру c и в наполнительные штуцеры. Чем более поглощаемых частей содержит газовая проба, тем меньшее количество калийного раствора перейдет в c. Если при этом раствор достигнет верхнего конца наполнительного штуцера, то воздух в поплавке самописца сжимается и поднимает записывающее перо. Если вода достигнет колена N_6, то приводится в действие устроенный в подводящей трубе клапан, и вода снова опускается до уровня N_1, в то время как входящая в прибор свежая газовая смесь вытесняет непоглощенный остаток газов, после чего операция повторяется в том же порядке. Правильность работы прибора контролируется просасыванием воздуха вместо дымовых газов, причем перо должно чертить прямую около самой нулевой линии шкалы.



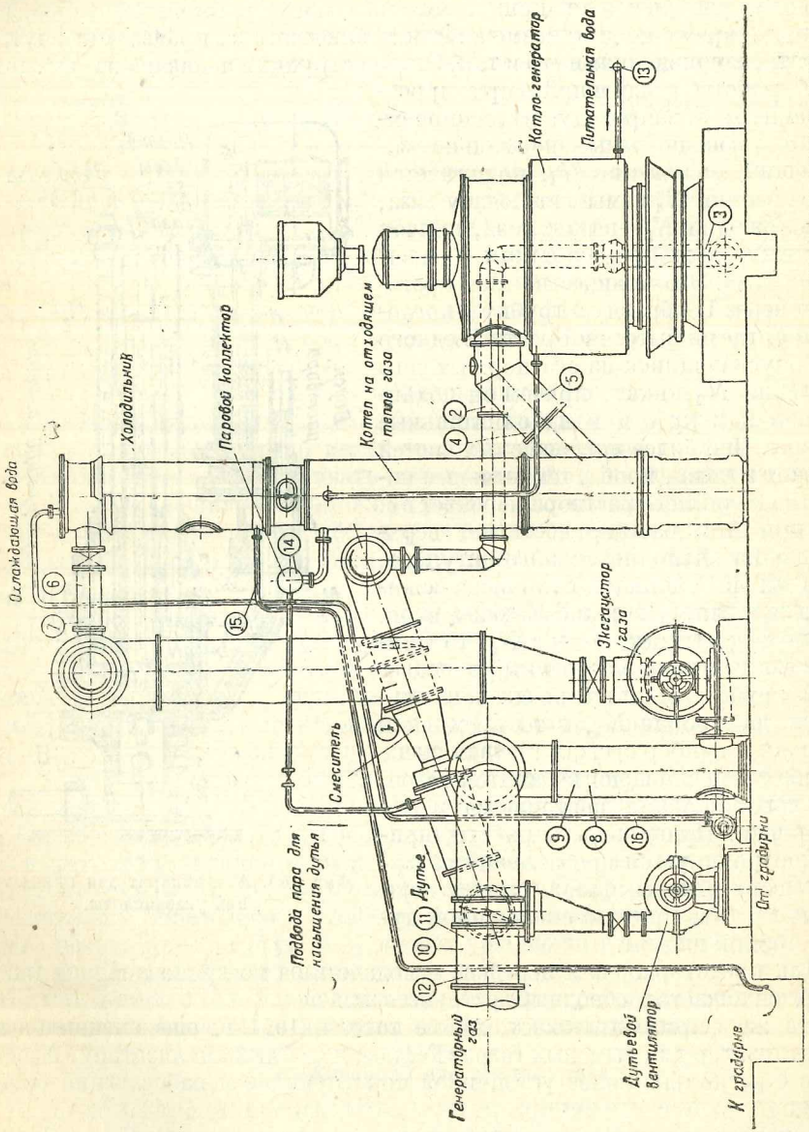
Фиг. 149. Аци-аппарат для определения углекислоты.

Для предотвращения перебоев в подаче газа во время анализа газопровод снабжается обводным устройством.

Эта же фирма выпускает, кроме того, с 1921 г. еще специальный газоанализатор для дымовых газов «Гефко», подобный анализатору «Адос», только с несколько более устойчивой конструкцией и работающий более наглядно.

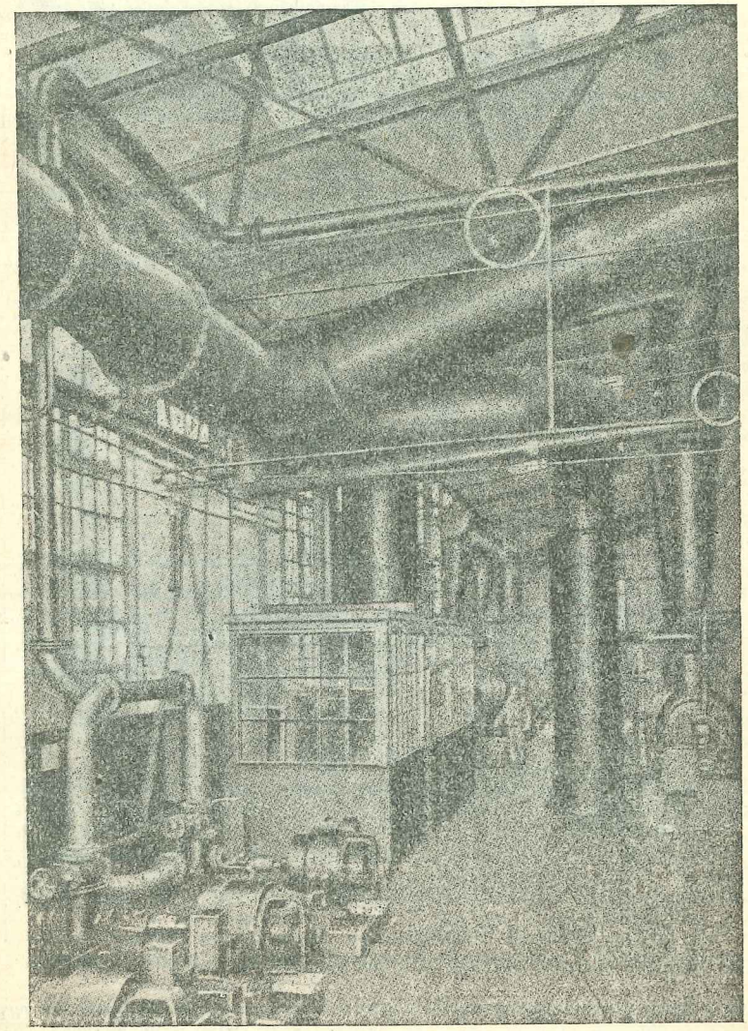
Аппараты сходных конструкций строят также фирмы П. де-Бройн (P. de-Bruyn, Дюссельдорф — «деброаппараты»), Ю. Пинч и др. Возможно применение большинства анализаторов для дымовых газов. Надлежит упомянуть еще моно-аппарат фирмы Майгак (Maihak, Гамбург), так как эта фирма выпустила специально газогенераторный дуплекс-аппарат,

который должен обеспечить более точный контроль газогенератора, подобно аппарату «Дуплекс-Моно» для дымовых газов. В дымовых газах это возможно путем определения обеих составных частей CO_2 и O_2,



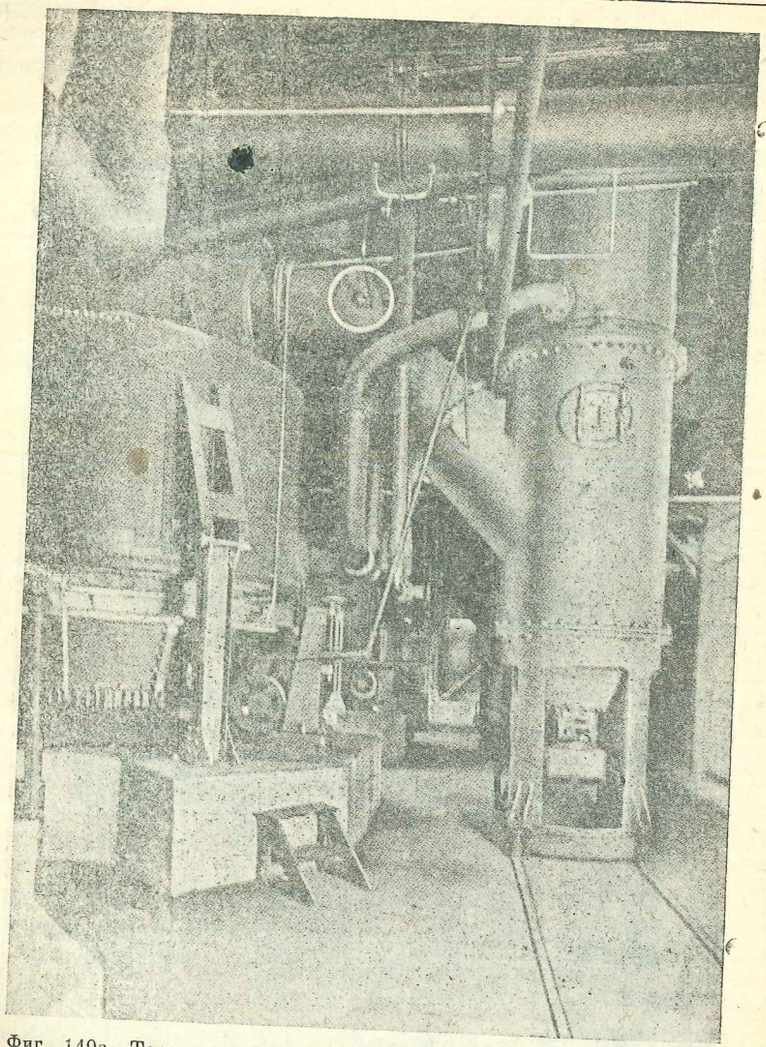
Фиг. 149а. Схема расположения мест замера контрольных факторов на установке котлогазогенератора с вращением решетки.

в генераторном газе вместо O_2 мы имеем CO; определение последней, однако, слишком затруднительно и неточно, да и недостаточно характерно. Новый аппарат должен быть построен для определения CO_2 и H_2, причем по приведенным ранее формулам (стр. 65) 3, 5 и 6 можно считать установленным, что при увеличении содержания CO_2 — содержание водорода должно подниматься вдвое, чтобы обеспечить удовлетворительную работу газера. Если, например, содержание углекислоты при наименьшем под-



Фиг. 149б. Термометры сопротивления для определения температуры паровоздушной смеси и отходящей воды в холодильнике (машинное отделение центральной газогенераторной установки).

воде пара будет 3% и содержание водорода в 5%, то надлежит ожидать при 8% CO_2 содержание водорода не менее 15%, что и наблюдается в действительности. После поглощения CO_2 в этом аппарате поглощения O_2 и CO не производят, H_2 сжигают при помощи окиси меди, получаемый



Фиг. 149в. Термометр сопротивления на выходном штуцере котло-газогенератора с вращением решетки, для определения температуры газа.

водяной пар конденсируют и измеряют уменьшение объема, а так как при горении CO измерение объема не имеет места, то предлагаемый метод является правильным и только при значительном содержании O_2 он может дать ошибочные показания. В общем этот аппарат является чрезвычайно ценным.

* з) Типовые схемы теплотехнического контроля работы газогенераторных установок

Для характеристики типового комплекта контрольно-измерительной аппаратуры, применяемой для производственного контроля современных

газогенераторных установок, управляемых при посредстве контрольного щита (подобно электростанции), мы приведем здесь две схемы расположения приборов: 1) для парогазогенераторной установки с вращением решетки (генераторный газ); 2) для генератора водяного газа.

Примерное расположение приборов для теплотехнического контроля котло-газогенератора показано на фиг. 149а (Сименс и Гальске).

Здесь нашли применение следующие измерительные приборы (схема Сименс и Гальске):

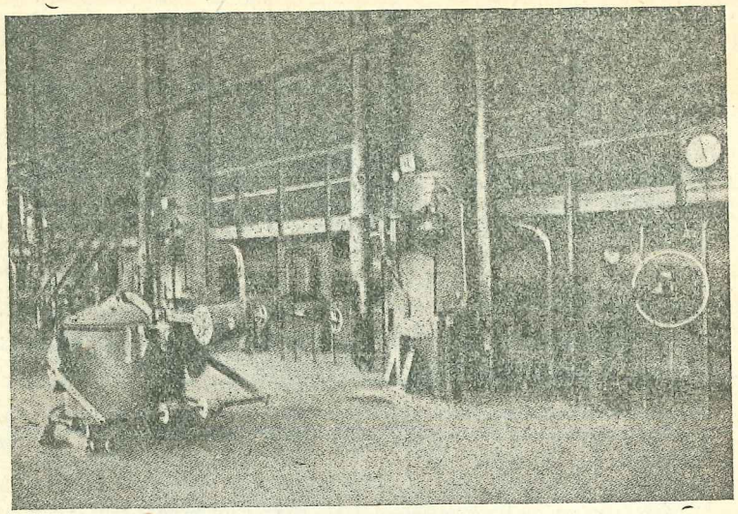
Таблица 66а (Ред.)

Место замера	Измеряемый фактор	Измерительный прибор
1	Температура паровоздушной смеси	Термометр сопротивления (фиг. 149б)
2	Количество дутья	Диафрагма, соединенная с поплавковым прибором и кольцевым автоматическим передатчиком [1] (работающим на принципе изменения электросопротивления)
3	Давление дутья	Манометр (с круглой шкалой) и кольцевой автоматический передатчик
4	Температура газа у генератора	Термоэлектрический пирометр или термометр сопротивления (фиг. 149в и 149г)
5	Давление газа у генератора	Поплавковый прибор с кольцевым автоматическим передатчиком
6	Температура газа за охладителем	Термометр сопротивления
7	Давление газа за газовым эксгаустором	Манометр с круглой шкалой [2] и с кольцевым автоматическим передатчиком
8	Давление газа за охладителем	Поплавковый прибор с кольцевым автоматическим передатчиком
9	Содержание водорода в генераторном газе	Электрический определитель водорода („водородные часы“)
10	Температура рабочего газа	Термометр сопротивления
11	Давление рабочего газа	Манометр с круглой шкалой с кольцевым автоматическим передатчиком
12	Выход рабочего газа, производимый установкой	Диафрагма и поплавковый прибор, соединенный с кольцевым автоматическим передатчиком
13	Расход питательной воды, входящей в генератор	Водомер
14	Общее количество пара, поступающего в магистраль	Диафрагма и динамический манометр с кольцевым автоматическим передатчиком [3]
15	Температура отходящей горячей воды за охладителем	Термометр сопротивления (фиг 149б)
16	Температура возвращающейся охлажденной воды перед охладителем	Термометр сопротивления (фиг. 149в и 149г)

[1] H. Lohmann и C. Sieber, Die elektrische Ringrohrfernübertragung, „Siemens-Zeitschrift“ № 12, 1928, стр. 716. И. Ф. Назаров, Ротационные поплавковые измерители, „Химстрой“ № 5/6, 1930. Ред.

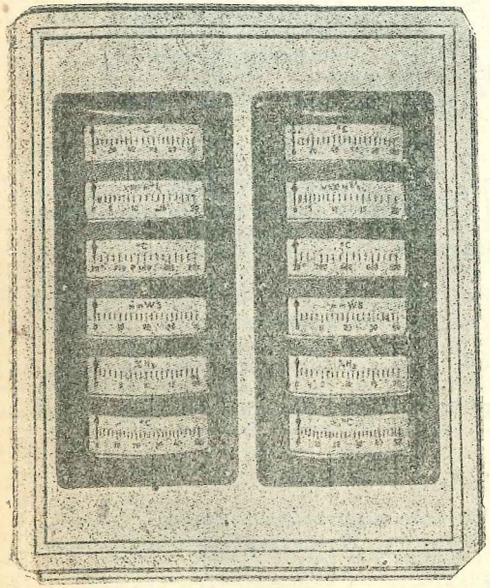
[2] Измеряет статическое давление. Ред.

[3] Щитовой контроль давления в современной газогенераторной установке подробно описан в работе A. Grünwald и F. Enqel, Die Druckunterschiedmessung mit Messrand, Düse und Venturirohr, „Siemens-Zeitschrift“ № 9, 1928. Ред.

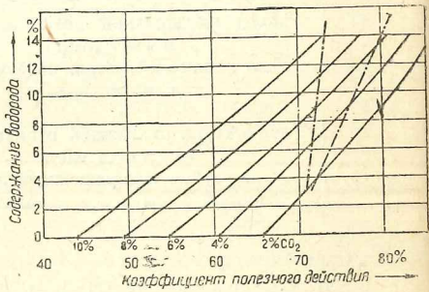


Фиг. 149г. Контрольный пункт с указывающим прибором. Термометры сопротивления представленного на фиг. 149в газогенератора (рабочая площадка газера).

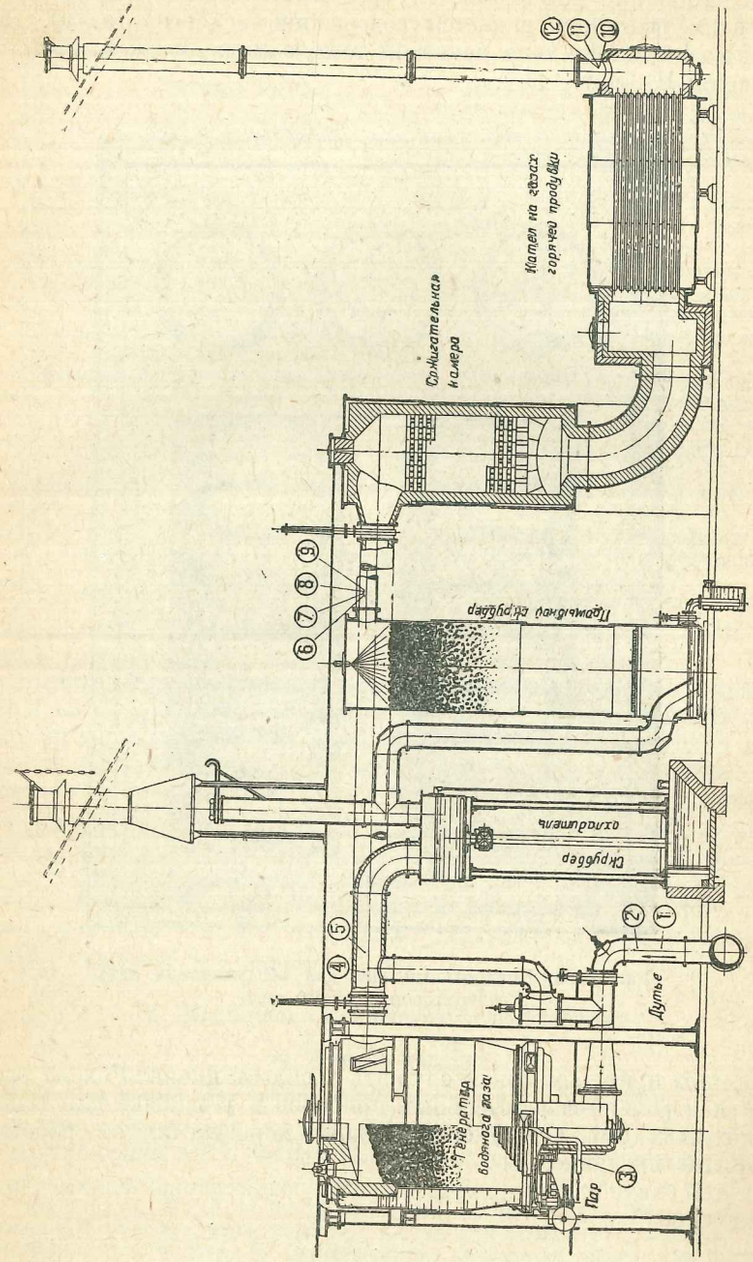
Важнейшая часть контролируемых факторов имеет специальные контрольные шкалы на щите обслуживания, один из типов которых представлен на фиг. 149д; на изображенном щите, обслуживающем два газера, расположены шкалы для контроля следующих факторов (начиная сверху): температура паровоздушной смеси, количество дутья, температура и давление генераторного газа



Фиг. 149д. Контрольный щит для обслуживания двух генераторов.

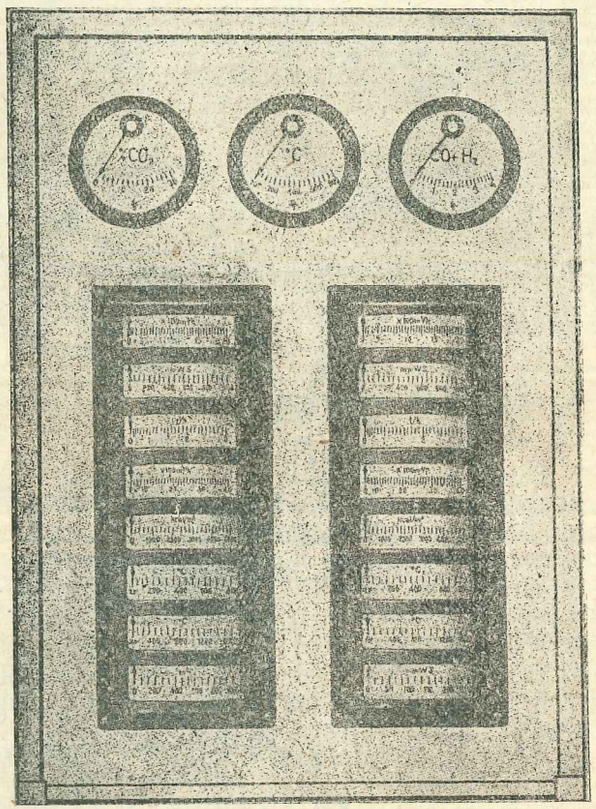


Фиг. 149е Зависимость к. п. д. генератора от содержания водорода по Тересу. Пунктирными линиями ограничены обычные условия газогенераторных процессов.



Фиг. 149ж. Схема расположения мест замера контрольных факторов на установке водяного газа системы Пинч.

при выходе из газера, содержание водорода в газе и температура газа за холодильником. Мы видим, что здесь единственным контролируемым химическим фактором является содержание водорода (п. 9). Работы Э. Терреса [1] действительно показали тесную зависимость к. п. д. газера от процента H_2 (фиг. 149е).



Фиг. 149з. Контрольный щит для обслуживания двух генераторов водяного газа.

Вторым примером может служить эксплоатационная схема расположения контрольно-измерительных приборов в установке для генерации водяного газа (фиг. 149-ж), соединенной с паровым котлом, работающим на горячей продувке.

В этой схеме нашли применение следующие измерительные приборы (см. табл. 66 б):

[1] E. Terres, Die Reaktions- und Strömungsvorgänge in Generatoren als Grundlage für deren konstruktive Durchbildung, «Gas- u. Wasserfach» № 50, 1928. Ред.

Таблица 66 б (Ред.)

Место замера	Измеряемый фактор	Измерительный прибор
1	Давление дутья	Манометр с круглой шкалой с автоматическим кольцевым передатчиком
2	Количество дутья	Диафрагма с поплавковым прибором и автоматическим кольцевым передатчиком
3	Расход пара	Измерительные фланцы и динамический манометр с кольцевым автоматическим передатчиком
4		
5	Температура полученного водяного газа	Термометр сопротивления
6	Давление водяного газа у генератора	Поплавковый прибор с кольцевым автоматическим передатчиком
7	Температура водяного газа за промывным скруббером	Термометр сопротивления
9	Давление водяного газа за промывным скруббером	Поплавковый прибор с кольцевым автоматическим передатчиком
9	Дебет водяного газа	Диафрагма и поплавковый прибор с кольцевым автоматическим передатчиком
10	Теплопроизводительность водяного газа	Калориметр Юнкерса с записывателем Сименса
11	Содержание CO_2 за паровым котлом	Электрический газоанализатор
	Содержание $CO + H_2$ за паровым котлом	Электрический газоанализатор
12	Температура отходящих газов за паровым котлом	Термоэлектрический пирометр или термометр сопротивления

Примерное расположение контрольных шкал перечисленных приборов показано на фиг. 149-з, представляющем контрольный щит установки из двух генераторов водяного газа, работающих на общий паровой котел, использующий тепло газов горячей продувки. Приборы, относящиеся к этому котлу, вынесены в верхнюю часть щита (с круглыми шкалами: содержание CO_2, температура и содержание $CO + H_2$ — все в отходящих газах за котлом). В основной же раме для каждого газера включены следующие шкалы: количество дутья, давление дутья, расход пара в *т/час*, дебет газа, теплопроизводительность газа, температура газа, температура газа горячей продувки, давление газа (или объем газов горячей продувки — в правой раме) [1]. *

2. Методика химического исследования

а) Твердые топлива

Здесь, конечно, мы не ставим задачи дать обзор всех или хотя бы только употребительных определений, так как число их слишком велико; в этом отношении здесь можно лишь сослаться на специальную литера-

[1] См. также F. Kretschmer u. I. Möller, Die Generatorüberwachung, «Die Wärme», 1930, стр. 763. Схема для точной регулировки процесса получения водяного газа (с определением количества азота для химических целей) выработана Rambush и Ballingall и осуществлена Power Gas Corpor. См. «Industriell Chimie» № 19, 1932, 216, «Журнал химической промышленности» № 9, 1932, стр. 52. Ред.

туру.[1] Только наиболее важные и наиболее употребительные методы могут быть здесь приведены. Многочисленные специальные аппараты для облегчения отдельных замеров также не могут здесь быть описаны сколько-нибудь подробно. Лучше всего изучение этих приборов поставлено в соответствующих специальных фирмах, из которых некоторые для ориентации могут быть здесь указаны (Vereinigte Fabriken f. Laboratoriumsbedarh), Берлин, Göckel, Берлин, Hugershoff, Лейпциг и др.).

Отбор пробы. Целесообразно брать от каждой загрузки по лопате и отобранное топливо рассыпать затем квадратным слоем; разделить затем этот квадрат диагоналями, отбросить две противолежащих четверти, снова сделать квадратный слой из оставшегося топлива и повторять эту операцию до тех пор, пока не будет получено количество около 10 *кг*. Последнее подвергается предварительному раздроблению и затем снова уменьшается тем же способом до величины пробы в 1 *кг*, после чего тонко измельчается, рассыпается квадратом, делится на клеточки наподобие шахматной доски и из каждого получившегося поля берется по полной ложечке в отдельные склянки для проб [2].

Определение влажности. Полученная описанным путем средняя проба достаточна лишь для обычных каменных углей; при влажных топливах к этому прибавляют еще специальную пробу на влажность, размельчаемую весьма быстро с возможным предотвращением высушивания до величины гороха. Для определения отвешивают 200 *г*, и высушивают в вакуумном сушильном шкафу при 105° в течение около 2 час. Более высоких температур надлежит избегать, в особенности, при бурых углях или торфе. Если необходимо для подобных топлив провести более точное определение влажности, то их сушат в струе CO_2, причем выделенную воду взвешивают в хлоркальциевых трубках. Так как для прочих определений употребляются воздушно-сухие средние пробы (получаемые после двухдневного лежания на воздухе), то для последних также надлежит определение влажности и все прочие данные анализа перечислить затем на первоначальную влажность топлива. Целесообразно все результаты анализа, как это уже было ранее указано, относить к 1 000 *г* углерода [3].

[1] В особенности рекомендуется: Lunge-Berl, Chemischtechnische Untersuchungsmethoden; см. также Prof. Dolch, Brennstofftechnisches Praktikum, 1930. Принятые Теплотехническим и Менделеевским съездами методы исследования топлив, вошедшие в своей основной части в «Технические условия на твердое минеральное топливо, утвержденные СТО, опубликованы в «Трудах II и III Всесоюзных теплотехнических съездов», и частично в «Изв. Теплотехн. ин-та» № 6/29 и 8/31, 1927. Германские правила см. DIN-DVM, E 3711 и 3716 Prüfung d. Brennstoffen и у К. Келлера, Руководство к исследованию продуктов коксования каменных углей, перевод под редакцией проф. И. А. Красуского, 1931. Уточнение отдельных процессов исследования см. у W. Bertelsmann, Die Untersuchung der Kohle in Klein- und Grossbetrieb «G. W. F.» № 40, 1929; Bunte, Neue Metoden der Brennstoffunversuchung, «G. W. F.» № 6, 1929. Ch. F. Kingdom, The pursuit of accuroeg in coal Sampling, «J. Inot. of Fuel», № 8, 1929; O. Zaepke, Studien über Normung und einheitliche Prüfung der festen mineralischen Brennstoffe, Берлин, 1929. Ред.

[2] Подробнее см. «Инструкции по отбору проб твердого минерального топлива, торфа, дров», «Изв. Теплотехн. ин-та» № 8/31, 1927. Ред.

[3] Более точный метод см., например, у Катвинкеля, Die Bestimmung des Wassers in Brennstoffen durch Destillation mit Xylol, «Glüchauf» № 43, 1926. О криогидратном способе (расслоение керосиновой эмульсии), предложенном Дольхом, очень быстром, см. Дольх и Штраубе, «Z. f. ang. Ch.», 1932, стр. 266; этот метод проверяется в настоящее время во Всесоюзном теплотехническом институте. Ред.

Определение золы.[1] Навеска около 2 *г*. Озоление ведут в ксосопоставленном тигле, который сначала открывают и по окончании дестилляции снова закрывают, чтобы облегчить доступ воздуха, необходимого для горения. Начальный подогрев нужно вести медленно, чтобы предотвратить образование твердого коксового королька. Определение закончено, если более не заметно черных точек и достигнуто постоянство веса. Определение может быть проведено значительно легче в платиновой чашечке, нагреваемой в муфельной печи.

Проба на коксование (способ Мука или бохумский). 1 *г* неподсушенного топлива помещается в специальный платиновый тигель, закрываемый крышкой с выступающими краями и с центральным отверстием в 2 *мм* и нагревается таким образом, чтобы тигель находился примерно на $^2/_3$ высоты пламени горелки. Проба закончена, если из отверстия крышки не выходит более пламени. Количество коксового остатка определяется взвешиванием. Вес коксового королька за вычетом содержания золы дает содержание так называемого нелетучего углерода (C_{fix}). Уменьшение веса за вычетом влажности дает содержание летучих (газ, смола и конституционная вода). Совместно с выходом кокса большое значение для оценки топлива имеют свойства коксового королька [2]. Проба делается только для каменных углей и для газификационных установок служит лишь характеристикой спекаемости (стр. 27).

Проба на полукоксование. Вместо пробы на коксование лучше производить швельанализ — пробу на сухую перегонку топлива, так как она позволяет определить содержание смолы. Для бурых углей раньше применялась проба Грефе (Graefe) в реторте из тугоплавкого стекла. Впрочем эта проба не выполнима для каменных углей и обладает различными недостатками. Более целесообразен новый метод

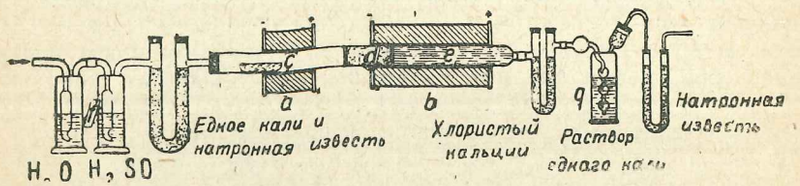
[1] В случае надобности получить содержание карбонатов в топливе необходимо специальное определение, см., например, у А. П. Шахно, «Журнал прикладной химии», 1925, вып. 3/4. Быстрый способ определения золы описан, между прочим, у P. N. Lategan, Rapid method of determining ash contenert and calorific valuc of coal, «G. J.» (англ.) № 3330, 1927. Очень удобная печь для определения золы предложена Г. Брюкнером и Г. Зейфертом («G. W. F.» № 15, 1932, стр. 277). Ред.

[2] Определение коксующей способности и сравнение современных методов см. Pieters u. Smeets, Das Backvermögen von Steinkohlen, «Het. Gas.», 1931, стр. 228 (Испытание 8 марок углей по способам Кампредона, Мериса, Крейлена, Маршаля и Берда); В. Глуд, Handbuch der Kokerei (русск. перевод 1931), в «Изв. Теплотехн. ин-та», А. П. Шахно и М. Д. Жуковская, № 7/50, 1929 и др. Критику методов определения коксующей способности углей дал L. Slober, A. Compauson of Methads for Testing the Cading Properties of Coal «Gas World» 5/III 1932 (методы Бараша, Мериса, Грея-Кампредона, Бурдекина, Шеттера). Исследование причин спекаемости (теория битумов) см. в докладе проф. Г. Л. Стадникова на III Международном конгрессе по битуминозным углям в Питтсбурге (1931 г.) «Химия твердого топлива» № 11 — 12, 1931.

Карстен различает три основных вида королька, в зависимости от которых он квалифицирует угли как песчанистые (Sandkohle, дает рассыпчатый кокс), полужирные (Sinterkohle, королек спекшийся, но не сплавленный) и спекающиеся (Backkohle, кокс оплавленный, хорошо спекшийся). См. Штрахе и Лант «Химия угля», стр. 66. Ред.

Фишера и Шрадера — испытание в специальном алюминиевом тигле (реторта Фишера) [1]. Хорошая теплопроводность обеспечивает быстрое и равномерное нагревание, низкая же температура плавления материала тигля вообще исключает значительный перегрев. Навеска около 20 *г* измельченного угля. Нагревание ведут таким образом, что в течение 30 мин. достигается температура 500° и держат на этой температуре до тех пор, пока не прекратится выделение капель в приемнике (в общем около 45 мин.). Взвешивание приемника дает содержание воды и смолы, после чего содержание воды может быть получено путем вторичной перегонки с ксилолом или центрифугированием. Получаемые выхода на 15 — 30% выше, чем по методу Грефе, и практически вполне осуществимы.

Элементарный анализ. Для него берут навеску около 0,2 — 0,3 *г* тонко измельченного вещества в лодочку из платины, фарфора или кварца. Из гигроскопических бурых углей, торфа, дерева и т. п.



Фиг. 150. Сожигательная печь для элементарного анализа.

целесообразно делать перед взвешиванием маленькие цилиндры, что также предохраняет от окисления. Затем вводят в сожигательную трубку из тугоплавкого стекла около 400 *мм* длиной между двумя обернутыми тонкой платиновой жестью асбестовыми пробками — слой зернистой окиси меди и такой же — зерненого хромовокислого свинца; за последним вдвигают лодочку, закрывают трубку и присоединяют этот конец к газометру с кислородом. Можно вместо кислорода употреблять и обыкновенный воздух, но во всяком случае он должен быть абсолютно освобожден от влажности и углекислоты, для чего включают перед газометром промывной сосуд с известковой водой. К другому концу сжигательной трубки присоединяют хлорокальциевые трубки и промывные сосуды с раствором едкого кали (шарообразные калиаппараты,) а также и дополнительную трубку с натронной известью для поглощения образующихся при горении водяного пара и CO_2, как это показано на фиг. 150. Сжигание производится известным способом на маленькой муфельной печи или лучше на электрической печи [печь Гереус (W. C. Hegaeus), Ганау на Майне], так как на последней процесс может значительно точнее регулироваться и наблюдение значительно легче. Электрическая печь работает по методу сопротивления.

[1] «Z. f. angew. Ch.», 1920, стр. 172. Проф. М. Дольх предложил в 1931 г. новый прибор-электропечь для определения выхода кокса, смолы и газа («Кокс и химия» № 1, 1932) с последовательным швелеванием и коксованием (фиг. 150а). Интересный метод определения летучих — фотометрический — разрабатывает Ю. А. Жемчужников («Химия твердого топлива, № 11 — 12, 1932). Ред.

Несколько измененная конструкция была предложена проф. Денштедтом.

Из найденных количеств конденсированного водяного пара и поглощенного CO_2 непосредственно определяются содержание H_2 и C, так как все образующиеся углеводороды переводятся окисью меди в CO_2. Хромовокислый свинец служит для удержания образующегося сернистого газа, присутствие которого иначе может затруднить определение.

Определение азота. Наиболее распространенным является метод Кьелдаля (Kjeldahl), по которому 1 *г* возможно тоньше измельченного вещества, кипятят с 20 $см^3$ концентрированной серной кислоты с добавлением 8 — 10 *г* сернокислого калия и 0,1 *г* окиси ртути; кипячение ведут до просветления жидкости и до полного исчезновения черных точек в образующемся остатке. Длительность операции — около 2 час. По охлаждении добавляют 100 $см^3$ раствора едкого натра и дестиллируют освобождающийся при этом аммиак в приемник, наполненный 20 $см^3$ $N/10$ серной кислоты. Избыток последней затем оттитровывают.

Многократно предлагалось в последнее время определение азота в электрической печи (метод Дюма). Этот метод имеет преимущества для некоторых топлив, как, например, для кокса, с которым работа по Кьелдалю идет очень медленно и легко получить неполные результаты; однако, несомненно, что способ Дюма для других топлив дает слишком высокие цифры, почему и необходимо рекомендовать попрежнему нашедший уже широкое распространение метод Кьелдаля, если нет специальных оснований, говорящих против него и если определение не имеет задачей получение точных данных для исследований [1].

Определение серы. Общая сера определяется по методу Эшка (Eschka) путем прокаливания 1 *г* топлива с 1 *г* жженой магнезии и 0,5 *г* кальцинированной соды в хорошо перемешанном состоянии на электрической печи при доступе воздуха. Полученную массу растворяют затем в содержащей бром разведенной соляной кислоте, осаждают образующуюся серную кислоту хлористым барием. Вместо жженой магнезии можно применять также окись кобальта (способ Брунка) или перекись натрия (способ Конека). Метод Брунка оказался очень надежным и многократно применялся. Хотя содержание зольной серы (сульфатной) обычно незначительно и может быть определено в золе отдельно [2], обычно выбирают обратный путь, предпочитая непосредственно определять летучую серу (органическую и колчеданную серу). Для этого берут навеску 0,8 — 1 *г* (при легко воспламеняющихся и окисляющихся углях — опрессовывают в цилиндрик) и насыпают за лодочкой слой платиновых обрезков. Навеску нагревают сначала осторожно без подвода кислорода, чтобы произвести сухую перегонку и затем быстро сжигают в струе кислорода. Образующуюся серную кислоту улавливают перекисью водорода и оса-

[1] См. «J. f. G.», 1919, стр. 173 и 192.

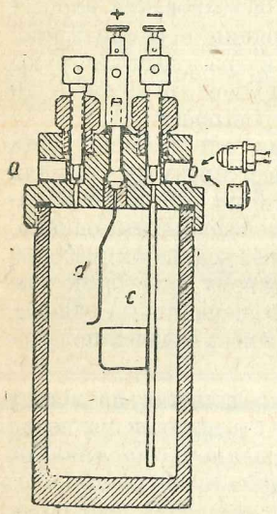
[2] Например, по методу Jancley и Parr (нагрев с избытком соляной кислоты и осаждение хлористым барием) см. «Engineering, Chemistry», 1924, 501; описано в ст. Н. М. Караваева и А. А. Чудновского, Изменение подмосковного угля в инертном газе при нагревании, «Изв. Теплотехн. ин-та» № 9/32, 1927; см. также F. Muhlert, «Der Kohlenschwel», 1930 (русский перевод 1932 г. под ред. Н. М. Караваева). Ред.

ждают в виде сернокислого бария или же прибавляют избыток $N/10$ раствора едкого кали и оттитровывают его остаток.

Определение теплопроизводительности. Это определение может быть выполнено путем вычисления на основании элементарного анализа по союзной формуле [1], которая дает так называемый низшей теплопроизводительности величину.

$$Q_н = 81\,|\,C + 290/H - \frac{O}{3} + 25\,S - 6\,H_2O \ кал/кг.$$

Составные части берутся в процентах на исследуемое рабочее топливо. Как показывает практика, эта формула дает для богатых кислородом более молодых топлив слишком низкие значения (3 — 5%), так как на самом деле часть кислорода сгорает не в H_2O, а в CO_2 и CO. Поэтому приходится предпочитать непосредственное калориметрическое определение в бомбе, дающее непосредственно действительное значение высшей теплопроизводительности, перечисляемое затем на низшую путем учета количества конденсирующейся воды. Применяются конструкции Малера (Mahler), Крекера (Kröker) и Лангбейна (Langbein). На фиг. 151 представлена бомба Крекера. В отверстия *a* и *b*, могущие закрываться маленькими вентилями, ввинчиваются трубочки для введения кислорода и для удаления воды после сжигания. Платиновая трубка *c*, по которой вводится кислород, и пропущенная через крышку на изоляции проволока *d* образуют полюса для зажигания вещества при помощи электрического тока. Порошкообразное топливо спрессовывается в брикетик вокруг проволочной зажигательной спирали, соединяемой затем с одним из двух полюсов. Отвешенное количество воды в окружающем бомбу металлическом сосуде нагревается при сжигании равномерно вследствие работы специальной механической мешалки [2].



Фиг. 151. Бомба Крекера.

Последовательность операций примерно такая:

1. Прессование брикетика вокруг зажигательной проволоки.
2. Обсушивание внутренности бомбы.
3. Введение брикетика и зажигательной проволоки в бомбу.
4. Запирание и обтюрирование бомбы против давления в 25 *ат*.

[1] Детальный анализ формул, применяемых для определения теплопроизводительности топлива по его элементарному составу дан проф. Б. С. Крымом (см. «Известия Теплотехн. ин-та № 1/34, 1928).

Интересные данные о формуле Вельтера-Бертье, основанной на законе пропорциональности теплотворной способности топлива количеству присоединяемого им при горении кислорода, дает инж. С. Я. Корницкий («Известия Теплотехн. ин-та № 11 — 12/70, 1931), рекомендующий ее для упрощенных расчетов. Ред.

[2] Подробное описание процесса см. у Грамберга, Technische Messungen и у Brand, Technische Untersuchungsmethoden.

5. Наполнение бомбы уплотненным кислородом.
6. Введение бомбы в наполненный водой калориметрический сосуд с двойными стенками.
7. Пуск мешалки для перемешивания воды вокруг бомбы.
8. Нагревание зажигательной проволоки электрическим током.
9. Отсчитывание температуры воды при помощи лупы по ртутному термометру с делениями в сотые доли градуса и с оценкой тысячных долей.
10. Определение количества пара в бомбе после сжигания путем пропуска продуктов горения через хлоркальциевый приемник.
11. Вычисление освобождающегося количества тепла [1].

При этом нужно иметь в виду:

а) Отводимое от аппарата тепло вычисляется по водяному значению калориметра, т. е. постоянному количеству тепла, которое поглощается всеми частями аппарата при его нагревании на 1°;

б) вычисление всех поправок термометра (на выступающий столбик ртути и т. д.);

в) вычисление количества образовавшихся при сжигании кислот.

Определенное количество тепла дает так называемую высшую теплопроизводительность топлива.

Но так как при практическом сжигании топлива в топках влажность топлива уходит в виде перегретого пара с отходящими газами, то количество тепла, потребное на испарение влажности, вычитают из полученной теплопроизводительности топлива и получают таким образом, низшую теплопроизводительность.

В последнее время нашли применение для непрерывного контроля производства так называемые рапид-калориметры (в конструкции Бамберга, Берлин-Фриденау), которые могут также применяться и для определения механической потери горючего в остатках [2].

Ситовой анализ. Ситовой анализ имеет значение для мелкозернистых и пылеватых толпив; наиболее употребительные ступени диаметров отверстий для оценки величины зерен принимаются в 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 8,0; 12,0; 25,0 *мм*.

[1] Инструкции по определению теплотворной способности топлив, принятые Всесоюзными теплотехническими съездами, помещены в «Технических условиях на твердое минеральное топливо»; см. также «Изв. Теплотехн. ин-та» № 6/29, 1927 и проф. А. Н. Щукарев, Испытание теплотворной способности топлива методом сжигания его в сдавленном кислороде, 1928; о последних работах см. R. Kattwinkel, Die Bestimmung des Heizwertes der Steinkohle, «Teer. u. Bitumen» № 11, 1929 г.

[2] См., например, вышеуказанное исследование P. N. Lategan об определении способности угля к самовозгоранию, имеющей большое значение для топливного хозяйства, см. у T. W. Kreulen, Ein neuer Apparat zur Bestimmung der Neigung zur Selbstentzündlichkeit von Steinkohlen, «Br. Ch.» № 13, 1930. Важной характеристикой топлива является также содержание механически окклюдированных газов, определяемое путем тонкого размола навески в 100 *г* при глубоком вакууме (0,1 *мм* рт. ст.), обычное выделение газа — от 100 до 900 *см*³ на 100 *г* угля, состав — преимущественно метан (в частности, в газе аахенского антрацита оказалось кроме 91% метана значительное количество гелия — 77 *см*³ из 1 *т* угля) «Br. Ch.» № 11, 1932, стр. 209. Ред.

б) Исследование газа

Отбор пробы. Отбираются пробы или разовые или средние. Первые достаточны для таких испытаний, которые часто повторяются при работе. Длительные же или средние пробы безусловно необходимы для определения влажности, смолы и аммиака газа.

Отбор производится или путем отсоса или, если газ находится под давлением, путем простого присоединения заборного сосуда, причем обычно применяются пипетки с краном. Необходимо, конечно, пропускать через пипетку значительно большее количество газа, чем требуется для ее наполнения, чтобы всегда отобрать свежий газ и во всяком случае удалить из пипетки какие-либо оставшиеся в ней составные части. Как правило, наполнение производится сухим способом, так как при применении крановой пипетки как аспиратора, запираемого водой, вода всегда теряется, а новое количество воды, как показывает опыт, всегда поглощает значительное количество CO_2. При большинстве исследований могут применяться для отъема газа обычные железные трубки, которые нужно достаточно глубоко вводить в газовый поток. При горячем газе надлежит предпочитать заборные трубки из фарфора, шамота или кварца, чтобы предотвратить их разрушение, а также и возможное изменение газа. Заборные трубки необходимо перед употреблением испытывать на газонепроницаемость, и вообще выбор места отбора и самая операция отбора должны производиться с особенной тщательностью. Часто применяют заборные трубки, охлаждаемые водой, чтобы устранить возможные повреждения пипеток, а главное, чтобы сделать возможным применение резиновых соединений в аппаратуре [1].

Если газопровод находится под разрежением, то во всяком случае отбор производится путем отсоса, что, впрочем, делается иногда и у газопроводов под давлением, но не является для них безусловно необходимым. Применяют аспираторы с одним сосудом, что, впрочем, редко может быть рекомендовано, так как при этом теряется запорная вода. Обычно делают отсос с помощью сообщающихся сосудов, причем пробу газа собирают или в верхний сосуд непосредственно или же в присоединенную к нему на специальном отводе крановую пипетку. Вместо аспираторов часто применяют также водоструйные насосы.

Аппаратура. Из взятой пробы газа для исследования берется определенный объем, обычно 100 *см*^{3}. Для производства самого исследования было предложено в разное время много различных приборов. Наиболее распространенными, однако, являются газоаналитические аппараты Бунте и Гемпеля [2]. Бюретка Бунте состоит из измерительной трубки, закрываемой снизу и сверху трехходовым краном, и воронки, служащей одним из сообщающихся сосудов, которая при помощи резиновой трубки может быть присоединена к нижнему капиллярному выпускному концу бюретки. Операция состоит в следующем: после того как взятое количество газа точно измерено, оно остается в течение всего исследования в бюретке, поглощающие растворы вводятся в бюретку и после выполнения абсорбции снова удаляются. Это производится таким образом, что газ при открытом нижнем трехходовом кране расширяют до крана, кран запирают и затем поглощающую жидкость подводят под острие капилляра бюретки в маленькой чашечке. Открывая кран, вводят поглощающую жидкость, сильным встряхиванием производят абсорбцию, затем вымывают поглощающую жидкость при помощи струи воды, приводят газ к атмосферному давлению и делают отсчет оставшегося объема.

Этот метод имеет то преимущество, что какое-либо перемещение обычно невидимого газа не является здесь необходимым, вследствие чего избегается источник значительных потерь. Но зато расход поглощающей жидкости больше, чем при других способах, почему обычно применяют бюретки Бунте, главным образом, лишь для единичных, но весьма точных определений [1].

Преимущественно применяемый в настоящее время способ Гемпеля, улучшенный Винклером, состоит в том, что поглотительные операции производят в нескольких наполненных соответствующими жидкостями пипетках, причем газ поочередно переводят из бюретки в отдельные пипетки. Это многократное перемещении газа, конечно, легко приводит при менее точной работе или неправильной конструкции аппарата к потерям газа, пропуску воздуха и вследствие этого — к неправильным результатам. Но при совершенно точной работе получаемые по этому методу данные, несомненно, совершенно равноценны полученным по методу Бунте.

В отношении конструкции самого прибора мы должны отослать к соответствующим руководствам (см. выше); метод имеет особенные преимущества для определения составных частей газа путем их сжигания или взрыва. Так как эти операции невозможны с бюреткой Бунте, то метод Гемпеля получает все большее и большее распространение [2].

Специальным весьма удобным для переноски аппаратом, работающим совершенно аналогично, является аппарат Орса (Orsat, см. фиг. 152), который был разработан в первую очередь для анализа дымовых газов. В этом аппарате абсорбционные пипетки присоединены к общей соединительной газовой трубке, так что весь аппарат делается весьма транспортабельным. Кроме того, устранение отдельных соединений обеспечивает большую газонепроницаемость. Однако этот аппарат применим лишь для таких определений, которые могут быть выполнены при помощи абсорбции, так как производство сжиганий в первоначальных конструкциях аппарата не предусматривалось, а выполнение взрывов вообще невозможно. Впоследствии аппарат Орса был дополнен асбестопалладиевой трубкой, что дает возможность производить анализ газа. Обычно же его применяют только для определения CO_2, O_2 и часто CO. С другой

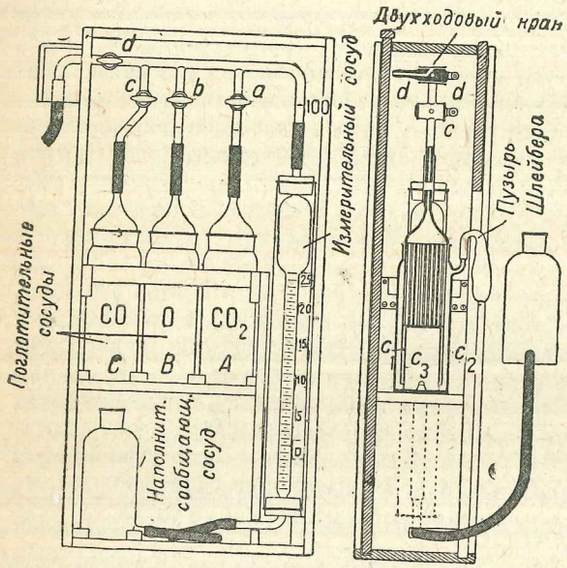
[1] Относительно забора газа см. также проф. И. М. Рафалович, Рационализация типовых печей металлопромышленности, 2-е изд., 1930, где дана, между прочим, новая конструкция газозаборной трубки системы автора, и статью проф. В. П. Федорова в «Изв. Теплотехн. ин-та» № 2/4, 1925. Ред.

[2] Winkler, Lehrbuch der techn. Gasanalyse, Leipzig, Felix (также: Prof. M. Dolch, Brennstofftechnische Praktikum», 1930, Halle, Knapp; W. Gluhd, G. Schneider, H. Winter, Handbuch der Kokerei, 1928, Halle, Knapp — есть русский перевод 1931 г.; Лидов, Анализ газов и др. Ред.).

[1] Об этом Zum. Gaskursus, München: Oldenbourg, 1921; издание Газового ин-та Высш. техн. учил., Карлсруе.

[2] Метод точного анализа малых количеств газа см. у проф. Э. Отто («Gas und Wasserfach» № 48, 1931). Ред.

стороны, путем целесообразного устройства добавочного крана над измерительной бюреткой можно так изменить аппарат, что по выполнении поглотительных операций остаток газа переводится в взрывную пипетку по Гемпелю, что и делает возможным проведение полного анализа. Однако, как правило, аппарат Орса преимущественно применяют для ежедневного эксплоатационного определения CO_2, отнимающего очень мало времени, тогда как полный анализ газа по одному из описанных выше методов целесообразно выполнять в лаборатории [1].



Фиг. 152. Аппарат Орса.

Определение отдельных составных частей газа производится путем последовательных поглощений, причем азот остается в остатке. Соответствующие составные части газа и порядок их удаления таковы:

Сернистый газ и сероводород обычно не определяются, почему они и затрудняют последующие определения. Сернистый газ уходит обычно в запирающую газ воду и может фактически не приниматься во внимание, так как около 80 — 90% серы присутствуют в газе в виде сероводорода. Последний же лучше всего удалять специально присоединяемой трубкой с пемзой, насыщенной медным купоросом. Определение сероводорода или сернистого газа производят путем титрования иодным раствором [2].

[1] Весьма удобной и освоенной советским производством конструкцией этого прибора является «Орса-Симплекс» и для анализа с сжиганием—«Орса-Норзе» (см. у проф. И. М. Рафаловича цитированный труд, о последней конструкции пятисосудного ручного аппарата завода «Тейлоприбор» системы Липаренко, см. «Новости техники» № 58, 1933). Газоанализатор высокой точности, работающий автоматически, выработан физико-технической лабораторией Теплотехнического института на основе «Эконографа», см. «Бюллетень ВТИ» № 4, 1931. Критическое сравнение газоанализаторов различных систем — электрических, аэродинамических и химических — см. в журнале «Тепло и сила» № 4, 1931, стр. 65; см. также Bahr, Über ein neues Orsatgerät für schnelle und genaue Gasanalyse, «G. W. F.» № 19, 1930 г. Ред.

[2] См. Lunge-Berl, Taschenbuch, 6-е изд., стр. 242, Берлин. Хороший обзор современных методов анализа газов дан д-ром А. Зандером, см. Gasprüfung, «Z. d. V. d. I.» № 16, 1929. Интересные данные у Г. Н. Безрадецкого и В. П. Федорова, Поведение сернистого газа в приборе Орса, «Изв. Теплотехн. ин-та» № 4/37, 1928; см. также B. Kattwinkel, Die Bestimmung des Schwefels und Schwefelwasserstoffs in Kohlendestillationsgasen, «Messtechnick» № 2, 1928. Ред.

Углекислота. Поглощающая жидкость — раствор едкого кали с уд. вес. 1,23, получаемый путем растворения 25 *г* KOH, который при этом не должен очищаться спиртом, в 70 *см*^{3} воды.

C_2H_4 и гомологи. Поглощающая жидкость: бромная вода или дымящаяся серная кислота с 25% ангидрида. Последующее промывание раствором едкого кали. Тяжелые углеводороды при отсутствии специальной операции определения или входят в получаемое содержание O_2, или же вообще препятствуют поглощению O_2 при употреблении для этого фосфора.

Кислород. Поглотители: раствор пирогаллола или палочки белого фосфора; последнее рекомендуется только в том случае, если предварительно произведена абсорбция тяжелых углеводородов. Для первого способа приготовляют раствор 1 *г* пирогаллола в 3 *см*^{3} воды, разбавленный 5 *см*^{3} KOH, уд. вес 1,23.

Окись углерода [1]. Поглотитель: Cu_2Cl_2 в кислом или аммиачном растворе. Первый абсорбирует медленно и в случае насыщения начинает вновь отдавать CO, поэтому последний предпочитают. Получается путем растворения 200 *г* Cu_2Cl_2 и 250 *г* NH_4Cl в 750 *см*^{3} воды и введением в раствор медной спирали. Перед употреблением смешивают три части полученного раствора с одной частью раствора NH_3 уд. веса 0,905. Также и при этом поглотителе абсорбция в конце становится очень слабой, почему при точных анализах необходима вторая операция со свежим раствором.

H_2CH_4 и гомологи. Могут определяться только путем сжигания или постепенным сожиганием с применением воздуха (кислорода), проводимым с палладиевым асбестом в стеклянной трубке (нагреваемой на спиртовой лампе) с измерением сжатия k ($H_2 = \frac{2}{3}\ k$) и последующим сжиганием CH_4 в платиновом капилляре; или же — путем одновременного сжигания обоих без примеси воздуха при помощи раскаленной докрасна окиси меди. Последний метод имеет то преимущество, что при этом может быть применен весь газовый остаток. Получающаяся при сжигании с окисью меди CO_2 поглощается KOH ($H_2 = k$, $CH_4 = CO_2$). Так как все эти методы сжигания легко допускают неполноту [2] и берут много времени, то обычно делают общий взрыв при помощи электрической искры и устанавливают количество получившейся CO_2; при этом $CH_4 = CO_2$, $H_2 = {}^2/_3\ (k - 2CH_4)$. Необходим перерасчет, так как операция производится только с частью остаточных газов.

Примеры вычисления результатов можно видеть из табл. 67 и 68. Если берущее много времени поглощение CO исключить, то можно вести расчет применительно к приведенному в табл. 68. Чтобы иметь все же

[1] Содержание окиси углерода в генераторном газе имеет большое теплотехническое значение: скорость горения газовой смеси при значительном содержании CO понижается, пламя делается более длинным и нацело заполняет печь, давая большую радиацию. Поэтому при большой скорости газа в генераторе надлежит держать более высокий слой топлива, чтобы обеспечить образование достаточного количества CO. Ред.

[2] Условия более точного определения водорода и метана приводит Паушардт в «Gasung Wasserfach» № 26, 1931 («Wasserstoff und Methanbestimmung in Orsat nach Jäger über Kupferoxyd»). Ред.

Таблица 67

Пример вычисления при полном поглощении CO аммиачным раствором

Отсчеты	Примечания и вычисления	Результат
$a = 100{,}0$	Взятое количество газа; при меньшем объеме газа x все результаты подлежат умножению на $\frac{100}{x}$.	
$b = 96{,}5$	После абсорбции KOH; $CO_2 = a - b$	3,5% CO_2
$c = 96{,}3$	» » пирогаллолом, $O_2 = b - c$; должно предшествовать определение тяжелых углеводородов абсорбцией дымящейся серной кислотой; последующая абсорбция KOH	0,2% O_2
$d = 69{,}3$	После повторной абсорбции в аммиачном растворе Cu_2Cl_2 (свежем!); $CO = c - d$	26,5% CO_2
$e = 35{,}0$	Участвовавший в сжигании остаток газа; последующие значения умножать на $\frac{d}{e} = \frac{69{,}3}{35{,}0}$	
$f = 99{,}2$	Объем после смешивания с воздухом	
$g = 90{,}6$	» » сжигания; $K = f - d = 8{,}6$	
$h = 89{,}2$	Объем после абсорбции KOH $(CH_4)_r = g - h = 1{,}4$;	
	$CH_4 = \frac{d}{e} \cdot (g - h)$	2,8% CH_4
	$(H_{2r}) = \frac{2}{3}[K - 2\,(CH_4)] = \frac{2}{3}[f - g - 2\,(g - h)]$;	
	$H_2 = \frac{d}{e} \cdot \frac{2}{3}(f + 2h - 3g)$	7,8 % H_2
	Остаток — азот	59,2% N_2

возможность работать с большим исходным объемом газа, рекомендуется применение O_2 для взрыва. Кислород должен быть по возможности чистым, чтобы устранить необходимость введения поправок. Остаток излишнего O_2 в этом случае надлежит определять не при помощи пирогаллола, хотя этот способ сам по себе возможен, а посредством взрыва с примешенным H_2, который может быть и неособенно чистым. Если бюретка имеет объем около 130 *см*³, то общий ход процесса и вычисления могут быть проделаны по схеме табл. 69. Остаточное определение O_2 можно сделать и пирогаллолом, но при больших количествах это очень длительно. Для технического кислорода нужно предварительно определить степень чистоты. Добавленный водород может быть, как сказано выше, нечистым [1].

Проверка данных анализа на возможно различные условия температуры и давления не является необходимой, предполагая, конечно, что весь анализ от начала и до конца проводится при одинаковой температуре, так как процентное содержание влаги в отдельных частичных объемах газа во время анализа остается одним и тем же: газы всегда бывают насыщены водой из запорной трубки бюретки. Поэтому найденные коли-

[1] Интересное видоизменение аппарата Орса, работающего с дожиганием (с платинированным асбестом) предложено проф. К. В. Покровским («Труды IV Всесоюзного Теплотехн. съезда», «Изв. Теплотехн. ин-та» № 10/43, 1928, стр. 115). Ред.

Таблица 68

Опыт при неполном поглощении CO или без поглощения

Отсчеты	Примечания и вычисления	Результаты
$a = 100{,}0$	Как выше (табл. 67)	
$b = 96{,}5$	» »	3,5% CO_2
$c = 96{,}3$	» »	0,2% O_2
$d = 74{,}2$	» » только в кислом растворе (может быть опущен с увеличением ошибки)	22,1% CO (часть
$e = 35{,}0$	Как выше	
$f = 99{,}9$	» » употребленное количество воздуха равно $f - e = 64{,}0$; отсюда $\frac{79}{100} \cdot (f - e) = N_{возд} = 50{,}56\%\ N_2$.	
$g = 88{,}3$	Как выше, $K = 10{,}7$	
$h = 84{,}4$	» » $(CO_2)_r = 3{,}9$, $N_{общ} = 77{,}40\%$	
$i = 77{,}4$	После абсорбции остатка кислорода воздуха;	
	$l = i - \frac{79}{100}(f - e) = N_{газ.\ ост} = 26{,}74\%$; $m = e - l = 8{,}26$	
	$(H_2)_r = m - (CO_2)_r$; $H_2 = \frac{d}{e} \cdot [m - (CO_2)_r] = \frac{74{,}2}{35} \cdot 4{,}36$ . .	9,2% H_2
	$(CO)_r = (CO_2)_r + m - \frac{2}{3}[K + (CO_2)_r]$;	
	$CO = \frac{d}{e} \cdot (CO)_r = \frac{74{,}2}{35} \cdot \left[12{,}16 - \frac{2}{3}(14{,}6)\right]$	5,2% CO (часть)
	$(CH_4)_r = \frac{2}{3}[K + (CO_2)_r] - m$; $CH_4 = \frac{d}{e}(CH_4)_r =$ $= \frac{74{,}2}{35}\left[\left(\frac{2}{3} \cdot 14{,}6\right) - 8{,}26\right]$	3,1% CH_4
	Суммируем:	
	окись углерода	27,3% CO
	остаток азота	56,7% N_2

чественные отношения непосредственно соответствуют действительным содержаниям отдельных частей [1].

Определение теплопроизводительности. Теплопроизводительность газа можно получить по объемному его составу и калорийности отдельных его составляющих с использованием табл. 70 и 71, причем наиболее употребительной, так же как и для топлива, является низшая теплопроизводительность [2]. Приведенные в таблицах

[1] В случае необходимости пересчета это надлежит делать по формулам, применяемым для перевода удельного веса газа, определяемого при помощи аппарата Шиллинга, на нормальные условия; см, например, сообщение В. Левинсона, бюллетень «Новости техники» № 155, 1932 г. Ред.

[2] В САСШ при расчетах применяются установленные Bureau of Mines нормальные значения для калорийности основных составляющих горючих газов, а именно: для CO — 2 777 *кал/м*³; для H_2 — 3 136 *кал/м*³ (высш.) и 2 484 *кал/м*³ (низш.); для CH_4 — 9 693 *кал/м*³ (высш.) и 8 160 *кал/м*³ (низш.); все газы при 15° и 732 *мм* давления.

Таблица 69

Упрощенный анализ газа

Отсчеты	Примечания и вычисления	Результаты
$a = 100{,}0$	Полная бюретка. Взятый объем газа должен быть равен точно 100,0, чтобы вообще избежать пересчетов	
$b = 96{,}5$	После поглощения раствором КОН: $a - b = 100{,}0 - 96{,}5$	$= 3{,}5\%\ CO_2$
$c = 96{,}3$	После поглощения пирогаллолом: $b - c = 96{,}5 - 96{,}3$	$= 0{,}2\%\ O_2$
$d = 128{,}4$	После прибавления кислорода (чистого): $O_2' = i = d - c = 128{,}4 - 96{,}3$	$= 32{,}1\%$
$e = 94{,}7$	После взрыва: происходящее сжатие $k = d - e = 128{,}4 - 94{,}7$	$= 33{,}7\%$
$f = 64{,}3$	После поглощения раствором КОН: $CO_2' = l = e - f = 94{,}7 - 64{,}3$	$= 30{,}4\%$
$g = 95{,}1$	После прибавления избытка водорода	
$h = 72{,}1$	После взрыва: происшедшее сжатие $m = g - h = 95{,}1 - 72{,}1 = 23{,}0\%$	
	Вычисления:	
	$H_2 = k - i + \frac{1}{3} m = 33{,}7 - 32{,}1 + \frac{1}{3} \cdot 23{,}0$	$= 9{,}3\%\ H_2$
	$CH_4 = i - \frac{1}{3}(k + l + m) = 32{,}1 - \frac{1}{3}(33{,}7 + 30{,}4 + 23{,}0) =$ $= 32{,}1 - 29{,}0$	$= 3{,}1\%\ CH_4$
	$CO = \frac{1}{3}(4l + k + m) - i = \frac{1}{3} \cdot (4 \cdot 30{,}4 + 33{,}7 + 23{,}0) -$ $- 32{,}1 = 59{,}4 - 32{,}1$	$= 27{,}3\%\ CO$

Примечание. При некотором навыке и нормальном составе газа вполне можно избежать как значительного избытка кислорода при первом, так и избытка водорода при втором взрывах.

величины относятся к 0°Ц и 760 *мм* рт. ст. Пересчет их на 15°Ц и 1 *ат* не рекомендуется, так как все данные физики и химии относятся также к указанному нормальному состоянию.

Для систематического записывающего контроля теплопроизводительности газа служит газовый калориметр Юнкерса, являющийся одним из точнейших и надежнейших приборов. Продуманность способа действия и устранение источников грубых ошибок в силу самой конструкции прибора и примененного принципа измерения, дают возможность определить калорийность с точностью вполне достаточной в условиях производства. Определение высшей теплопроизводительности сопряжено в связи с некоторой сложностью опыта с известными ошибками. Их причина лежит прежде всего в том обстоятельстве, что подводимый к горелке калориметра газ и воздух для горения, с одной стороны, и отводимые продукты горения, с другой стороны, в зависимости от их температуры и содержания влаги подводят и отводят от калориметра меняющиеся количества водяного пара. Меняющаяся сумма скрытых теплот испарения этих последних количеств влияет на получаемую высшую теплопроизводительность обычно в таком направлении, что она оказывается несколько

Таблица 70

Веса, объемы, состав и теплопроизводительность составных частей газа

Вычислено по константе молекулярного объема, равной 22,412, интернациональным атомным весам 1913 г. и средним величинам физико-химических таблиц Ландольта-Бернштейна, изд. 4, по Ф. Гофману. Верно для 0°, 760 *мм* рт. ст. и 45° северной широты

Составные части	Химическая формула	Молекулярный вес	1 *кг* занимает $м^3$	1 $м^3$ весит *кг* (0° 760 *мм*)	Удельный вес при воздухе, равном 1	1 $м^3$ содержит	Теплопроизводительность 1 $м^3$ Высшая	Теплопроизводительность 1 $м^3$ Низшая
Кислород	O_2	32,00	0,7004	1,428	1,105	—	—	—
Азот чистый	N_2	28,02	0,7999	1,250	0,9673	—	—	—
Азот воздуха	—	(28,177)	0,7958	1,257	0,9722	—	—	—
Воздух	—	(28,984)	0,7734	1,293	1,0	299,7 г O_2 + 993,2 г N_2 = 0,2099 $м^3$ O_2 + 0,7901 $м^3$ N_2	—	—
Водяной пар	H_2O	18,016	1,244	0,8038	0,6217	89,95 г H_2 + 713,9 г O_2	—	—
Углекислота	CO_2	44,0	0,5094	1,963	1,518	535,3 г C + 1 427,8 г O_2	3 062	2 580
Водород	H_2	2,016	11,12	0,0899	0,06957	—	3 043	3 043
Окись углерода	CO	28,00	0,8004	1,249	0,9662	535,4 г C + 713,9 г O_2	9 490	8 526
Метан	CH_4	16,032	1,394	0,7153	0,5532	535,4 г C + 179,9 г H_2	16 570	15 120
Этан	C_2H_6	30,048	0,7459	1,341	1,037	1 070,8 г C + 269,9 г H_2	16 810	14 190
Этилен	C_2H_4	28,032	0,7995	1,251	0,9673	1 070,8 г C + 179,9 г H_2	14 950	13 470
Ацетилен	C_2H_2	26,016	0,8615	1,161	0,8978	1 070,8 г C + 89,95 г H_2	13 950	13 470
Бензол	C_6H_6	78,048	0,2872	3,482	2,693	3 212,4 г C + 269,9 г H_2	35 290	33 840
Толуол	C_7H_8	92,064	0,2434	4,108	3,177	3 747,8 г C + 359,8 г H_2	39,710	37 790
Сернистый ангидрид	SO_2	64,056	0,350	2,857	2,21	1 429,6 г S + 1 427,8 г O_2	(619)[2]	(619)[2]
Сероводород	H_2S	34,072	0,6579	1,520	1,175	1 429,6 г S + 89,95 г H_2	(6 076)	(5 593)
Аммиак [1]	NH_3	17,06	—	0,771	0,590	—	(6 695)[2]	(6 212)[2]
Гелий [1]	He	4,0	—	0,178	0,137	—	—	—

[1] Ред.

[2] При горении до SO_3.

Таблица 71

Определение теплопроизводительности. Составные части в объемных процентах. Низшая теплопроизводительность на 1 $м^3$ газа

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					Водород					
0	—	3	5	8	10	13	15	18	21	23
1	26	28	31	34	36	39	41	44	46	49
2	52	54	57	59	62	65	67	70	72	75
3	77	80	83	85	88	90	93	95	98	101
4	103	106	108	111	114	116	119	121	124	126
5	129	132	134	137	139	142	144	147	150	152
6	155	157	160	162	165	168	170	173	175	178
7	181	183	186	188	191	193	196	199	201	204
8	206	209	211	214	217	219	222	224	227	229
9	232	235	237	240	242	245	247	250	253	255
10	258	261	263	266	268	271	273	276	279	281
11	284	286	289	292	294	297	299	302	304	307
12	310	312	315	317	320	323	325	328	330	333
13	335	338	341	343	346	348	351	353	356	359
14	361	364	366	369	372	374	377	379	382	384
15	387	390	392	395	397	400	402	405	418	410
16	413	415	418	420	423	426	428	431	433	436
17	439	441	444	446	449	451	454	457	459	462
18	464	467	469	472	475	477	480	482	485	487
19	490	493	495	498	500	503	505	508	511	513
20	516	519	521	524	526	529	531	534	537	539
21	542	544	547	550	552	555	557	560	562	565
22	568	570	573	575	578	581	583	586	588	591
23	593	596	599	601	604	606	609	611	614	617
24	619	622	624	627	630	632	635	637	640	642
25	645	648	650	653	655	658	660	663	666	668
26	671	673	676	678	681	684	686	689	691	694
27	697	699	702	704	707	709	712	715	717	720
28	722	725	727	730	733	735	738	740	743	745
29	748	751	753	756	758	761	763	766	769	771
30	774	777	779	782	784	787	789	792	795	797
31	800	802	805	808	810	813	815	818	820	823
32	826	828	831	833	836	839	841	844	846	849
33	851	854	857	859	862	864	867	869	872	875
34	878	880	882	885	888	890	893	895	898	900
35	903	906	908	911	913	916	918	921	924	926
36	929	931	934	936	939	942	944	947	949	952
37	955	957	960	962	965	967	970	973	975	978
38	980	983	985	988	991	993	996	998	1 001	1 003
39	1 006	1 009	1 011	1 014	1 016	1 019	1 021	1 024	1 027	1 029
40	1 032	1 035	1 037	1 040	1 042	1 045	1 047	1 050	1 053	1 055
41	1 058	1 060	1 063	1 066	1 068	1 071	1 073	1 076	1 078	1 071
42	1 084	1 086	1 089	1 091	1 094	1 097	1 099	1 102	1 104	1 107
43	1 109	1 112	1 115	1 117	1 120	1 122	1 125	1 127	1 130	1 133
44	1 135	1 138	1 140	1 143	1 146	1 148	1 151	1 153	1 156	1 158
45	1 161	1 164	1 166	1 169	1 171	1 174	1 176	1 179	1 182	1 184
46	1 187	1 189	1 192	1 194	1 197	1 200	1 202	1 205	1 207	1 210
47	1 213	1 215	1 218	1 220	1 223	1 225	1 228	1 231	1 233	1 236
48	1 238	1 241	1 243	1 246	1 249	1 251	1 254	1 256	1 259	1 261
49	1 264	1 267	1 269	1 272	1 274	1 277	1 279	1 282	1 285	1 287
50	1 290	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					Этан					
0	—	15	30	45	60	76	91	106	121	136
1	151	166	181	197	212	227	242	257	272	287
2	302	318	333	348	363	378	393	408	423	433
3	454	469	484	499	514	529	544	559	575	590
4	605	620	635	650	665	680	696	711	726	741
5	756	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					Окись углерода					
0	—	3	6	9	12	15	18	21	24	27
1	30	33	37	40	43	46	49	52	55	58
2	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88
3	91	94	97	100	103	107	110	113	116	119
4	122	125	128	131	134	137	140	143	146	149
5	152	155	158	161	164	167	170	173	177	180
6	183	186	189	192	195	198	201	204	217	210
7	213	216	219	222	225	228	231	234	237	240
8	243	246	250	253	256	259	262	265	268	271
9	274	277	280	283	286	289	292	295	298	301
10	304	307	310	313	316	320	323	326	329	332
11	335	338	341	344	347	350	353	356	359	362
12	365	368	371	374	377	380	383	386	390	393
13	396	399	402	405	408	411	414	417	420	423
14	426	429	432	435	438	441	444	447	450	453
15	456	459	463	466	469	472	475	478	481	484
16	487	490	493	496	499	502	505	508	511	514
17	517	520	523	526	529	533	536	539	542	545
18	548	551	554	557	560	563	566	569	572	575
19	578	581	584	587	590	593	596	599	603	606
20	609	612	615	618	621	624	627	630	633	636
21	639	642	645	648	651	654	657	660	663	666
22	669	673	676	679	682	685	688	691	694	697
23	700	703	706	709	712	715	718	721	724	727
24	730	733	736	739	742	746	749	752	755	758
25	761	764	767	770	773	776	779	782	785	788
26	791	794	797	800	803	806	809	812	816	819
27	822	825	828	831	834	837	840	843	846	849
28	852	855	858	861	864	867	870	873	876	879
29	882	886	889	892	895	898	901	904	907	910
30	913	916	919	922	925	928	931	934	937	940
31	943	946	949	952	956	959	962	965	968	971
32	974	977	980	983	986	989	992	995	998	1 001
33	1 004	1 007	1 010	1 013	1 016	1 019	1 022	1 025	1 029	1 032
34	1 035	1 038	1 041	1 044	1 047	1 050	1 053	1 056	1 059	1 062
35	1 065	1 068	1 071	1 074	1 077	1 080	1 083	1 086	1 089	1 092
36	1 095	1 099	1 102	1 105	1 108	1 111	1 114	1 117	1 120	1 123
37	1 126	1 129	1 132	1 135	1 138	1 141	1 144	1 147	1 150	1 153
38	1 156	1 159	1 162	1 165	1 169	1 172	1 175	1 178	1 181	1 184
39	1 187	1 190	1 193	1 196	1 199	1 202	1 205	1 208	1 211	1 214
40	1 217	1 220	1 223	1 226	1 229	1 232	1 235	1 239	1 242	1 245
41	1 248	1 251	1 254	1 257	1 260	1 263	1 266	1 269	1 272	1 275
42	1 278	1 281	1 284	1 287	1 290	1 293	1 296	1 299	1 302	1 305

Продолжение

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	1 308	1 312	1 315	1 318	1 321	1 324	1 327	1 330	1 333	1 336
44	1 339	1 342	1 345	1 348	1 351	1 354	1 357	1 360	1 363	1 366
45	1 369	1 372	1 375	1 378	1 382	1 385	1 388	1 391	1 394	1 397
46	1 400	1 403	1 406	1 409	1 412	1 415	1 418	1 421	1 424	1 427
47	1 430	1 433	1 436	1 439	1 442	1 445	1 448	1 452	1 455	1 458
48	1 461	1 464	1 467	1 470	1 473	1 476	1 479	1 482	1 485	1 488
49	1 491	1 494	1 497	1 500	1 503	1 506	1 509	1 512	1 515	1 518
50	1 522	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Метан

0	—	9	17	26	34	43	51	60	68	77
1	85	94	102	111	119	128	136	145	153	162
2	171	179	188	196	205	213	222	230	239	247
3	256	264	273	281	290	298	307	315	324	333
4	341	350	358	367	375	384	392	401	409	416
5	426	435	443	452	460	469	477	486	495	503
6	512	520	529	537	546	554	563	571	580	588
7	597	605	614	622	631	639	648	657	665	674
8	682	691	699	708	716	725	733	742	750	759
9	767	776	784	793	801	810	818	827	836	844
10	853	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ниже. Порядок величин этих ошибок безусловно заслуживает внимания в случаях, при которых требуется обязательное определение точной величины высшей теплопроизводительности, несмотря на связанную с этим определением сложность выполнения опыта и пересчетов [1].

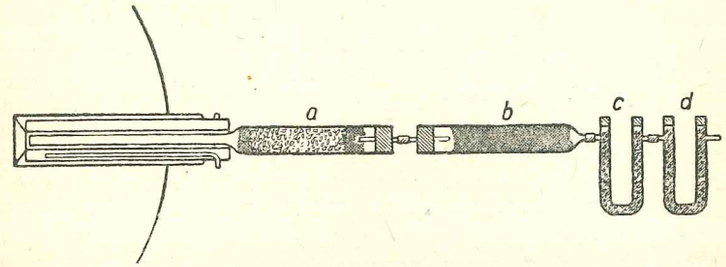
Определение смолы, пыли и влажности. Производится при помощи фильтрации и поглощения хлористым кальцием. Наиболее удачным является прибор Енкнера [2] (Junkner), который, как это показано на фиг. 153, просасывает пробу газа через отрезок трубки, охлаждаемой водой, чтобы устранить возможные потери на испарения легких масел смолы. Задняя часть трубки *a* наполнена мелко нарезанными кусочками стеклянных трубок — по типу колец Рашига — (впереди и сзади — пробки из стеклянной шерсти), трубка *b* плотно наполнена ватой и, наконец, последними присоединены хлорокальциевые трубки *c* и *d*. После производства опыта через прибор пропускают в течение часа подсушенный воздух при 50°, чтобы перевести влагу из *a* и *b* в *c* и *d*. Вся пыль оседает в трубке *a* вместе с частью смолы, остальная

[1] Интересные подробности и оценку метода проф. Юнкерса дает A. Herbehalz, Neue Gesichspunkte zur Bentteilung des gas Kolorimeters nach Prof. Junkers Messtechnik, № 6, 1928.

Таблицы для расчета калорийности газов см. K. Ludwig, Reduktions-Tabelle für Heizwert und Valumen von Gasen DIN — Form D. 4, 1928; о газовом калориметре Грефе см. у Гернсдорфа: H. Herrnsdorf, Das neue Groefe Gaskalorimeter «Messtechnik» № 7, 1928. Ред.

[2] «St. u. E.», 1921, стр. 181 (см. также G. Neumann u. F. Strechuber, Messung des Staubs и Teergehaltes in Generatorgas, «Archiv zür Eisenhüttenwesen» № 3, 1930. Ред.

часть смолы в трубке *b*. Для разделения пыли и смолы трубку *a* промывают подогретым бензолом, причем смола переходит в раствор, так что при последующем взвешивании трубки и использованного фильтра может быть определено содержание пыли. Для генераторного газа обычно разделение смолы от пыли не является необходимым [1].



Фиг. 153. Расположение приборов для определения смолы по Енкеру.

Определение аммиака в газе. Так как это определение для условий нормального производства едва ли может понадобиться, то мы отсылаем к соответствующей литературе. Основа определения — просасывание определенного количества газа, улавливание при этом аммиака при помощи серной кислоты и определение количества аммиака при помощи титрования.

3. Составление материального и теплового балансов

Имея, таким образом, все составные элементы, мы должны, однако, наблюдать, чтобы всегда принимались в расчет отвечающие друг другу величины. Поэтому весьма целесообразно брать за основу расчета результаты одного определенного испытания.

При этом нужно в особенности соблюдать следующее: длительность опыта не менее 48, лучше 72 часа [2] — после правильной пятидневной работы на одном и том же топливе, чтобы зольный слой соответствовал данному топливу и наступило бы вполне установившееся состояние. Полное исследование топлива, по возможности с включением элементарного анализа, в течение опыта делать дважды, обязательным исследованием остатков на содержание горючего в сухом состоянии, при более высоком содержании вследствие различных причин — также и определением теплопроизводительности остатков. Количества топлива и золы по возможности определять взвешиванием. Указанные выше отсчеты выполнять тщательно и пунктуально. Каждые 24 часа по меньшей мере однажды проводить измерение потребляемого пара. Каждых шесть часов — полный

[1] Для проверки анализа газа системой последующих расчетов дан специальный метод германским тепловым бюро (Warmestelle des Vereins deutscher Eisenhüttenleute).

Практика метода и его оценка см. Brodman u. Schrader, Beitrag zu den Verfahren der rechnerischen Nachprüfung van Generatorgasanalysen, «Arch. f. E. h. Wesen», 1929/30, стр. 133. Ред.

[2] По «Нормам для испытания газогенераторов», принятым IV Всесоюзным Теплотехническим съездом, минимальный срок испытания принят в 24 часа. Ред.

анализ газа, каждые два часа — определение содержания CO_2 (если нет записывающих аппаратов) и определение точки росы. Обязательное (хотя бы один раз в течение опыта) определение содержания смол, пыли и влаги в газе, кроме того, определение аммиака, сероводорода и сернистого ангидрида. Получить данные для определения количества газа (замеры давления), если отсутствуют специальные его измерители.

Рекомендуется проводить опыт по возможности в неизменных условиях. Из всех замеров за всю длительность опыта определяют среднее значение. Пропущенное количество топлива корректируется с принятием во внимание перемещений верхней границы топлива и соответственно зольных слоев. Если в дутьевой камере наблюдаются значительные конденсации, их количество также надлежит замерить. Точно так же надлежит определить количества воды, испаряемые из гидравлики. Причем необходимо учитывать количество воды, теряющееся с золой; обычно количество испаряемой воды незначительно и может быть опущено из расчета; только при низко спустившемся огне этот пункт делается довольно значительным.

В заключение необходимо еще провести замер расхода энергии как на самый газогенератор, так и на вентилятор и другие вспомогательные устройства; вообще должны быть учтены все факторы, связанные со специальным характером установки. Форма сопоставления результатов приведена на табл. 72.

Обозначим теперь:

H_p, O_p, N_p — содержание этих веществ в угле в $г$ на 1 $кг$ рабочего топлива;

CO_2, CO, H_2, CH_4, O_2 C_nH_m, N_2 — объемные проценты в газе этих составных частей;

s — отделение пыли $г$ на 1 $кг$ рабочего топлива;

t — содержание смолы в $г$ на 1 $м^3$ (если не имеется анализа смолы, ее надлежит считать в среднем за 80% C, 7% H_2, 12% O_2);

K_1 — содержание углерода в 1 $м^3$ газа в $г$, равное 5,354 ($CO_2 + CO + CH_4 + C_nH_m$) (см. к этому табл. 73);

K_2 — содержание углерода в смоле в 1 $м^3$ газа в $г = 0{,}8\,t$;

K_3 — содержание углерода в $г$ на 1 $кг$ рабочего топлива;

K_4 — содержание углерода в $г$ на 1 $кг$ сухих генераторных остатков;

K_5 — содержание углерода в $г$ на 1 $кг$ пыли (если определяется отдельно от смолы);

A_1 — содержание золы в $г$ на 1 $кг$ рабочего топлива;

A_2 — содержание золы в $г$ на 1 $кг$ сухих остатков, равное 1 000 — K_4.

Тогда потери углерода будут:

$$K_n = \frac{s \cdot K_5}{1\,000} + K_4 \cdot \frac{A_1}{A_2}.$$

Содержание горючего в 1 $м^3$ газа:

$$K_г = K_1 + K_2.$$

Выход газа:

$$V_г = \frac{K_3 - K_n}{K_г}.$$

Таблица 72

Форма записи результатов испытания газогенератора[1]

Место . . . . . Время . . . . . Система газогенератора . . . . . Руководитель испытания . . . . .

| | | |

Количество кислорода в газе:

$$(CO + 2CO_2 + 2O_2) \cdot 7{,}139 + 12\,t.$$

Кислород из воздуха:

$$\left(N_2 - \frac{N_p}{V_г \cdot 1{,}25}\right) \cdot 3{,}793.$$

Кислорода из пара при его разложении по разности $= x$;
Водорода из угля:

$$\frac{H_p - 0{,}136\,O_p}{V_г}.$$

Водорода в газе:

$$(H_2 + 2CH_4 + 2C_nH_m) \cdot 0{,}8995 + 0{,}07\,t.$$

Водорода из пара при его разложении по разности $= y$.
Должно иметь место соотношение:

$$7{,}935y = x.$$

Если последнее выражение оказывается неверным, то в аналитических данных имеется ошибка, и поверочный пересчет обычно действительно показывает, в чем она заключается и какие определения требуют особого внимания.

Если материальный баланс составлен, то можно, исходя из калорийности его составляющих, установить тепловой баланс процесса [1].

Если выход газа не определен непосредственным замером, а вычислен по предыдущему, то, конечно, этот баланс окажется несколько ненадежным, так как к одному неизвестному остаточному члену (потери радиацией и теплопроводностью) прибавляется еще другой — неточное количество газа, в каковых величинах, конечно, и будут суммироваться все ошибки произведенных определений. На этом основании при точных определениях составление баланса углерода, как это обычно ранее проводилось, нельзя считать достаточным и необходимо составление полного материального баланса, как описано выше. Особенно важно при этом такие определения влажности и соответственно количество пара, подводимого в газогенератор различными путями, и с другой стороны — определение влажности газа, чтобы по возможности точно увязать в материальном балансе количество подвергшегося разложению водяного пара. Для этого может быть применено следующее уравнение влажности:

$V_г \cdot 8{,}935 \cdot y$ = расход пара на 1 *кг* угля + пар из водного затвора на 1 *кг* угля + содержание влаги в угле + 1,125 O_p — $V_г$ содержание влаги в 1 *м*³ газа при 0°.

[1] В качестве практического примера производственных балансов мы приводим здесь материальный и тепловой балансы газера AVG на Челябинском угле и дятьковского газогенератора на подмосковном угле (см. «Изв. Теплотехн. ин-та» № 2/72, 1932; ст. Н. В. Шишакова и Химия твердого топлива № 7, 1931; А. Ф. Жуков и Л. З. Новиков, Дятьковская газогенераторная установка Мосхимэнергостроя): табл. 72а и 72б. См. также у В. П. Федорова, Тепловые балансы промышленных печей и способы их составления, 1927, в цитированных трудах И. М. Рафаловича и С. Ф. Фролова. Ред.

Таблица 72а (Ред.)

Материальный баланс процессов газификации челябинского угля
Работа со швельшахтой (газер AVG)

№ по пор.	Статьи баланса	*W*	*A*	S	C	H	O	N	Σ
1	Топливо	17,46	17,30	0,74	48,49	3,46	11,30	1,25	100,00
2	Воздух	—	—	—	—	—	24,00	79,96	103,96
3	Влага воздуха	1,39	—	—	—	—	—	—	1,39
4	Пар неразложенный	13,38	—	—	—	—	—	—	25,08
5	Пар разложенный	—	—	—	—	1,38	10,32	—	
	Итого	32,23	17,30	0,74	48,49	4,84	45,62	81,21	230,43
	Расход								
1	Газ сухой	—	—	0,40	31,68	4,22	44,42	80,89	161,70
2	Влага газа	20,21	—	—	—	—	—	—	20,21
3	Смола	—	—	0,06	4,36	0,41	0,54	0,13	5,50
4	Шлак	—	17,30	0,29	12,45	0,28	0,66	0,10	31,08
5	Вода, сконденсировавшаяся в газопроводах	12,02	—	—	—	—	—	—	12,02
	Итого	32,23	17,30	0,75	48,49	4,91	45,62	81,21	230,51
6	Невязка	—	—	0,01	—	0,07	—	—	0,08
	Баланс	32,23	17,30	0,74	48,49	4,84	45,62	81,21	230,43

Таблица 72б (Ред.)

Тепловой баланс процесса газификации подмосковного угля на Дятьковском газогенераторе (на 100 *кг* загруженного угля)

№ по пор.	Наименование статей баланса	*кал*	%
	Приход		
1	Теплотворная способность угля	287,700	98,3
2	Теплосодержание влажного воздуха (дутья)	4,910	1,7
	Итого в приходе	292,610	100,0
	Расход		
1	Теплотворная способность сухого газа	212,000	72,50
2	Теплосодержание сухого газа	3,440	1,17
3	» влаги в газе	13,000	4,44
4	Теплотворная способность сухой смолы	40,000	13,65
5	Потери тепла со шлаком и уносом	15,810	5,40
	Итого в расходе	284,250	97,16
6	Потеря тепла в окружающую среду и пр. (по разности)	8,360	2,84
	Баланс	292,610	100,0

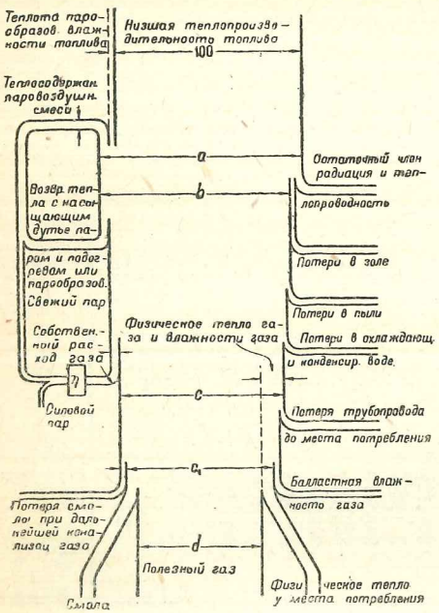
Таблица 73

Содержание углерода в газах: C *г* в 1 *м*³ газа на *x* объемных процентов, содержащих углерод составных частей (C_2H_4 и гомологи считать вдвойне)

Объемный %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	0,5354	1,0708	1,6062	2,1416	2,6770	3,2124	3,7478	4,2832	4,8186
1	5,3540	5,8894	6,4248	6,9602	7,4956	8,0310	8,5664	9,1018	9,6372	10,1726
2	10,7080	11,2434	11,7788	12,3142	12,8496	13,3800	13,9204	14,4558	14,9912	15,5266
3	16,0620	16,5974	17,1328	17,6682	18,2036	18,7390	19,2744	19,8098	20,3452	20,8806
4	21,4160	21,9514	22,4868	23,0222	23,5576	24,0930	24,6284	25,1638	25,6992	26,2346
5	26,7700	27,3054	27,8408	28,3762	28,9116	29,4470	29,9824	30,5178	31,0532	31,5886
6	32,1240	32,6594	33,1948	33,7302	34,2656	34,8010	35,3364	35,8718	36,4072	36,9426
7	37,4780	38,0134	38,5488	39,0842	39,6196	40,1550	40,6904	41,2258	41,7612	42,2966
8	42,8320	43 3674	43,9028	44,4382	44,9736	45,5090	46,0444	46,5798	47,1152	47,6506
9	48,1860	48,7214	49,2568	49,7922	50,3276	50,8630	51,3984	51,9338	52,4692	53,0046
10	53,5400	54,0754	54,6108	55,1462	55,6816	56,2170	56,7524	57,2878	57,8232	58,3586
11	58,8940	59,4294	59,9648	60,5002	61,0356	61,5710	62,1064	62,6418	63,1772	63,7126
12	64,2480	64,7834	65,3188	65,8542	66,3896	66,9250	67,4604	67,9958	68,5312	69,0666
13	69,6020	70,1374	70,6728	71,2082	71,7436	72,2790	72,8144	73,3498	73,8852	74,4206
14	74,9569	75,4914	76,0268	76,5622	77,0976	77,6330	78,1684	78,7038	79,2392	79,7746
15	80,3100	80,8454	81,3808	81,9162	82,4516	82,9870	83,5224	84,0578	84,5932	85,1286
16	85,6640	86,1994	86,7348	87,2702	87,8056	88,3410	88,8764	89,4718	89,9472	90,4826
17	91,0180	91,5534	92,0888	92,6242	93,1596	93,6950	94,2304	94,7658	95,3012	95,8366
18	96,3720	96,9074	97,4428	97,9782	98,5136	99,0490	99,5844	100,1198	100,6552	101,1906
19	101,7260	102,2614	102,7968	103,3322	103,8676	104,4030	104,9384	105,4738	106,0092	106,5446
20	107,0800	107,6154	108,1508	108,6862	109,2216	109,7570	110,2924	110,8278	111,3632	111,8986
21	112,4340	112,9694	113,5048	114,0402	114,5756	115,1110	115,6464	116,1818	116,7177	117,2526
22	117,7880	118,3234	118,8588	119,3942	119,9296	120,4650	121,0004	121,5358	122,0712	122,6066

23	123,1420	123,6774	124,2128	124,7482	125,2836	125,8100	126,3544	126,8898	127,4252	127,9606
24	128,4960	129,0314	129,5668	130,1022	130,6376	131,1730	131,7084	132,2438	132,7792	133,3146
25	133,8500	134,3854	134,9208	135,4562	135,9916	136,5270	137,0624	137,5978	138,1332	138,5686
26	139,2040	139,7394	140,2748	140,8102	141,3456	141,8810	142,4164	142,9518	143,4872	144,0226
27	144,5580	145,0934	145,6288	146,1642	146,6996	47,2350	147,7704	148,3058	148,8412	149,3766
28	149,9120	150,4474	150,9828	151,5182	152,0536	152,5890	153,1244	153,6598	154,1952	154,7306
29	155,2660	155,8014	156,3368	156,8722	157,4076	157,9430	158,4784	159,0138	159,5492	160,0846
30	160,6200	161,1554	161,6908	162,2262	162,7616	163,2970	163,8324	164,3678	164,9032	165,4386
31	165,9740	166,5094	167,0448	167,5802	168,1156	168,6510	169,1864	169,7218	170,2572	170,7926
32	171,3280	171,8634	172,3988	172,9342	173,4696	174,0050	174,5404	175,0758	175,6112	176,1466
33	176,6820	177,2174	177,7528	178,2882	178,8236	179,3590	179,8944	180,4298	180,9652	181,5006
34	182,0360	182,5714	183,1068	183,6422	184,1776	184,7130	185,2484	185,7838	186,3192	186,8546
35	187,3900	187,0254	188,4608	188,9962	189,5316	190,0670	190,6024	191,1378	191,6732	192,2086
36	192,7440	193,2794	193,8148	194,3502	194,8856	195,4210	195,9564	196,4918	197,0272	197,5626
37	198,0980	198,6334	199,1688	199,7042	200,2396	200,7750	201,3104	201,8458	202,3812	202,9166
38	203,4520	203,9878	204,5228	205,0582	205,5936	206,1290	206,6644	207,1998	207,7352	208,2706
39	208,8060	209,3414	209,8768	210,4122	210,9476	211,4830	212,0184	212,5538	213,0892	213,6246
40	214,1600	214,6954	215,2308	215,7662	216,3016	216,8370	217,3724	217,9078	218,4432	218,9786
41	219,5140	220,0494	220,5848	221,1202	221,6556	222,1910	222,7294	223,2618	223,7972	224,3326
42	224,8680	225,4034	225,9388	226,4742	227,0096	227,5450	228,0804	228,6158	229,1512	229,6866
43	230,2220	230,7574	231,2928	231,8282	232,3636	232,8990	233,4344	233,9698	234,5052	235,0406
44	235,5760	236,1114	236,6468	237,1822	237,7176	238,2530	238,7884	239,3238	239,8592	240,3946
45	240,9300	241,4654	242,0008	242,5362	243,0716	243,6070	244,1424	244,6778	245,2132	245,7486
46	246,2840	246,8194	247,3548	247,8902	248,4256	248,9610	249,4964	250,0318	250,5672	251,1026
47	251,6380	252,1734	252,7088	253,2442	253,7796	254,3150	254,8504	255,3858	255,9212	256,4566
48	256,9920	257,5274	258,0628	258,5982	259,1336	259,6690	260,2044	260,7398	261,2752	261,8106
49	262,3460	262,8814	263,4168	263,9522	264,4876	265,0230	265,5584	266,0938	266,6292	267,1646
50	267,7000	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Для фиксации теплового баланса может служить схема, представленная на фиг. 154. За 100 принимается низшая теплопроизводительность подводимого топлива. Предложенная Союзом германских металлургов (Verein deutscher Eisenhüttenleute) форма [1] составления теплового баланса, в которой за 100 частей принимается общая сумма обращаемого тепла a, по моему мнению, не может быть рекомендована. Правда, при нормальном процессе газификации при незначительном расходе пара влияние дополнительных факторов очень мало. Однако, если мы хотим создать общеприменимую схему, то нужно принять во внимание, что при принятии за 100 максимальной величины все величины потерь делаются слишком малыми; это приводит к искажению соответствующих величин, в особенности при газификации с отбором побочных продуктов. Так, де-Граль [2] очень наглядно показывает на следующем примере газификации по способу Монда влияние обоих способов расчета баланса, причем приходится сознаться, что получающаяся разница весьма заслуживает внимания:



Фиг. 154. Схема теплового баланса.

	По V. d. E.	По Тренклеру
Потери газогенератора	6,2	8,1
» в золе	2,6	3,4
» с пылью	4,3	5,6
» в смоле	4,8	6,3
» с охлаждающей водой	6,7	8,8
» излучением	3,3	4,3
	27,9	36,5

Так как обычно потери всегда относятся к теплопроизводительности топлива, то вычисления по предлагаемой схеме дают непосредственно правильные значения, тогда как по старым нормам они сначала должны быть пересчитаны, чтобы получить сравнимую форму. Представленная на фиг. 154 схема имеет, однако, также и то преимущество, что ею может быть принят во внимание всякий вспомогательный процесс, хотя бы и не используемый в форме тепла; чтобы правильно отразить практические условия процесса, в схему баланса вводят потребляемый пар или необходимую энергию, а также другие вспомогательные факторы, вызывающие

[1] Normen für Versuche an Gaserzeugern, «St. u. E.», 1914, стр. 236.
[2] «Wirtschaftliche Verwertung der Brennstoffe», 2-е изд., стр. 226, Ольденбург.

какую-либо косвенную затрату тепла, с введением их фактических или средних к. п. д., переведенных на составляющие газа; таким образом мы можем притти к понятию о полезном количестве газа, отличающемся от истинного количества, но для оценки являющемся решающим [1].

В связи с предыдущими соображениями находится вопрос о том, следует ли вести расчет по высшей или низшей теплопроизводительности топлива и газа? Нормы V. d. E. предусматривают низшую теплопроизводительность, между тем, как в соответствии с введением в расчет теплоты подводимого пара, казалось бы, более правильным для характеристики теплооборота ввести в него теплоту испарения влаги топлива, т. е. положить в основу баланса, принять за 100 — высшую теплопроизводительность топлива. При газификации богатых влагой топлив было специально предложено брать высшую теплопроизводительность, чтобы получить, как думали, надежные расчетные данные [2]. Однако, как показывают приведенные в этих же источниках материальные балансы, влага топлива не участвует в процессе; она еще в верхних слоях топливной шихты газогенератора уже удаляется в виде пара; потребное для испарения количество тепла отнимается при этом из запаса физического тепла самого газа, и, следовательно, не входит в тепловой оборот реакционной зоны. Указанные в названной работе отклонения объясняются ошибками анализов топлива и газа, как это можно видеть из неполноты соответствующих водородного и кислородного балансов. На это обстоятельство указывают также и авторы. Сравнение приведенных в работе тепловых балансов доказывает правильность сказанного выше, а именно, что принятие высшей теплопроизводительности уменьшает все величины потерь, а также и теплосодержание самого газа. Кроме того, при этом теряется из расчета теплота испарения содержащейся в газе влаги. Обычно при дальнейшем использовании газа ведут расчет не по высшей теплопроизводительности, а по низшей, совершенно так же, как это имеет место для топок паровых котлов. Поэтому представляется нецелесообразным принимать для газификации иные правила, тем более, что для этого нет никаких определенных мотивов. Указание, что при газификации топлив со значительной влажностью теплота парообразования снова может быть использована в виде теплосодержания влажности газа, при применении его для подогрева и насыщения воздушного дутья, не может считаться вполне обоснованным, так как без каких-либо затруднений получающуюся, таким образом, экономию тепла можно отразить в схеме оборота (фиг. 154). Со столь же малым основанием можно остающуюся влажность газа считать заранее причиной потерь тепла; фактически водяной пар газа как в процессах переработки газа, так и в процессах горения в основном является баластным веществом и в качестве такового учитывается при расчетах.

Физическое тепло горячего газа и содержащегося в нем пара вычисляют по их удельным теплоемкостям, для которых Б. Нейман [3] (B. Neuman) дал систематическую сводку всех значений по различным исследо-

[1] См. также «Нормы для испытания газогенераторов», утвержденные IV Всесоюзным теплотехническим съездом (1928 г.), «Изв. Теплотехн. ин-та» № 10/43, 1928 г. Ред.
[2] Hilliger und Wurm, Braunkohlenvergasung bei Gewinnung von Urteer. Forsch. Arb. Heft 243, стр. 34 — 41.
[3] «St. u. E.», 1919, стр. 746.

Теплосодержание при $t°$ Ц и

$T° =$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000
1 *м*³ 2-атомного газа .	0	31	62	94	126	159	192	226	260	295	330
1 » CO_2	0	41	85	131	180	232	285	341	398	456	514
1 » H_2O	0	37	75	114	153	192	232	273	314	357	402
1 *кг* O_2	0	21	43	65	88	111	134	158	182	206	231
1 » N_2	0	25	50	75	101	127	154	181	208	236	264
1 » воздуха	0	24	48	72	91	123	149	175	201	228	255
1 » H_2	0	343	691	1 045	1 403	1 767	137	511	2 890	3 276	3 666
1 » CO	0	25	50	75	101	127	154	181	208	236	264
1 » CO_2	0	21	43	68	93	119	146	174	202	231	260
1 » H_2O	0	46	93	140	188	237	286	335	387	441	495

ваниям, или же по данным автора, приведенным в табл. 54, несколько отличающимся от величин Неймана и дополненным по сравнению с его данными [1]. Чтобы избежать вычислений с удельными теплоемкостями, в табл. 74 приведены расчеты теплосодержания для различных газов и различных температур. Итак, физическое тепло полученного газа не представляет само по себе потерю для газогенератора, но может стать источником потерь при канализации и применении газа. Действительные потери газогенератора — это только несгоревшее топливо в остатках и в пыли и потери на излучение. При расчете «теплотехнического» или «термического» к. п. д. процесса газификации необходимо включать поэтому в приходную часть не только теплотворную способность газа, но и его физическое тепло, теплопроизводительность смолы и теплосодержание полученного пара b, причем в расходной части будет только теплопроизводительность топлива (100). Содержащаяся как в топливе, так и в газе влага не принимается в расчет как баласт. Это может показаться на первый взгляд несколько произвольным и неправильным, так как ведь, например, при добавке пара его теплота парообразования является несомненной затратой; однако мы должны вспомнить, что разложение водяного пара сопровождается поглощением тепла (стр. 65) и что поэтому у нас по необходимости должен отсутствовать другой фактор расчета. Теплота же парообразования может вообще не приниматься в расчет по той причине, что при расчете по низшей теплопроизводительности она одновременно исключается. Расход тепла, вызванный какой-либо операцией, не соединенной с парообразованием или насыщением добавочного пара [2], имеет значение при определении полезного количества газа d.

Но во многих случаях приходится отказаться от полезного учета физического тепла газа при невозможности его использования, а также

[1] Всесоюзными теплотехническими съездами приняты в основном значения теплоемкостей газов, выведенные Партингтоном из данных многих исследователей; см. I. R. Partington and W. G. Shiling, The specific heats of gases, 1924, и «Изв. Теплотехн. ин-та» № 2 (45), 1929. Заключения комиссии проф. А. И. Бачинского. Ред.

[2] Теплоту процесса дестилляции (коксования) принимаем равной нулю; см. В. П. Федоров, Тепловые балансы коксовых печей, «Изв. Теплотехн. ин-та» № 2/4, 1925.

Таблица 74

постоянном давлении, *кал*.

1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 600	2 800	3 000
365	402	448	476	513	550	628	708	790	871	957	1 044	1 131
571	629	686	746	806	866	990	1 116	1 243	1 373	1 500	1 633	1 761
449	497	546	598	650	704	819	946	1 085	1 231	1 396	1 557	1 734
256	281	307	333	359	385	439	495	551	608	667	728	792
292	321	350	380	410	441	502	566	631	697	765	835	906
282	310	338	367	396	425	485	547	610	673	739	806	875
4 061	4 462	4 869	5 279	5 696	6 117	6 957	7 858	8 758	9 682	10 626	11 589	12 576
292	321	350	380	410	441	502	566	631	697	765	835	906
289	318	348	378	410	440	502	566	529	694	757	823	888
551	608	675	728	791	856	997	1 156	1 327	1 510	1 703	1 912	2 139

не принимать во внимание и получаемую смолу; это, в особенности, характерно для тех случаев, когда газ должен применяться в очищенном и по возможности охлажденном виде, т. е. преимущественно для силового газа и т. п. Поэтому обычно вводят еще вторую характеристику процесса газификации — «химический к. п. д.», дающий отношение между количеством тепла, отвечающим теплопроизводительности полученного газа, и количеством тепла, содержащегося в топливе. Этот к. п. д. будет, конечно, применим лишь для определенных случаев; он сильно зависит от общих свойств топлива, так как, например, смолистые топлива дают низкий химический к. п. д., если смола не будет подвергнута разложению. Химический к. п. д. может служить, с одной стороны, характеристикой топлива, с другой стороны, характеристикой самого процесса газификации, и является особенно благоприятным в тех случаях, когда доля исключаемой физической теплоты газа невелика.

Наряду с этими двумя к. п. д. применяют на практике также еще «технический» к. п. д. $\left(\frac{c}{100}\text{ или }\frac{c'}{100}\right)$, учитывающий потребные в эксплоатационном отношении результаты процесса. Однако подобную характеристику нужно признать нецелесообразной, так как существующая запутанность в определениях к. п. д. объясняется именно стремлением приспособиться к различным практическим требованиям, меняющимся в зависимости от обстоятельств. Этот технический к. п. д. будет различен для одного и того же процесса в зависимости от того, пойдет ли газ в подогревательные аппараты, или в топки паровых котлов с предварительным отбором побочных продуктов, или, наконец, в газовые машины.

4. Заключение

Технический к. п. д., как видно из схем, слагается из трех разных частей: теплопроизводительности самого газа, физического тепла газа и теплопроизводительности смолы. Оба последних фактора являются при канализации газа источниками потерь, не говоря уже о том, что содержащийся в газе водяной пар является лишь вредным баластом, почему и должен рассматриваться как потеря. Как уже было раньше указано, эти потери могут быть снижены лишь путем соответствующего ведения процесса или

же правильным конструированием всей установки. Подобные же соображения обусловили весьма распространенное раньше стремление при получении газа для целей нагрева работать с максимальным разложением смолистых составных частей газа. До тех пор, пока отбор смолы и в особенности ее последующая переработка не оказались рентабельными, это было с точки зрения получения более ценного веса вполне правильно [1].

Влияние физического тепла самого газа является фактором, не требующим пояснений. Потери в этом направлении являются совершенно неизбежными. Чтобы дать представление о значении водного баласта при различных топливах, в табл. 75 сделано сопоставление распределения тепла по компонентам газа (цифры округлены). Сумма последних четырех величин в некоторых случаях превосходит 100, что легко может быть объяснено схемой; эта сумма соответствует величине b, которая, конечно, может быть больше 100. Сумма же тех же величин безбаластной влажности всегда будет меньше 100 и соответствует примерно величине c.

Таблица 75

Распределение тепла газа для различных топлив

Газифицируемое топливо	Кокс	Каменный уголь	Буроугольные брикеты	Низкосортные топлива	
				40% H_2O	55% H_2O
Выход газа, $м^3/кг$	4,5	3,7	2,5	1,5	1,2
Температура газа, °Ц . .	800	600	300	120	80
Химический к. п. д., % .	78	72	74	75	72
Доля теплопроизводительности, приходящейся на смолу, %	—	10	14	14	8
То же, на физическое тепло газа, %	14	12	6	2	1
То же, на физическое тепло пара, содержащегося в газе, %	1	3	5	11	16

Можно установить, исходя из этих данных, следующие выводы: запас тепла, соответствующий теплопроизводительности газа, не претерпевает каких-либо потерь, между тем как последних нельзя избежать в отношении физического тепла газа и смолы, что влечет за собой также следующее заключение:

Надлежит не допускать слишком большого нагрева газогенератора, работая на нем с такой низкой температурой, какую только допускает топливо [2].

[1] См. также Н. А. Костылев, Расчет процессов горения и газогенераторов, Томск, 1928; С. Ф. Флоров, Газогенераторы и газификация топлива, 1927; В. П. Карпов, Газогенераторный процесс, 1928. Ред.

[2] В тесной зависимости с этим фактором находится оптимальная высота слоя для получения наилучшего газа. Опыты проф. Б. Осанна (Клаусталь), проведенные на газере с вращающейся решеткой Ауера (винтообразная насадка) показали, что для диаметра газера 2,8 *м* наиболее благоприятна высота слоя 700 — 800 *мм*, считая от шлака, при этом содержание H_2 получается около 11%, добавка пара требуется примерно 0,3—0,4 *кг/кг*, дутья — 3 $м^3/кг$ с температурой 30°. Так как пониженный рабочий слой топлива имеет ряд преимуществ (меньшие размеры газера — экономия металла и т. д.), то Мосхимэнергострой (Н. И. Трейеров) провел силами своей лаборатории (Тула) специальную работу по исследованию работы газера на низком слое (400 *мм*); был найден режим, позволяющий получить на подмосковном угле газ, почти не отличающийся своими качествами от газа, получаемого при высоком слое (1 500 *мм*). Ред.

Не всегда имеется необходимость подавать горячий газ для работы печей. Эти случаи редки. Большинство промышленных печей снабжаются в настоящее время рекуператорами или регенераторами; отходящее тепло эссенского газа настолько значительно, что всегда имеется возможность получить требуемые температуры в печи путем подогрева или воздуха или одновременно и воздуха и газа. Неоднократно делались попытки также использовать физическое тепло газа на получение водяного пара, необходимого для газогенераторного процесса. Однако подобные устройства оказываются выгодными лишь при малосмольных топливах; для большого числа установок они потому неприменимы. Чтобы, тем не менее, понизить относительную величину физического тепла и тем самым уменьшить возможные потери, придерживаются следующего правила:

Высокосортные топлива переслаивать такими низкосортными, которые дают возможность понизить температуру газа. Этот прием особенно может рекомендоваться в тех случаях, когда дело идет об использовании топлив с большой влажностью, которые при газификации их в чистом виде не дают удовлетворительного состава газа и устойчивого процесса. Поэтому в основном мы имеем в данном случае при указанном выше методе — улучшение низкосортной шихты, являющееся фактически весьма рекомендуемым и для самого высокосортного топлива — для достижения, правда, обратного результата. Физическое тепло газа, используемое, таким образом, внутри самого газогенератора, не только служит для подсушки влажного горючего, но и создает возможность вследствие естественного снижения температуры получить высокоценные смолы из самого газогенератора без каких-либо специальных устройств. В будущем получение газа всегда должно будет соединяться с получением смолы, так как это представляет единственную [1] возможность снабжения страны моторными и другими весьма ценными материалами, потребление коих возрастает [2].

Далее, мы должны еще раз возвратиться к прочим источникам потерь, для установления способов наилучшего устранения тех или иных недостатков. Ранее мы уже говорили об остаточном члене; одним из первых требований является, конечно, сведение тепловых потерь газа к возможному минимуму. Потери радиацией и через теплопроводность могут быть

[1] Для Германии. См. также A. Thau, Die Schwelung von Braun- und Steinkohle, Halle, Knapp. Ред.

[2] Основными условиями получения большого количества смолы (а также азота) является по способу фирмы L. R. P. (Англия) особо высокий слой топлива (до 4 *м* и выше) и повышение расхода пара до 1 *кг/кг*; высокая шахта такого газера дала основание к названию его «ретортным генератором» (см. у С. Ф. Фролова). Ред.

изменены менее всего, если, конечно, нет никаких устранимых дефектов в конструкции. С потерями при дальнейшей канализации газа можно бороться с большим успехом. Однако, как уже указано выше, наилучшим средством для этого является ведение процесса при минимальной возможной температуре получаемого газа, допускаемой применяемым сортом топлива. При дальнейшем рассмотрении этого вопроса мы сталкиваемся с задачей, которая, по моему мнению, еще мало привлекла к себе внимания широких кругов, хотя на практике уже неоднократно ставилась. Формулировать эту задачу наиболее ясно, хотя может быть несколько резко, можно так: возможно ли при всяком топливе вести работу с достаточно холодным газогенератором? Например, так, чтобы температура газа не превышала 250° (при каменном угле). На этот вопрос мы должны ответить отрицательно, если не применять никаких специальных вспомогательных методов, как это ясно, например, из расчета, приведенного на стр. 271. Этот расчет показывает, что поднимающийся из нижних слоев газ примерно с температурой около 800° содержит так много физического тепла, что оно не может быть полностью затрачено на подогрев, дестилляцию и высушивание топлива; на эти процессы идет лишь около $^1/_3$ физического тепла. Даже если мы будем вести реакцию при температуре около 600°, то все же получается еще очень значительный избыток тепла. С другой стороны, как известно, многие угли при температурах 500—700° сильно размягчаются, что и ведет при первой попытке работать с низкой температурой к образованию в газере почти непроницаемого для газа верхнего слоя. Подобные топлива требуют высокой температуры газа, чтобы иметь возможность работать вообще без чрезмерной шуровки. Иначе складываются отношения, если снижение температуры достигается специальным примешиванием других топлив, так как в этом случае добавляемое топливо обеспечивает сохранение слоем газопроницаемости. Так, например, часто применялось примешивание буроугольных брикетов у каменноугольной шихте, причем в конце концов перешли к газификации просто смесей каменного угля с бурым (в некоторых местах для предотвращения спекания примешивался кокс).

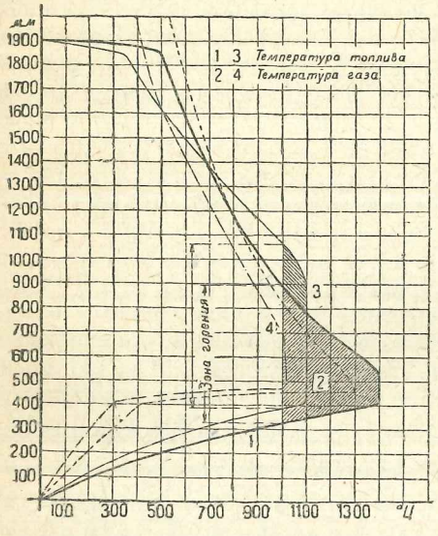
Мы подходим, таким образом, к вопросу газификации топливных смесей, являющемуся чрезвычайно важным, как это ясно уже из вышесказанного. С подобными смесями были приведены, как известно, неоднократно интересные опыты, выявившие экономическую невыгодность смешивания вследствие неравномерного горения подмешиваемой присадки. Это вполне ясно в том случае, если горение обоих топлив идет совершенно различно или если скорости горения весьма отличаются одна от другой. Так, например, при подмешивании кокса получались тем худшие результаты, чем легче газифицировалось другое топливо. Даже при высокосортных бурых углях эта разница приводила к тому, что кокс часто удалялся с остатками почти несгоревшими.

Скорость горения бурого угля очень велика; разложение его идет чрезвычайно сильно, как только процесс начался; максимальные температуры процесса несколько ниже. Процесс газификации оканчивается за 3—4 часа. В то же время трудно зажигающийся кокс вступает в реакцию только при высоких температурах. Эти температуры достигаются только значительно позднее, причем легко может случиться, что кокс в значительной части оказывается уже окруженным зольной массой, затрудняющей его газификацию или же вообще делающей ее невозможной. Повышение всего слоя, т. е. соответственное увеличение времени нахождения топлива в газере не достигает цели, так как нисколько не влияет на скорость газификации легко горящего топлива. Подобные же соотношения получались до сего времени при смешивании бурых углей или буроугольных брикетов с каменными углем; последний газифицировался лишь наполовину (коксовался), часто в остатках обнаруживались почти нетронутые процессом куски каменного угля. Даже при смешивании различных бурых углей или буроугольных брикетов между собой подобные случаи не являются исключенными, хотя в этом случае главной причиной становится плотный слой золы и меньшей — различие в скоростях горения. Поэтому мы должны признать правильным следующий вывод: Если применяется смесь двух топлив с различными свойствами, то процесс газификации надлежит вести по труднее газифицируемому компоненту, который должен при этом преобладать в смеси. Только при этом условии возможно длительное поддержание необходимых условий стойкого процесса. Если необходимо сделать присадку к одному топливу небольших количеств другого, то скорости их горения не должны значительно различаться. Поэтому для подмешивания к бурым углям или буроугольным брикетам являются наиболее подходящими не тощие угли, хотя они самостоятельно газифицируются достаточно легко, а сорта, богатые летучими, дающие пористый кокс, сравнительно быстро газифицируемый. Распадающиеся топлива, как многие малосмольные бурые угли, требуют всегда более значительного количества присадки, чем топлива с более устойчивой структурой. Кокс вообще является мало пригодным для подмешивания.

Другой возможностью для понижения температуры газа является, очевидно, повышенная подача пара. Разложение последнего в нижних слоях требует значительной затраты тепла, что и ведет к уменьшению количества тепла, уносимого газом в верхние слои. Но как показывает опыт, одновременно происходит расширение реакционной зоны, так что иногда большая подача пара сначала даже повышает температуру газа, если только она не была уже до этого чрезмерно высокой. Однако является вполне установленным, что разложение пара с увеличением его подач быстро снижается, почему этот способ обычно не может применяться для значительного понижения температуры газа. Прежде всего этот способ вообще очень дорог, так как неразложенный пар приходится учитывать как прямую потерю, в то время как повышение к. п. д. вследствие разложения пара может быть только весьма незначительным, как это видно из табл. 15 и 19.

Вопрос о разложении водяного пара вообще является еще не вполне ясным. Разложение требует затраты тепла, которое может быть получено при одновременном сгорании CO в CO_2, что, конечно, дает другой состав газа, как это можно видеть из соответствующих данных вышеупомянутых таблиц. Реакция образования водяного газа, ведущая к повышению содержания H_2 и CO_2, имеет место еще при низких температурах, как это безусловно вытекает из опытов Неймана (стр. 74). Для

дальнейшего уточнения характера процесса было бы целесообразно проследить за динамикой температур газа (воздуха) и топлива (золы) в газогенераторе. Хотя как раз опыты Неймана были связаны с замером температур, они не дают, однако, никакого представления об интересующих нас соотношениях, так как в разбираемом вопросе дело идет не о температурах, имеющих место в том или ином слое, а о соотношениях температур твердых и газообразных веществ в отдельных зонах. На фиг. 155 сделана попытка дать такую картину, причем нужно прибавить следующее: максимальная температура взята в 1 400°, исходя из условий получения полуводяного газа при умеренном подводе водяного пара. Величина слоя золы — около 40 *см*, зоны горения — около 50 *см*, слоя топлива над последней — 80 *см*. Температура газа достигает около 600° (топливо — каменный уголь). Простой расчет показывает, что при максимальной температуре в 1 400° зола содержит слишком мало тепла, чтобы достаточно подогревать паро-воздушную смесь; вследствие этого температура газа в этой зоне значительно ниже, чем в зольном слое, в котором еще происходят последние процессы сгорания C в CO_2 (вероятно). Измененная температура является температурой топлива. С другой стороны, ясно, что топливо должно иметь более высокую[1] температуру, чем газ, пока имеют место реакции, так как после первоначального образования CO_2, при котором тепло освобождается, происходят только эндотермические реакции [формулы (2), (5), (6), стр. 65.] Температуры топлива должны быть поэтому в интервалах реагирования всегда быть выше температур газа, что и показано на фиг. 155 сплошной и пунктирной линиями *1* и *2*, получающимися при выборе конечной температуры реакции в 800°. При переходе же через эту температуру газ становится основным теплоносителем и должен поэтому быть теплее, чем топливо. Разность температур по наблюдениям составляет около 100°; в верхних слоях она совершенно исчезает вследствие процессов подогрева, дестилляции и подсушки топлива. Зоной горения считается слой с температурой примерно выше 1 000°, характеризующейся накалом однодюймовой железной штанги в течение 5 мин. до светлокрасного каления. Этот интервал на фигуре заштрихован.



Фиг. 155. Диаграмма температур газа и топлива в газогенераторе.

[1] Кнопф (Knopf) на основании исследования процесса в газере Геллера считает утверждение Г. Тренклера неправильным: температуры газа получаются и по расчету и фактически то выше, то ниже температуры угля. Диаграммы Кнопфа для распределения температур в газере по высоте см. в его работе «Die chemischen Vorgänge bei der Vergasung von Rohbrounkahlen, «G. W. F.» № 50, 51, 52, 1931. Ред.

Я хотел еще раз отметить, что здесь мы не имеем результата определенных замеров и что характер линий поэтому должен оцениваться лишь приближенно; они даже намеренно несколько подчеркнуты в своей форме, чтобы сделать более ясными последующие соображения.

Не случайно, конечно, так называемое уравнение водяного газа — (7)—заняло свое своеобразное ведущее положение в процессах газификации; выделение тепла при этой реакции происходит лишь в незначительной степени и получается состояние полного теплового равновесия, если мы будем исходить при реагировании из жидкой воды. Это имеет следствием совершенно незначительную разность температур между газом и топливом, в противоположность главному процессу при получении генераторного газа (воздушного) — по уравнению (3), которое из всех вышеприведенных уравнений является наиболее эндотермическим. В то время как при получении генераторного газа зона горения характеризуется весьма быстрым спаданием температуры, — при более значительном подводе пара этого уже не наблюдается, пик выравнивается и распределение температур газа и топлива должно скорее отвечать кривым *3* и *4*, так как предварительный подогрев в связи с большим количеством подаваемого пара и его более высокой теплоемкостью потребует еще большего расхода тепла. В соответствии с этим, однако, выступает задача регулирования и соответствующего усиления процесса разложения пара при помощи следующих мероприятий:

1. Ограничением подачи пара сверх известного максимума (около 300 *г*/*м*³ воздуха) для предупреждения слишком большой затраты тепла. Этот способ является употребительным.

2. Подогревом паро-воздушной смеси вне газогенератора, чтобы по возможности не снижать таким образом максимальной температуры в зоне реакции (см. опыт Монда, а также Франк-Каро).

3. Следующее и, по-моему, достаточно важное мероприятие выведено мною из диаграммы. Если вести газификацию в нижнем слое по уравнению (1) и (2) и подводить главную часть водяного пара только в верхний слой, который, однако, должен входить в зону с температурой свыше 1 000°, то получается газ с максимальным содержанием CO, что указывает на выход из процесса реакции (7). Что между этим опытом и обычной работой с обильным подводом пара имеется существенное различие, это ясно из того факта, что по исследованиям Неймана состояние равновесия реакции водяного газа устанавливается весьма быстро и это делает невозможным в условиях непосредственной высокой подачи пара хотя бы даже временно значительно повысить содержание CO в газе. Между тем, высокое содержание CO как раз характерно для хорошего и по возможности полного разложения водяного пара; таким образом мы могли бы при сравнительно незначительном подводе пара достичь примерно тех же результатов, которые в настоящее время требуют гораздо больших количеств пара, проходящего к тому же при этом газогенераторе в значительной части в качестве баласта.

4. Существенным оказывается также и высота реакционной зоны. Последняя расширяется самостоятельно, как я уже ранее указывал и как это может наблюдаться в каждом газогенераторе — при обильной подаче пара. Дальнейшее воздействие на величину слоя горения может быть произведено снижением устанавливаемой загрузки, так как в этом случае

вследствие более длительного времени нахождения газа в аппарате имеет место лучшее выравнивание температур. Известны также мероприятия, позволяющие удлинить это время при помощи подвода воздуха и пара в более верхние слои (д-ра Каро патент D. R. P. 238829).

Сама по себе реакция водяного газа по установлении равновесия идет при значительно более низких температурах, чем реакция воздушного газа (стр. 73). Уже только по окончании этой последней части работы (в то время как первая часть была уже в печати) получил я сведения об опытах Н. Э. Рамбуша [1] (N. E. Rambusch), давшего как раз в этой области ряд важных, но не исчерпывающих вопроса наблюдений. Согласно этим данным удалось путем увеличения фактора длительности примерно с 2 при опытах Бона и Уилера (см. табл. 19) до 5 при одинаковом подводе пара — 1,75 *кг* пара на 1 *кг* угля — повысить разложение пара с 55 до 90% и тем самым при том же количестве пара повысить выход азота с 42 до 57,5%. Типичный состав полученного газа:

8,3 CO_2	5,5 CH_4
20,5 CO	44,9 N_2
20,5 H_2	

Низшая теплопроизводительность — 1 622 *кал*.

Средняя загрузка мною была исчислена округленно в 125 *кг* на 1 $м^2$, температура газа ниже 200° Ц. Этот результат может быть достигнут при помощи чрезвычайного удлинения шахты, почему необходимо принять в соображение и другие аналогичные мероприятия; самый процесс объясняется нижеследующими явлениями, в соответствии с неоднократными практическими наблюдениями. Медленное нагревание топлива (как, например, при получении первичной смолы) имеет большое значение для дальнейших превращений, так как прогрев центральных частиц отдельных кусков топлива требует очень длительного времени. Одновременно с получением первичной смолы из каменного угля установлено и повышение выхода аммиака. Чрезвычайно трудно сделать сколько-нибудь точные опыты и заключения, но все же, например, для одночасового нагрева в струе газа при 600° можно определить разность температур между наружными и центральными частицами куска (расстояние 100 *мм*) — выше 200°, причем эта разность тем выше, чем более обогащены золой наружные части и чем больший расход тепла нужен на подсушку и дестилляцию. Если поэтому имеется возможность полного нагрева топлива при помощи достаточно длительного подогревания, то все последующие реакции будут итти гораздо полнее и равномернее, чем в обратном случае. В особенности это может повлиять на процесс разложения пара, если мы ограничим общее его количество, как это имело место при опытах Рамбуша. Если же происходит более полное разложение пара, то связанный с этим больший расход тепла делает понятным и наблюдающуюся более низкую температуру, которая по приведенным на стр. 271 теплотехническим основаниям казалась невозможной. Это снижение температуры газа связано только с подводом пара и соответственно с лучшим его разложением; это же обстоятельство может объяснить полученные более низкие температуры газа и отказ от отделенной швельзоны в газогенераторе AVG-Koller (стр. 276,

[1] West of Scotland I. a. St. I. Session, 1922/23.

Афауге-Коллер), так как в проведенных на этом газогенераторе опытах расход пара достигал 1,6 *кг* на 1 *кг* угля. И в этом случае анализы дают состав газа, сходный с полученным Рамбушем.

Вопрос о разложении пара был проработан выше детально по той причине, что он, несомненно, является решающим для установления правильного в экономическом отношении режима работы. Если бы нам удалось разложить даже большие количества подводимого пара на 90% и тем самым снизить температуру отводимого газа, то безусловно технический к. п. д. процесса газификации значительно повысился бы, так как доля физического тепла (источник потерь) уменьшилась бы. Только в том случае, если мы обеспечим подобное удовлетворительное разложение пара независимо от подаваемого его количества, паровое дутье может применяться в полном объеме как средство для предупреждения зашлакований и т. п.

Определение степени разложения пара является поэтому чрезвычайно важным; однако какой-либо точной формулы для этого дать нельзя, так как неизвестно, какая часть кислорода газифицируемого угля перешла в газ в форме конституционной воды и какая — в форме CO и CO_2. Чтобы получить определенные выводы по этому важному вопросу, необходимо обратиться к исследованиям результатов сухой перегонки, как это уже описывалось на стр. 51 (табл. 13). К сожалению, до сих пор подобные определения почти не были использованы для разъяснения указанных выше соотношений. Можно сказать, что точное изучение процессов сухой перегонки не только весьма важно для различных способов коксования и получения смолы, но имеет также основное значение для процессов газификации.

Насколько это в действительности необходимо, показывают и другие практические данные. Хотя я уже указывал, что низкое содержание CO_2 не является критерием хорошего хода газогенератора (стр. 96), но все же можно по одной этой пробе делать оценку хода процесса, если при этом работа систематически контролируется и при всяком изменении условий процесса делается полный анализ газа, а также сводятся материальный и тепловой балансы. Можно поэтому установить следующие практические правила оценки состава газа:

Сумма CO_2 и CO почти никогда не превышает 33%. Чем хуже газ, следовательно, чем выше содержание CO_2, тем ниже делается сумма; при недостатке CO она спускается до 19%. Достижимый минимум содержания CO_2 для каменного угля — около 1%, для бурого угля — 2% вследствие большего содержания CO_2 в дестилляционных газах; в наилучших условиях работы в среднем содержание CO_2 будет для бурого угля не менее чем на 1% выше. Содержание водорода без подвода пара 4—5%, при применении парового дутья — обычно 10—14%. Относительно зависимости между содержанием CO_2 и H_2 было сказано уже выше (стр. 349), а именно последнее должно увеличиваться вдвое, если увеличивается первое; при этом, однако, необходимо установить правильные исходные величины, которые можно получить лишь на основе изучения процессов сухой перегонки или длительных и обширных наблюдений. Высокое содержание CH_4 (выше 5%) обычно указывает на ошибочность анализа вследствие

неполного поглощения CO. Впрочем высокое содержание CH_4 также обусловливается поведением угля при дестилляции.

Предыдущие правила могут считаться достаточными для систематического контроля установившегося процесса; однако я все же еще раз повторяю, что значительные изменения и глубокие улучшения могут быть проведены лишь в том случае, если выявлен весь процесс полностью во всех деталях. Случайные удачи, так же как и неудачи, не должны приниматься во внимание, если они не находятся в согласии с химическими и техническими основаниями процесса [1]. Именно вследствие чрезвычайного значения теплового хозяйства для всей нашей хозяйственной жизни надлежит это никогда не упускать из виду.

---

[1] Интересные данные по установлению количественных форм зависимости процессов в газогенераторе от его конструктивных особенностей и размеров приводит Э. Терпрес в своей работе: «Die Reaktions- und Strömungsvorgänge in Generatoren als Grundlage für deren konstruktive Durchbildung» (G.W.F № 50, 1928). Ему удалось вывести на основании экспериментального и практического материала зависимость производительности газера (на 1 $м^2$) от диаметра шахты, установить влияние величины зерен угля и зольности на состав газа, выявить зональные изменения состава газа в генераторе, зависимость к. п. д. газера от содержания H_2 в газе и т. д. Ред.

Производство и применение силового газа в специальных установках

Доктор-инж. А. Тау и инж. К. Шмидт (Германия)

Всякий горючий газ может рассматриваться как силовой газ и благодаря значительным достижениям как в области теплотехники, так и машиностроения в настоящее время каждый вид газа может найти определенную область применения. Для того чтобы сузить эту обширную область и ограничить рассматриваемый в дальнейшем вопрос, мы сделаем предпосылку, что здесь речь будет итти только о таком силовом газе, который получается при полной газификации горючего. Все известные конструкции больших газогенераторов для угля и кокса также исключаются в данном случае, и здесь будут рассматриваться только отдельные особые показательные конструкции, применяющиеся в силовом хозяйстве только при благоприятных и при особых условиях.

В зависимости от типов генераторов можно разделить газ на три различные вида, именно: выскокалорийный газ, теплотворная способность которого превышает 1 500 *кал/м*^{3}, низкокалорийный газ, теплотворная способность которого ниже указанной выше цифры, и водяной газ. Последний не является соответственно силовым газом, так как он непригоден для непосредственного привода газовых двигателей и производство его вообще слишком дорого для обычных целей отопления, но зато значение его как источника водорода увеличивается, почему и следует упомянуть о нем, принимая во внимание новейшие достижения в области его производства.

I. Установки для производства газа

В зависимости от имеющегося в распоряжении вида топлива или от тех целей, которым должен служить полученный газ, различают генераторы слабого газа, сильного газа, дутьевого газа (Sauggas) и водяного газа. В число этих конструкций генераторов не включен генератор швельгаза с получением первичной смолы, так как предполагается, что эта конструкция хорошо известна и о новых усовершенствованиях можно не говорить в этом докладе. Кроме того, вследствие сильно упавших за это время цен на смолу газогенератор с получением первичной смолы потерял свое экономическое значение и сохраняет его в общем только при производстве брикетов из бурого угля, так как полученная при этом высокосортная смола имеет сравнительно высокую цену. Ввиду этого в настоящем докладе будет только попутно упомянуто о силовых установках с одновременным получением первичной смолы.

В остальном газогенераторы, перерабатывающие каменные угли с получением первичной смолы, обязанные своим развитием условиям военного времени, имеют совершенно второстепенное значение, и теплота, связанная в смоляных парах, при известных условиях является более ценной при сжигании в газообразном состоянии. Так, Хюдлер [1] рекомендует вообще не охлаждать генераторный газ, но подводить его к местам сжигания с такой температурой, чтобы смола сгорала в парообразном состоянии, так что здесь идет речь о работе генераторов с первичной смолой, но без улавливания этой первичной смолы. Такой способ работы, конечно, возможный только при совершенно особых местных условиях, исключает с самого начала возможность применения газа для силовых целей, так как газ для двигателей должен быть холодным, свободным от пыли и составных частей смолы во избежание осаждения углерода в камерах горения газовых двигателей и для обеспечения высокой степени наполнения цилиндров мотора.

Генератор слабого газа

Кроме обычных газогенераторов, работающих на кусковом топливе, следует упомянуть о генераторах Винклера, несколько агрегатов которого в течение нескольких лет работает на заводах Лейна в Средней Германии на подсушенном довольно мелкозернистом буром угле. В течение многих лет стремление газовой промышленности направлено к созданию такой конструкции, в которой можно было бы газифицировать мелкозернистое (ниже 3 *мм*), содержащее большое количество пыли, не спекающееся и поэтому дешевое топливо при высокой пропускной способности. В обычных газогенераторах с высоким слоем топлива это трудно выполнимо, так как равномерное проникновение восходящих газов в зоны топлива возможно только при незначительной пропускной способности, иначе образуются пустоты и каналы, нарушающие нормальную работу.

Винклеру удалось первому создать газогенератор, напоминающий по своей форме и размерами доменную печь, который по данным Крауха [2] при поперечном сечении шахты, равном 12 $м^2$, газифицирует свыше 750 *т* сырого бурого угля в сутки. Загруженный уголь не создает спокойного зеркала горения, а образует горящий слой высотой в 2—3 *м*, все время находящийся в движении благодаря вдуванию снизу воздуха. Сущность этого своеобразного способа газификации основана на том явлении, что при мелкозернистом слое топлива, через который при определенных условиях производства продувается воздух, трение частиц угля внутри слоя изменяется таким образом, что слой ведет себя, как жидкость. Это явление объясняется тем, что частицы угля, омываемые продуктами газификации окружены пузырьками газа, вследствие чего они легко перемещаются и в массе ведут себя, как вязкая жидкость. Так как газ выходит из шахты с температурой около 1 000° Ц, то при этом в нем не может быть смоляных паров. Газ имеет теплотворную способность от 450 до 1 000 *кал*/$м^3$ и после охлаждения и очистки от пыли может применяться для работы больших газовых двигателей.

[1] «Feuerungstechnik» № 16, 1928, S. 63.
[2] «Stahl u. Eisen» № 47, 1927, S. 1118.

Газогенераторы этого типа едва ли подходят к установкам малого размера, и поэтому применение их ограничено в общем большими установками. В остальном на большинстве производств применяются известные конструкции газогенераторов, отличающиеся друг от друга в зависимости от вида применяемого топлива, главным образом, формой решетки, конструкцией шахты—с охлаждающей рубашкой или без нее,—типом загрузочного устройства и золоудаляющего приспособления, которые, в случае газификации битуминозных топлив, сопровождающейся получением первичной смолы, имеют насадку на шахте соответствующей высоты.

Генераторы сильного газа

Стремление производить высококалорийный газ посредством полной газификации исходило прежде всего от городской газовой промышленности с целью избежать часто имеющих место колебаний цен на коксовом рынке, и для того, чтобы при распределении газа в случае пиковой нагрузки иметь всегда запасную установку, которую без долгих приготовлений можно было бы быстро пустить в ход. Таким образом требовалось посредством полной газификации топлива производить газ, отвечающий городским нормам. Имя покойного профессора Г. Штрахе, в Вене, тесно связано с развитием этой области газификации, и надо полагать, что всем известны полученные в результате этого развития конструкции.

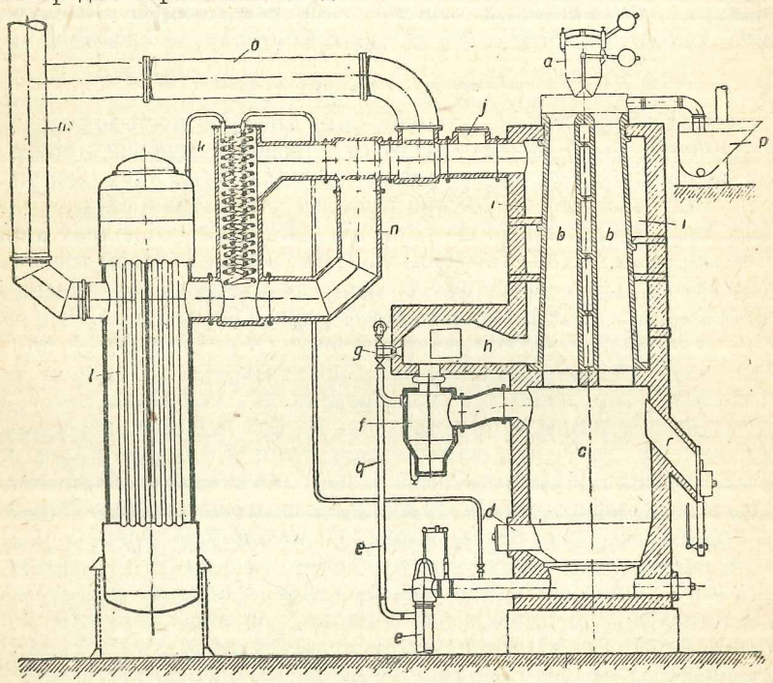
Но помимо городской газовой промышленности была потребность в силовом газе с более высокой теплотворной способностью, чем генераторный газ, для других особых целей применения. Примером этому может служить схематически изображенная на фиг. 156 установка О-ва Дельвиг-Флейшер во Франкфурте на Майне для производства «омгаза», названного так по начальным буквам изобретателя установки Отто Миш.

Уголь загружается сверху в загрузочную воронку (Schleusenbehälter) *a*, опускается вниз по двум обогреваемым снаружи ретортам *b* и попадает в газификационную шахту *c*, из которой зола выгружается через отверстие *d*. По трубе *e* в газогенератор вдувается воздух, и образующийся генераторный газ частью поднимается вверх по загруженным ретортам, тогда как другая часть его, пройдя пылеуловитель *f*, подается к горелке *g*, получающей воздух также из трубы *e*, так что в камере горения *h* достигается высокая температура и горячие продукты горения (Verbrennungsgase) омывают снаружи реторты *b* по спиралеобразным каналам *i*. Продукты горения выходят из ретортной насадки наверху через предохранительный клапан *j* и, пройдя пароперегреватель *k*, направляются к вертикальному котлу на отходящих газах *l*, который они покидают по трубе *m*. В случае надобности перегреватель *k* может быть выключен из работы при замене его обводным трубопроводом *n*, а котла *l* — трубопроводом *o*. Сильные газы выходят из реторт наверху и поступают в приемник *p*. Для образования водяного газа воздухопровод *e* соединяется с паропроводом *q*, ведущим к перегревателю *k*. Верхняя часть генератора имеет с одной стороны отвод для кокса *r*.

В зависимости от желаемой величины теплотворной способности газа установка может работать различным образом. При постоянной работе теплотворная способность газа будет тем выше, чем больше кокса будет удалено из верхней части генератора *c* через отверстие *r*, так как благодаря этому соответственно уменьшается количество слабого газа. Другим сно-

собом повышения теплотворной способности газа является тот, при котором нижнюю часть генератора заставляют работать как генератор водяного газа, подавая туда через некоторые промежутки времени воздух или пар.

Этот способ дает возможность вместо периодического процесса производства водяного газа вести беспрерывный процесс, и все устройство газогенератора изменяется таким образом, что под реторту беспрерывно подается пар для образования водяного газа, тогда как газификационная



Фиг. 156. Генераторная установка для производства омгаза Газового о-ва Дельвиг-Флейшер.

камера превращается в генератор воздушного или полуводяного газа и все время содержит паро-воздушную смесь.

Генераторный или полуводяной газ все время применяется для обогрева реторт по описанному выше способу при помощи вихревой форсунки под давлением (Druckluftwirbelstrombrenner), тогда как смесь газа сухой перегонки и водяного газа выпускается из верхней части реторты. Этот способ применим также для комбинированного производства газа и электричества, так как избыток воздушного газа или полуводяного газа обеспечивает дешевое производство энергии посредством газовых двигателей или паровых турбин. Такая комбинация имеет значение и для будущих проблем сосредоточения газо- и электроснабжения в одном месте, тем более если бурый уголь можно будет переработать в городской газ и электричество.

Для сравнения получаемых в газогенераторе Ома типов газа и его выходов с обычными установками, производящими водяной и двойной газы, могут служить следующие данные:

а) При производстве водяного газа:

2 600—2 800 *кал/м³*; выход 180 *м³* из 100 *кг* кокса с содержанием углерода не меньше 87% и при величине кусков не меньше кулака.

б) При производстве двойного газа:

3 200—3 400 *кал/м³*; выход 130 или 110 *м³* из 100 *кг* хорошего газового угля без карбюрации и 3 600 *кал/м³* с особой установкой для карбюрации.

в) При производстве «омгаза» (отнесенного к 0° Ц и 760 *мм* барометрического давления):

1) 3 800 *кал/м³*; выход 95±5% *м³* из 100 *кг* угля без карбюрации и без удаления кокса;

2) 4 000 *кал/м³*; выход 90 ± 5% *м³* из 100 *кг* угля с карбюрацией получающегося в газогенераторе количества смолы;

3) 4 200 *кал/м³*; выход 80 ± 5% из 100 *кг* угля;

4) 4 300—4 500 *кал/м³* с карбюрацией собственной смолы из генератора.

Способ производства «омгаза» дает возможность производить чисто водяной газ, а также в зависимости от сорта угля и температурных условий отвечающий любым требованиям высококалорийный газ и в случае надобности водяной газ.

Средний состав газа по объему следующий:

Углекислоты	6%
Кислорода	0— 1%
Азота	3— 4%
Водорода	49%
Тяжелых углеводородов	2%
Окиси углерода	19—23%
Метана	17%
Удельный вес (воздуха = 1)	0,52%

В случае надобности содержание окиси углерода может быть уменьшено и заменено равноценным количеством водорода.

Другой возможностью повышения теплотворной способности силового газа является применение чистого кислорода вместо воздуха. О достигнутых в этой области результатах докладывал Гвоздц [1], так что здесь достаточно только слегка коснуться этого способа работы. В Германии этот способ был усовершенствован проф. Драве, но при существующих слишком высоких ценах на кислород он остается только желательным.

Генератор водяного газа

В большинстве случаев водяной газ добывается из кокса, и так как способы его производства достаточно известны, то мы вкратце опишем установку водяного газа, разработанную Юлиусом Пинчем в Берлине, пригодную для обработки битуминозных топлив, с одновременным разложением смолы, благодаря чему повышается теплотворная способность газа.

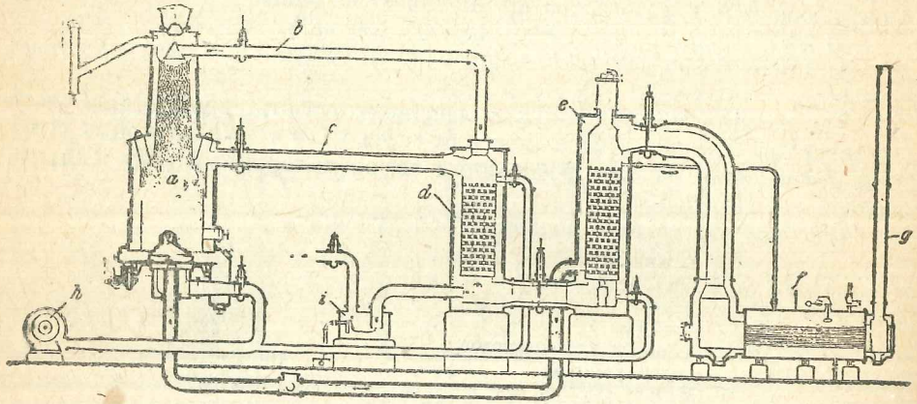
Установка водяного газа системы Пинча

Изображенная на фиг. 157 в схематическом разрезе установка состоит из генератора водяного газа с высокой швельшахтой *a*, соединяющейся с крекером (Zersetzer) *d* посредством труб *b* и *c*. Внизу крекера имеется

[1] «Feuerungstechnik» № 16, 1928, S. 24.

аккумулятор тепла (Wärmespeicher) e, и выходящие из него газы проходят через котел на отходящих газах f и выходят наружу через дымовую трубу g.

В период дутья вентилятор h подает воздух снизу в слой топлива (в зону огня — Feuerbett), и выходящие вверху газы направляются по трубе c в крекер d, а для сжигания осадков углерода на кирпичной насадке крекера d сверху вводится воздух, так что кирпичная насадка нагревается. Покидающие крекер d газы проходят снизу вверх через перегреватель e, в который также вводится снизу воздух для дожигания, и после того как газы отдадут свое тепло котлу на отходящих газах, они выходят наружу по трубе g.



Фиг. 157. Установка водяного газа Пинча для битуминозных топлив.

В период газования после переключения шиберов и выключателей из одного центрального места посредством поворота нескольких рычагов из котла f выходит пар, проходит через перегреватель e и затем через слой топлива генератора a. Насыщенный смоляными парами водяной газ при закрытой трубе для продувочного газа c покидает газогенератор вверху через трубу b и проходит через крекер d, где смоляные пары разлагаются, соприкасаясь с горячей поверхностью кирпичной насадки. Так как труба, соединяющая крекер d с перегревателем e, также закрыта в этот момент, то обогащенный водяной газ проходит к гидравлику i, откуда направляется к холодильникам. Конструкция установки весьма целесообразна. Особенно разумно устройство двух отводов газа b и c, благодаря которому предупреждается смешение продувочного газа со смолой или бесполезное сжигание смоляных паров.

О результатах производства имеются следующие данные:

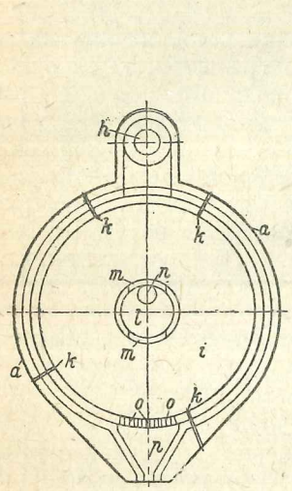
Теплота горения водяного газа	3 400 — 3 600 *кал/м³*
Теплотворная способность водяного газа	3 100 — 3 300 „
Суточная пропускная способность сырого угля	1,5—20 *т*
Выход газа в сутки	2 000—33 000 *м³*
Коэфициент полезного действия газификации	54—66%
Термический к. п. д.	71,7%

Состав газа по объему:

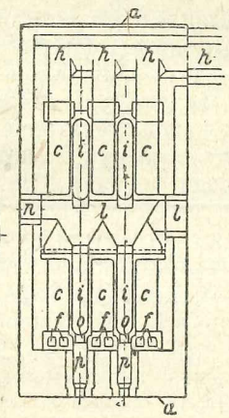
Углекислоты	2,5%
Тяжелых углеводородов	1,3%
Окиси углерода	35,7%
Воздуха	48,3%
Метана	7,2%
Азота	5,0%
	100,0%

Генератор водяного газа с беспрерывным процессом

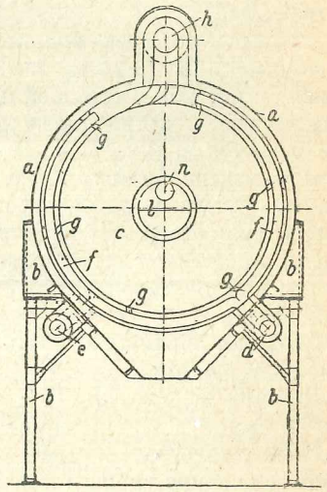
Благодаря чередованию процессов дутья и газования сильно понижается производительность установки водяного газа, вследствие чего и газ стоит сравнительно дорого. Было проведено достаточное число опытов для развития беспрерывного процесса производства водяного газа; и в настоящее время во многих местах заняты разработкой такого способа.



Фиг. 158.



Фиг. 159.



Фиг. 160.

Газогенератор с круглыми камерами для пылевидных топлив, системы О. Геллера.

Но даже если удастся достигнуть этой цели, то этим будет разрешена только небольшая часть проблемы, так как до тех пор, пока будут вынуждены применять для газификации крупнокусковое высокоценное топливо, себестоимость водяного газа будет все еще сравнительно высока.

Полное разрешение этой проблемы дает д-р О. Геллер (Аусиг) своим генератором водяного газа с круглыми камерами (Rundzellen), который в скором времени в первый раз будет пущен в ход как опытная единица, так что в настоящем докладе можно сообщить лишь немногие данные об этой замечательной конструкции.

Находящаяся в настоящее время в периоде постройки опытная печь изображена на фиг. 158 в вертикальном разрезе, на фиг. 159 дан разрез через газовую камеру и на фиг. 160 — через нагревательную камеру. Она состоит из горизонтального, обшитого железным кожухом и обмурованного огнеупорным кирпичом, цилиндра a, установленного на опору b.

Отдельные камеры так же, как и в группе коксовых печей, тщательно изолированы друг от друга для предупреждения от проникновения газа и не имеют никаких соединений между собой, т. е. под нагревательными камерами проходит общий трубопровод для входа и выхода обогревающих газов и продуктов горения, также и газовые камеры соединены одним единственным отводом для водяного газа.

В нагревательную камеру *c* по трубе *d* подводится слабый газ от газогенераторной установки, в то время как вентилятор подает необходимый для горения воздух по трубе *e*; газ и воздух смешиваются при выходе из обоих распределительных каналов *f*, устроенных по наружной окружности камеры, и входят через тангенциальные отверстия *g* в камеру *c*, в которой благодаря тангенциальности ввода газов происходит сильное вихревое движение. Продукты горения выходят из камеры *c* через установленную наверху, выложенную огнеупорным кирпичом, сборную трубу *h*, направляющую газы через перегреватель и котел на отходящих газах к дымовой трубе.

Таким образом сравнительно тонкие стенки, отделяющие нагревательные камеры *c* от газовых камер *i*, сильно нагреваются и при одновременном вдувании горящей пыли и перегретого водяного пара через расположенные таким же образом отверстия *k* в газовых камерах *i* беспрерывно получается водяной газ. При тангенциальном движении потоков водяной газ со взвешенными в нем частицами золы от сжигаемой пыли отсасывается через круглый канал *l*, расположенный по средней оси печи и имеющий для этой цели отверстия *m* снизу и сверху, к которому с наружного конца печи примыкает отсасывающая труба *n*. На случай осаждения частиц золы в самой газовой камере, чего трудно ожидать при сильных вихревых движениях газа и достаточной тонине пыли, внизу каждой камеры *i* имеется вытяжная воронка *p*, покрытая кирпичной решеткой *o* и соединяющаяся нижним концом с резервуаром для выгреба золы. По описанию этой конструкции ясно можно себе представить сущность процесса, при этом следует принять во внимание, что общий вытяжной канал *h* соединяется только с нагревательными, но не с газовыми камерами, тогда как проложенная посредине труба *l* для отвода водяного газа соединена только с газовыми камерами, но не с нагревательными.

На фиг. 159 изображена опытная печь, состоящая из двух газовых и трех нагревательных камер, но при соответствующем выполнении можно соединить в один агрегат такое количество камер, сколько будет практически необходимо в соответствии с требуемой производительностью.

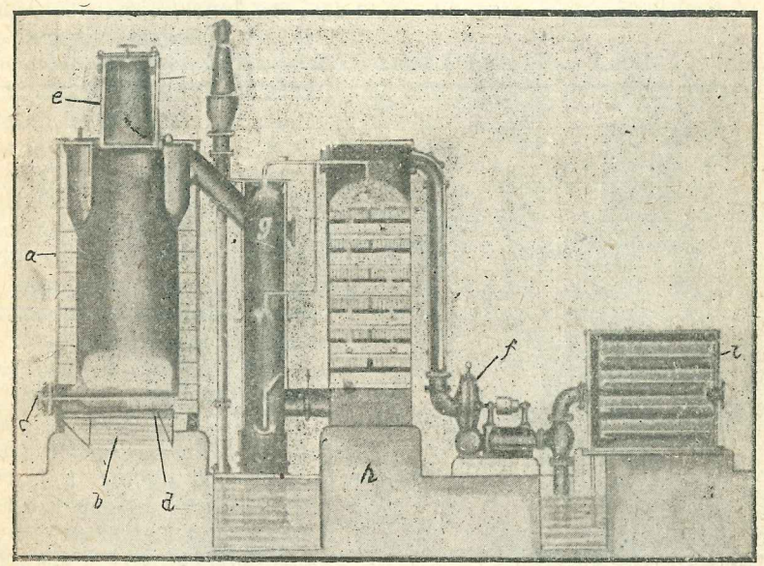
Газогенераторные установки с отсосом газа

Несмотря на то, что эти установки уже в течение многих лет работают без существенных изменений в конструкции, они не только оправдали свое назначение, но благодаря произведенным за это время новым техническим преобразованиям приобретают все большее значение для малых и средних силовых станций.

Генератор с отсосом газа завода Дейтц

Наряду с обыкновенными конструкциями Акционерное О-во завода Дейтц (Motorenfabrik Deutz A. g., Köln-Deutz) построило большое количество установок с отсосом газа. На фиг. 161 схематически представлена

одна из таких установок с неподвижной решеткой, приспособленная для газификации битуминозных топлив. Газогенератор *a* с водяной чашей *b* под неподвижной решеткой *d* с зольной дверцей *c* служит опорой загрузочной насадке *e*, предупреждающей образование пыли во время загрузки и обес-



Фиг. 161. Газогенераторная установка со всасыванием завода Дейц.

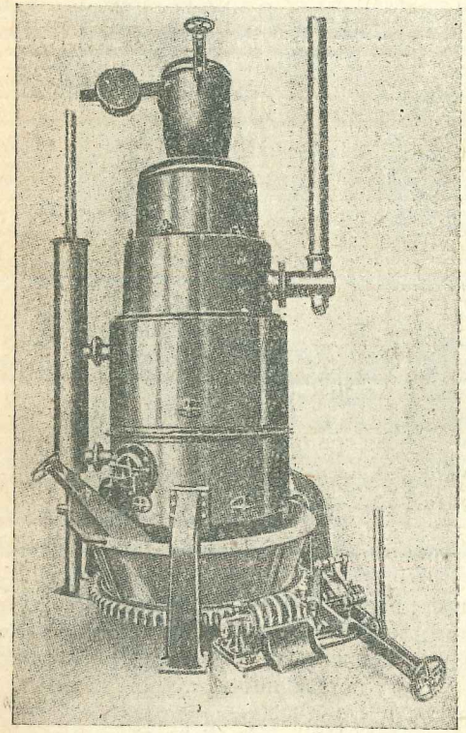
печивающей равномерный слой топлива. Газы отсасываются вентилятором, проходя через пылеуловитель *g* с брызгалкой (соплом) и затем через охлаждающий промыватель *h*, чтобы направиться дальше через центробежный промыватель *f* и сухой очиститель *i* к месту потребления.

Газогенератор с водяной рубашкой завода Дейц

Исключительным достижением техники генераторостроения является газогенератор с водяной рубашкой, в котором охлаждение кожуха шахты происходит от зоны горения до вращающейся решетки. При этом, однако, вначале была опасность разъедания железной рубашки, которую трудно было устранить, так как рубашка должна была питаться сырой водой, если получающийся в рубашке пар использовался на увлажнение воздуха для газификации. Заводу Дейц удалось устранить эту опасность посредством включения в генератор с водяной рубашкой уравнительного прибора для сильно подогретой и не содержащей воздуха питательной воды, что видно из фиг. 162, изображающей газогенератор с вращающейся решеткой названной выше фирмы.

Этот генератор с вращающейся решеткой особенно пригоден для обработки дешевых мелкозернистых сортов кокса или антрацита величиной 6—20 *мм*. Легко поддерживаемая производительность такого генератора соответствует пропускной способности 110—130 *кг/час* антрацита или

180 *кг/час* кокса на 1 $м^2$ поперечного сечения шахты и выходу газа 520—570 $м^3$/*час* при применении кокса и 600 $м^3$/*час* при применении антрацита или в отношении энергии — мощности моторов в 230—350 *л. с. ч./м²*. Изображенный на фиг. 162 генератор не требует особых пояснений, только следует отметить, что эта конструкция может быть применима не только как генератор с отсосом, а также и для всякого другого способа работы.



Фиг. 162. Газогенератор со всасыванием завода Дейц.

За последнее время были созданы конструкции газогенераторов, пригодные для газификации битуминозных каменных углей, не дающие большого выхода смолы и работающие с двойной топкой (Doppelfeuer). В практической работе выявилось, что обслуживание их не намного труднее, чем нормальных генераторов. Но зато они дают возможность строить газовые силовые установки в местностях, богатых тощим топливом.

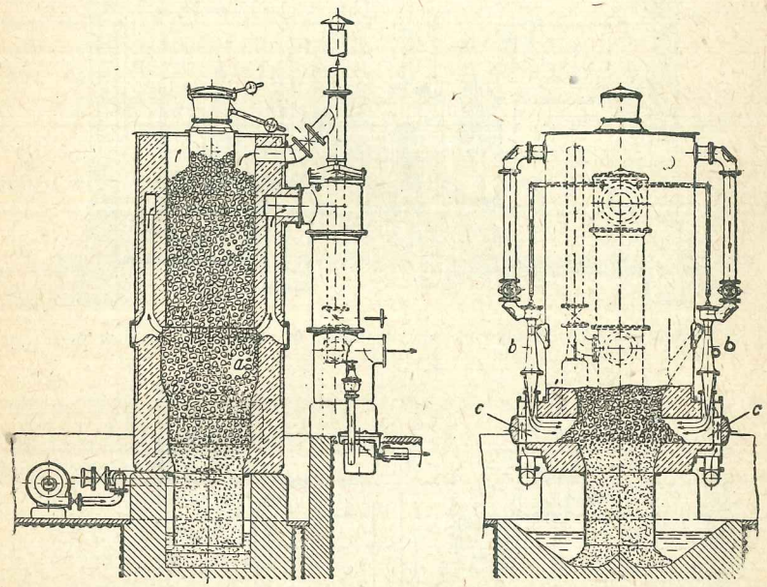
При обработке битуминозных углей можно получать свободный от смолы газ еще и потому, что образующиеся в верхних зонах шахты смоляные пары подвергаются сжиганию. Газогенератор такого устройства с отсосом газа фирмы Пинч, строившийся уже много раз, изображен в разрезе на фиг. 163 и 164; здесь уголь полностью газифицируется в шахте и попадает в зону огня *a* уже в виде кокса. С помощью парового эжектора (Dampfstrahlsauger) *b* часть образующегося внизу шахты генераторного газа пропускается через верхние слои топлива, так что получается возгонка угля продувочным газом (шпюльгазом — Spüllgasschwelung), удаляющая смолу из топлива. Выходящий вверху из топлива насыщенный смоляными парами газ посредством парового эжектора направляется в приемник *c*, где смешивается с воздухом и полностью сгорает открытым пламенем. Получающиеся при этом газы, состоящие из углекислоты и водяного пара, в горячей зоне окисляются большей частью в окись углерода и водород. Составные части смолы полностью удаляются из газа посредством сжигания и так как получающееся при этом тепло не теряется, а идет в восстановительную зону (Reduktionszone) газогенератора, то не бывает больших потерь тепла.

Как видно из фиг. 163 и 164, колонны шахты упираются в дно наполненного водой бетонного бассейна, из которого без всяких затруднений,

без перерыва в работе и не оказывая влияния на свойство газа, удаляются зола и шлаки.

О работе этого газогенератора при сжигании каменного угля имеются следующие данные:

Теплотворная способность угля — 6 500—7 500 *кал*.
Получено в виде газа на 1 *кг* угля — 4 225—5 250 *кал*.
Расход топлива на 1 *э. л. с. ч.* — 0,48—0,59 *кг*.
Расход топлива на 1 000 *кал* полученного газа — 0,20—0,24 *кг*.
Теплотворная способность газа — 950—1 000 *кал*/$м^3$.



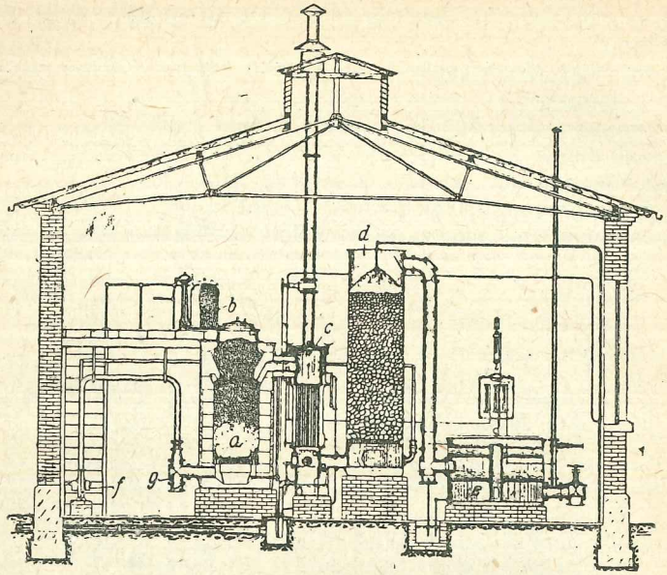
Фиг. 163 и 164. Газогенератор со сжиганием смолы Пинча.

Газогенераторы этого типа строятся восьми разных величин с шириной шахты от 800 до 3 050 *мм*, высотой 3 720—3 950 *мм* для нормальной часовой производительности от 250 до 1 400 $м^3$ газа.

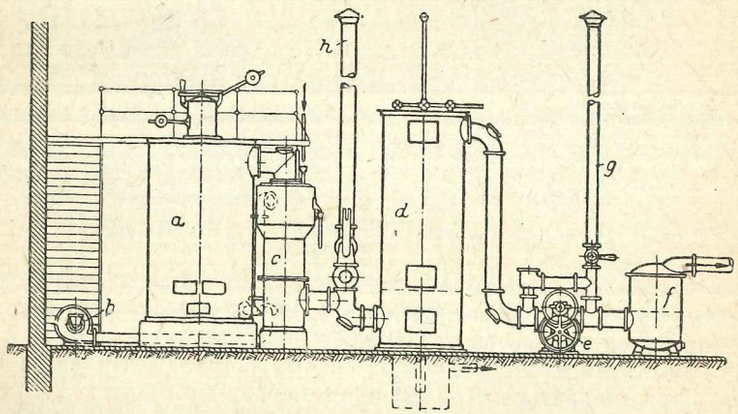
Наряду с этим имеется еще возможность обрабатывать битуминозные топлива в газогенераторе с получением первичной смолы (Urteergaserzeuger) и улавливать смолу, благодаря чему работа газогенератора сильно упрощается.

Установка Пинча с отсосом газа

На фиг. 165 изображена установка фирмы Пинч с отсосом газа без улавливания смолы для газификации кокса или антрацита производительностью от 45 до 1 000 *л. с.*, что соответствует выходу газа от 100 до 2 500 $м^3$. Она состоит из газогенератора с неподвижной решеткой *a*, загрузка в него производится посредством вращающегося сосуда *b*, а также посредством двойного шибера, не пропускающих воздуха в газогенератор. Физическое тепло газов, получающихся в шахте *a*, используется для котла на отходящих газах *c*, газ охлаждается в промывателе с охлаж-



Фиг. 165. Газогенераторная установка со всасыванием Пинча.



Фиг. 166. Газогенераторная установка со всасыванием для производства газа для обогрева системы Бр. Кертинг.

дением, промывается и, пройдя через очиститель e, направляется к распределительной трубе, ведущей к местам потребления.

Для пуска служит воздушный вентилятор f, не работающий во время процесса, и воздух тогда засасывается через трубу g, заслонка которой остается открытой.

В большинстве случаев газогенератор с отсосом газа применяется для обслуживания моторов, но изображенная на фиг. 166 установка фирмы Кертинг, Ганновер (Gebr. Körting A. G., Hannover), может быть приведена как пример, что такие установки с успехом могут применяться

также и для снабжения газом для отопления, а изображенная еще дальше подобная же установка фирмы Дейтц одновременно поставляет силовой газ и газ для отопления.

Изображенный на фиг. 166 цилиндрический газогенератор a оборудован неподвижной решеткой, причем шлаки удаляются из него посредством быстро закрывающихся дверок. Для пуска в ход служит вентилятор b, который при нормальной работе выключается, так как сущность генератора с отсосом газа заключается в том, чтобы всасывать необходимый воздух в определенной пропорции к самому расходу газа. Выходящий из загруженной коксом или антрацитом шахты a газ пропускается через паровой котел c, где его физическая теплота используется для парообразования. Затем газ проходит через охлаждающий промыватель d, посредством газодувки e прогоняется через предохранительный горшок (Sicherheitstopf) f и направляется к местам потребления. Газодувка e имеет обводную трубу и установленную заслонку, находящуюся под действием давления газа, так что при выходе из установки можно поддерживать всегда одинаковое заранее установленное давление. При остановках или при избыточном давлении для отвода газа наружу служит труба g, тогда как труба h служит для отсоса воздуха из генератора при пуске или при перерывах в работе.

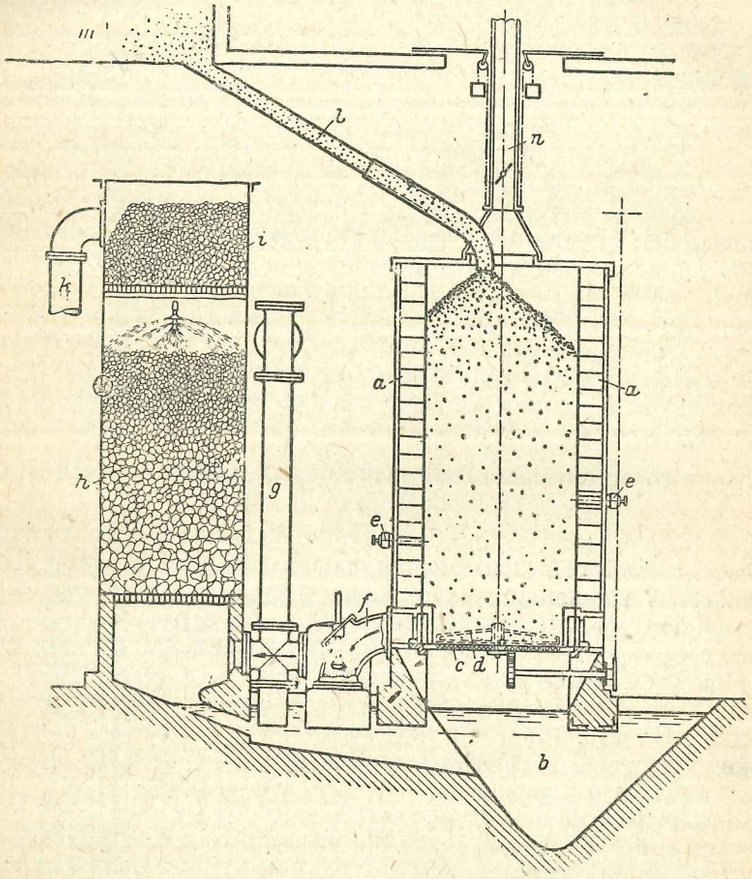
Установка со всасыванием для газификации дерева и растительных топлив фирмы Дейтц

Несколько лет назад фирма Дейтц построила еще одну замечательную установку, в которой применяется так называемое обратное горение (umgekehrte Verbrennung), благодаря чему получается свободный от смолы газ. Эта установка особенно пригодна для дерева и других растительных отбросов. При сжигании сыпучих топлив, как рисовая или кофейная шелуха, деревянные опилки, загрузка и золоудаление в таких установках производятся чрезвычайно просто при соответствующем оборудовании. На фиг. 167 изображена одна такая установка, работающая с успехом уже в течение многих лет в Испании на рисовой шелухе. Цилиндрическая шахта a установлена в открытой наполненной водой зольной яме b, а загружаемый материал лежит на плоской решетке c, над которой механически вращается мешалка d, способствующая автоматическому золоудалению. Воздух всасывается через восемь установленных в стенках шахты клапанов e, и приблизительно на середине высоты шахты получается зона огня. Направляющийся вниз газ проходит через патрубок f в переключающий кран, направляющий его либо в дымовую трубу g, либо в мокрый холодильник и очиститель h; затем газ идет через расположенный над ним сухой очиститель i, также наполненный коксом, и по трубе k к местам потребления. Загрузка газогенератора производится по трубе l из высоко поставленного бункера m, а для вентиляции во время остановок служит высокая вытяжная дымовая труба с задвижкой.

Особое преимущество этой установки заключается в том, что верхняя часть шахты наполнена воздухом, а не газом, что облегчает обслуживание установки.

Расход топлива на такие установки по сравнению с замененными ими паровыми установками чрезвычайно невелик, и, например, при сжигании эвкалиптового дерева в зависимости от влажности расход топлива соста-

вляет при постоянной работе 1—1,6 *кг/л. с. ч.* или 1,5—2,4 *кг* на полезный киловатт-час. Такие же весовые количества расхода топлива можно принять при применении рисовой или кофейной шелухи.

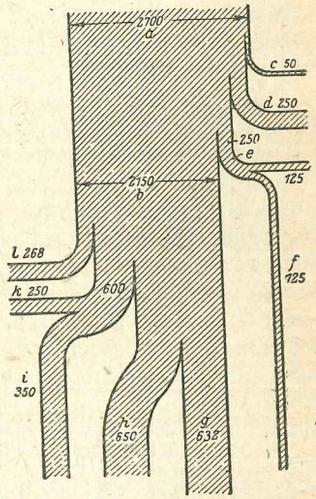


Фиг. 167. Газогенераторная установка со всасыванием завода Дейц.

II. Применение силового газа

Для применения силового газа в дальнейшем мы будем иметь в виду только двигатели внутреннего сгорания, имеющие то преимущество, что при самой незначительной затрате топлива и капитала они дают максимальное количество энергии. Таким образом исключаются такие силовые установки, в которых газ служит для отопления паровых котлов, а энергия получается через паровые установки. Для того чтобы более точно определить собственно силовые установки, будем исходить из того, что они состоят помимо генераторов водяного газа из одной из описанных выше газогенераторных установок, к которой присоединяется еще газовый двигатель. Превращение твердого топлива в газообразное происходит при

к. п. д., равном 65—92%. Современный газовый двигатель работает с использованием энергии в 28—32% при полной нагрузке и около 20—28% при половинной нагрузке. Отсюда можно сделать вывод, что коэфициент использования топлива для полезной силы будет равен 16—29,5%. Тепло, не превращенное в полезную силу, составит баланс в виде: 1) физического тепла газа, 2) теплоты охлаждающей воды, 3) выхлопа и 4) потерь через лучеиспускание. Из этих четырех видов отходящего тепла теплота охлаждающей воды и выхлопа, а при больших установках также физическая теплота газа могут быть обращены в теплую воду и отчасти в пар высокого или низкого давления; при этом можно рассчитывать на использование 40—60% располагаемого тепла. Если это будет принято во внимание, то общий коэфициент использования топлива в силовой установке может достигнуть 70—75%. Это распределение тепла ясно показано на фиг. 168, где *a* — располагаемое тепло; *b* — связанная теплота в газе; *c* — потеря в золе; *d* — потери через лучеиспускание; *e* — потери физического тепла; *f* — использованное физическое тепло; *g* — полезная сила; *h* — использованное тепло охлаждающей воды; *i* — использованные потери отходящими газами; *l* — потери через лучеиспускание. В остальном изображение настолько понятно, что не требует особых пояснений.



Фиг. 168. Изображение потока тепла в газосиловой установке.

В то же время с точки зрения минимального применения тепла дизели занимают первое место из всех теплосиловых двигателей, а газовые двигатели — второе, часто, однако, они меняются местами — именно тогда, когда применяемое для газификации топливо в отношении тепла стоит дешевле, чем моторное жидкое топливо. Подобные условия часто имеют место в странах, богатых углем, деревом и прочими растительными топливами, как, например, в некоторых тропических странах.

В отношении капиталовложения в теплосиловые установки в настоящее время в больших установках поршневые двигатели уступают турбинам, и, пожалуй, можно считать, что в недалеком будущем снова будет происходить соревнование между турбинами внутреннего сгорания и паровыми турбинами. В рамках настоящего доклада мы будем иметь в виду только поршневые двигатели и вследствие того, что обычно газосиловая установка бывает не дороже паросиловой, область применения собственно газосиловых установок распространяется таким образом, что средние установки, мощности которых лежат в пределах между 40 и несколькими тысячами лошадиных сил, сооружаются там, где стоимость тепла в твердых доступных для газификации топливах меньше, чем в жидких топливах, применяемых для дизелей.

Если сравнить нанесенные на фиг. 168 величины с соответствующими величинами для паросиловых установок, то окажется, что последние тре-

буют значительно больше, именно 3 200—10 000 *кал/э. л. с. ч.*, причем, конечно, при этом имеется могущее быть использованным отходящее тепло. Следовательно, по крайней мере, в отношении чисто силовых установок в пределах упомянутых величин мощности можно установить их безусловное превосходство над паросиловыми установками. Из далее приведенного примера видно, что наблюдавшиеся ранее недостатки в работе собственно газосиловых установок, как, например, неуверенность при пуске, недостаточная приспособляемость при внезапных колебаниях нагрузки, в построенных за последнее время установках устранены благодаря достигнутым усовершенствованиям в этой области.

За газовый двигатель говорит еще то, что его высокое удельное использование силы сказывается полностью уже в малых установках — до 10 *л. с.*, тогда как в паровых двигателях с цилиндрами небольших размеров получаются увеличенные потери через стенки.

Во многих странах, богатых легко газифицирующимся топливом как, например, в Прибалтийском крае, СССР, Малой Азии, Бразилии, нидерландских владениях Индии и др., где имеются большие количества дерева, собственно газовые установки берут перевес над паросиловыми даже и при постоянном удорожании топлива, вынуждающем к более экономному расходу его, чему ниже будут приведены примеры. В угольных же районах, не говоря уже о двигателях на колошниковом газе, число установок на генераторном газе только за последнее время стало увеличиваться. Это объясняется успехами, достигнутыми в генераторостроении, благодаря которым в настоящее время является возможным газифицировать низкосортные топлива, тогда как раньше можно было применять только гораздо более дорогое топливо по сравнению с топливами котельных установок, причем разница в цене опять-таки говорила в пользу газовых установок. Поэтому в настоящее время, когда научились уже строить и эксплоатировать газогенераторы, выявился новый этап развития — переработка тех топлив, стоимость которых ниже стоимости угля, идущего для отопления котлов.

Особо пригодным для целей газификации топливом является, например, антрацит и кокс; в мелко раздробленном виде кокс и антрацит дешевы и имеются в большом количестве, поскольку они непригодны для сжигания на решетках, но слишком ценны, чтобы их перемалывать для применения в пылевидных топках; при том же благодаря их сравнительно высокой температуре воспламенения они не особенно пригодны для этой цели. Мелкая зернистость топлива имеет то преимущество при газификации, что газогенераторы в своей работе быстро и верно приспособляются к колебаниям нагрузки, так как мелкое зерно имеет большую поверхность, которая дает возможность легко воспринимать и распределять процессы горения и восстановления.

Как уже упоминалось, собственно силовые установки хорошо привились в местностях, богатых деревом или растительными отбросами, и много генераторов типа показанного на фиг. 167, с некоторыми изменениями было построено для этой цели. Материалом для газификации в этих случаях служили опилки, стружки, кофейная и рисовая шелуха, шелуха кокосовых орехов, хлопковые отбросы (Sisal) и т. п. В то время как в данном случае получение энергии является следствием использования горючих, неприменимых для других целей, отбросных веществ, в некоторых случаях

бывает обратное положение, когда для получения энергии необходимо заготовить запасы топлива на продолжительное время и в достаточном количестве. Так, при благоприятных климатических и почвенных условиях можно, например, разводить быстро растущие деревья, которые при планомерной рубке служат топливом для силовых установок. При этом дело идет о непосредственном превращении солнечной энергии в полезную силу посредством простого и сравнительно быстрого процесса, что видно из следующего примера:

Одно из насаждений, занимающее 300 000 $м^2$, что соответствует квадрату со стороной в 550 *м*, состоит из 150 000 эвкалиптовых деревьев, посаженных квадратами на расстоянии 2 × 2 *м* на довольно сухой полевой почве. Через $4^1/_2$ года стволы деревьев достигают толщины в 10—35 *см*, после чего их рубят. Довольно точные измерения показывают, что каждые семь деревьев дают 1 $м^3$ дров, и было установлено, что 170 $м^3$ дров хватает на 1 мес. работы газового двигателя Дейца в 200 *л. с.* при 15-часовой полной нагрузке. Эвкалиптовые деревья подвозятся на телегах, запряженных быками, и распиливаются круглой пилой на куски величиной в 15 *см*, которые и служат топливом для генераторов.

Этот простой и удобный способ получения энергии в тропических и субтропических странах еще очень мало известен. Однако нет никакого сомнения в том, что в будущем он разовьется, поскольку такие установки имеют большой, и быстро восстанавливаемый запас энергии, который при непосредственном участии солнечных лучей распределяется равномерно на протяжении многих лет. При этом имеется еще возможность широко механизировать такие газосиловые установки посредством постройки небольшой железнодорожной сети для подвоза дерева и устройства механических приспособлений для распиливания деревьев, поскольку это будет оправдано местными расходами на рабсилу.

Так как дерево и растительные отбросы очень богаты газом и смолой, то, как уже говорилось выше, процесс газификации достиг такого развития, что получался только свободный от смолы газ. Благодаря хорошей проницаемости столба топлива, плотно лежащего в шахте газогенератора, можно без всяких затруднений применять обратное горение, причем зона огня находится вверху или в середине шахты, так что редукционная зона, в которой образуется газ, перемещается вниз ближе к решетке, что видно из фиг. 167, изображающей газогенератор завода Дейц. Этот способ работы значительно облегчается благодаря небольшому содержанию золы в топливе и хорошим свойствам отбросов.

В расположенных в тропиках такого рода установках большую роль играет вода, так как ею газ охлаждается и промывается, причем на 1 *л. с. ч.* требуется около 10 *л* или на каждый киловатт-час, по крайней мере, 13 *л* воды. Благодаря устройству систем обратного охлаждения этот расход значительно уменьшается и достигает около 1 *л/л. с. ч.* для обработки газа и такого же количества для охлаждения мотора. Вместо водяного в настоящее время применяется непосредственное воздушное охлаждение как для газа, так и для двигателя, так что расход свежей воды совершенно отпадает. Двигатель в этом случае оборудуется воздушным охлаждением, тогда как для охлаждения газа применяются железные трубы, расположенные в несколько групп со вставками для того, чтобы посредством частых поворотов потока одновременно очищать газ от пыли, причем следует

принять меры к обеспечению легкой очистки вставных труб. Некоторое количество остающихся еще в газе смоляных паров удаляется посредством фильтров, наполняемых асбестом.

III. Применение газа в установках, производящих одновременно энергию и тепло

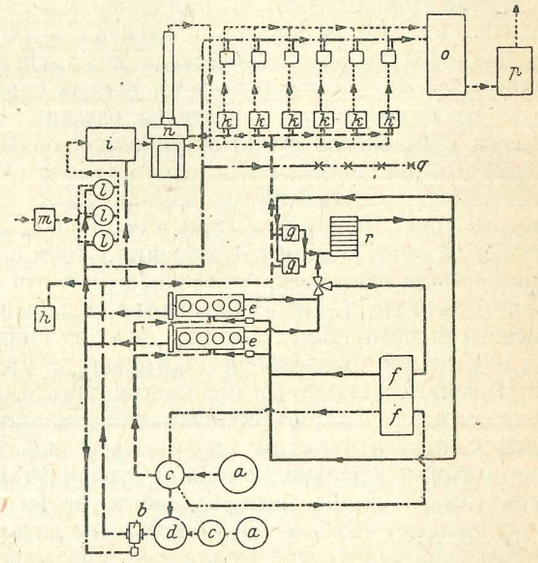
После того как выше были рассмотрены газосиловые установки, как таковые, перейдем дальше к рассмотрению применения газа в совместном производстве тепла и энергии. Если вначале было отмечено, что каждая силовая установка при незначительном капиталовложении и самом низком расходе самого дешевого топлива должна давать максимальную энергию, то будет противоречием рассматривать как преимущество паросиловых установок постоянную отдачу больших количеств тепла, так как при этом предполагается тесная зависимость между отдачей энергии и тепла, преследующая максимальную экономичность, которая совсем не отвечает или отвечает неполностью потребностям данного завода. Следует добавить еще, что энергия всегда должна расцениваться выше тепла; совсем иначе обстоит дело, когда тепло должно применяться при более низкой — не превышающей 80° Ц — температуре, причем следует еще отметить, не останавливаясь подробно на этом вопросе, что при получении энергии можно из данного топлива получить значительно больше тепла умеренной температуры, чем путем непосредственного сжигания топлива.

Во всяком случае всякие требования производства могут быть удовлетворены наилучшим образом, если энергия и тепло будут производиться экономичным образом независимо друг от друга и в соответствии с изменяющимися требованиями. Этим дается направление развитию всех теплосиловых установок, особенно паровых установок, которые, как, например, при производстве пара высокого давления, отличаются тем, что при использовании теплоты топлива увеличивают количество механической энергии по сравнению с количеством отходящего тепла. Как уже указывалось выше, в этом отношении газовые установки берут перевес над паровыми, и, кроме того, при этом имеется еще одно благоприятное обстоятельство, заключающееся в том, что в первом случае отходящее тепло имеет гораздо более высокую температуру, достигающую 500°, тогда как в паровых установках отходящее тепло имеет температуру 50—100°, причем следует еще отметить, что при производстве пара силовой к. п. д. будет уменьшаться тем больше, чем выше будет подниматься температура отходящего тепла. Также и тепло охлаждающей воды газовых двигателей может быть использовано при температуре 110° Ц, когда горячая вода идет на отопление и сушку или применяется в вакуумаппарате для выпаривания (Vakuumdampf). Если пар, получаемый в газосиловых установках посредством отходящего тепла и тепла охлаждающей воды, используется в паровых турбинах на получение энергии, то благодаря этому количество энергии увеличивается еще на 10—12%, следовательно, примерно с 30 до 33%. Но такие мероприятия могут иметь место только для установок в 1 000 *л. с.*, так как применение их для снабжения турбины не оправдало бы себя.

Газогенератор сам по себе является хорошим источником энергии поскольку связанная в газе тепловая энергия простым способом направ-

ляется к местам потребления, оборудованным газовыми топками, и, кроме того, может служить дополнительным теплом в тепловых установках, снабжаемых отбросным теплом. При таких условиях нельзя установить пределы полезной температуры тепла, так что газогенераторная установка, служащая одновременно источником тепла и энергии, может с успехом вступить в соревнование с теплосиловой установкой, работающей исключительно при помощи пара или пара и угольных топок и зависящей от различных потребителей тепла. В дальнейшем в нескольких практических примерах будут рассмотрены установки такого общего типа, производящие одновременно и энергию и тепло.

На фиг. 169 изображен схематический план завода металлических изделий, на котором первоначально применялись электроэнергия, печное отопление и отдельные коксовые печи, впоследствии же завод всецело перешел на центральное газовое снабжение. Отдельные пути следования материала, газа, горячей воды и электроэнергии обозначены различными линиями.



Фиг. 169. Газотеплосиловая установка завода металлических изделий.
..... Производственный материал (или материал для обработки).
— · — · — Электроэнергия.
— — — Газ.
——— Охлаждающая вода для двигателей.
— ·· — ·· — Вода для охлаждения и промывки газа.

Для объяснения местных условий завода достаточным является изображенный на фиг. 169 схематический план, на котором газогенераторы обозначены буквой a, а оба мокрые очистители — буквой c. Газ двигателей засасывается самыми моторами, нагревательный газ засасывается газодувкой b, причем буквой d обозначена очистка газа от серы. Силовой газ подается к моторам e, охлаждающая вода газогенератора и двигателей охлаждается в установке обратного охлаждения f, но вода, охлаждающая двигатели, может быть также использована, минуя установку f, для отопления помещения при совместной работе с котлами g.

Нагревательный газ может подаваться в различные места потребления — именно, в сушилку шишек h, в печь для отжига болванок i, в работающие в исключительных случаях котлы для отопления g и в малую калильную печь k.

Потребителями электроэнергии являются плавильные печи l, установка для шихтования m (Gattierung), волочильный пресс n, мастерские o и отправочная контора p; электрическое освещение обозначено буквой q, а установка для отопления помещения — буквой r.

Завод занят изготовлением грубых прессованных частей из сплавов меди и алюминия, которые частично подвергаются тонкой обработке. Расход энергии подвержен сильным колебаниям; энергия идет на три плавильные печи, на приведение в действие гидравлических прессов и прессов для фрикционных колес, а также для приведения в действие обрабатывающих и инструментальных машин, прессов для брикетов из стружек и остальных подсобных машин. Источниками энергии служат два газогенератора с вращающейся решеткой, которые, с одной стороны, питают два четырехцилиндровых четырехтактных газовых двигателя Дейца, с другой стороны, дают газ для обогрева, как это было уже указано выше на фиг. 169. Таким образом газогенераторы представляют здесь централь, доставляющую тепло любой желаемой температуры в противоположность первому котлу, у которого температура пара зависит от давления пара.

Отходящее тепло двигателей служит для отопления всех зданий завода и только во время остановки производства или в исключительно холодные дни вступают в работу два также отапливаемых газом центральных котла, служащих дополнительным источником тепла. Оба газодинамо дают переменный ток в 220/380 *в*, который направляется к упомянутым выше местам потребления. Днем оба двигателя работают одновременно на одну сеть, тогда как ночью и в праздничные дни достаточно одного двигателя. Газогенераторы с вращающейся решеткой оборудованы водяными рубашками, которые доходят внизу до основания генератора и во избежание разъеданий соединены с уравнительным сосудом (Ausgleichbehalter) (такое соединение указано уже на фиг. 162); золоудаление и загрузка генератора производятся автоматически; последняя устроена таким образом, что при опускании столба топлива в запасном бункере по сторонам образуется экран из отодвинутого в сторону в силу собственного веса топлива, которое действует на переключающее устройство, приводящее в действие с одной стороны заслонку загрузочного устройства генератора и с другой стороны — ковшевой элеватор, подводящий топливо из ямы в загрузочный желоб. Имеется простое устройство для обратного (вторичного) охлаждения воды, для отнятия физического тепла от промывочной воды газохолодильника, а также тепла, сообщаемого охлаждающей воде двигателями, если только эта вода не используется на цели отопления; таким образом потребность в свежей воде совершенно незначительна.

Об экономичности оборудованного таким образом производства можно судить по следующим цифрам:

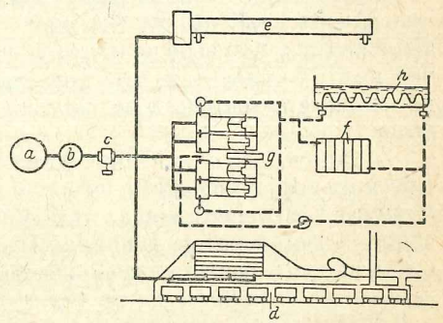
Топливом для газификации служит антрацитовая мелочь, имеющая трудный сбыт на рынке, которая стóит дешевле угля для отопления котлов, именно 21 марка за 1 *т* на месте потребления. Двигатели потребляют от 340 до 400 *г* топлива на полезную лошадиную силу в час, так что чистая стоимость топлива равна только 0,8 пфеннига или 1,2 пфеннига за 1 *квт-ч*. Раньше нужно было платить по 5 пфеннигов за 1 *квт-ч*. Двигатели дают отходящее тепло в количестве 800—1 000 *кал/л. с. ч.* или 1 200—1 500 *кал/квт-ч*.

Благодаря экономии в топливе на отопление котлов эксплоатационные расходы еще более уменьшаются в зимние месяцы. Перед пуском установки опасались, что двигатели и газогенераторы не в состоянии будут выравнивать сильные колебания нагрузки, которые временами в течение

10 сек. достигают 350 *л. с.*, или почти 50% мощности двигателей. Но полученные кривые расхода газа показали, что такие опасения были неосновательны и что в этом отношении газовое хозяйство ни в какой мере не уступает паровому или электрическому.

Только что описанная установка завода Дейтц может служить образцом производства, тепловая часть которого требует температур до 1 400° Ц. Строятся подобные же и так же хорошо работающие установки там, где большие количества тепла получаются при низкой температуре, особенно когда в главные периоды времени года требуемые количества тепла соответствуют расходу пара в 3 *кг/л. с. ч.* Это имеет место, например, в текстильной промышленности, где рабочее тепло применяется для шлихтовальных машин, для пропаривания пряжи, опаливания, отделки и т. д., а зимой, кроме того, для отопления помещений. Результаты практической работы показали, что шлихтовальные машины могут непосредственно обогреваться газом. При наличии возможности регулировки рабочей температуры в широких пределах достигается более эффективная производительность по сравнению с паровым обогревом; при переводе той же шлихтовальной машины на газовый обогрев производительность ее почти удваивается. Также и натяжные рамы, каландры, апретурные машины, палильные машины для пряжи и тканей с успехом могут обогреваться газом, причем следует отметить, что применение генераторного газа вместо применяемого в большинстве случаев в настоящее время городского газа обходится во много раз дешевле, тем более, что сравнительно мягкое действие пламени генераторного газа дает лучшие результаты. В то время как при применении силы пара в текстильной промышленности большое количество отходящего тепла остается неиспользованным в летнее время, количества тепла, получаемого при газосиловых установках, как раз хватает на покрытие указанным уже способом потребностей тепла путем непосредственного обогрева газом. В зимнее время необходимое дополнительное тепло для отопления можно с высоким к. п. д. получать от парового котла низкого давления или водяного котла, оборудованного газовой топкой.

Также и целлюлозные и бумажные фабрики, как показала практика, при применении газосиловых установок, принуждающих к более экономичному ведению теплового хозяйства, работают более устойчиво, чем при применении пара, если только последнему не отдается предпочтение при очень усиленной варке (Kochbetrib).



Фиг. 170. Газотеплосиловая установка фарфорового завода.

Чрезвычайно обширной областью совместного применения газовых установок как двигателей и для обогрева является промышленность по обработке и обжигу глин. Образцом такой установки может служить изображенный на фиг. 170 каолиновый завод, перешедший с парового хозяйства на газовое. Газогенератор *a* с мокрым очистителем *b* и газососом *c* питает осушительный канал для каолина *d*, вертикальный сушильный

барабан *e*, котел низкого давления *f* и двигатель *g*. Отмучка каолина (Kaolinschlemme) обозначена буквой *h*. Также и здесь следует прежде всего отметить, что наибольший потребитель тепла — в данном случае сушильная установка — благодаря возможности применения более широких пределов температуры достигает более благоприятного теплового эффекта для процесса сушки, чем при применении пара.

В грубом и тонком керамическом производстве газов отапливаются также и обжигательные печи и муфели для закалки (Glühmuffel). По тем же причинам и стекольные заводы с большим экономическим успехом переходят на газ.

Из вышеприведенных практических примеров можно сделать вывод, что благодаря усовершенствованиям, достигнутым в настоящее время в постройке газогенераторных установок и газовых двигателей, а также благодаря достижениям в области надзора и обслуживания, собственно газосиловые установки (Eigenkraftgasanlagen) приобретают все возрастающее значение в различных отраслях промышленности.

IV. Газосиловые установки на транспорте

Следует также вкратце коснуться применения газосиловых установок на транспорте, особенно для грузовых машин и автобусов. В странах, бедных жидким, но богатых твердым топливом, газосиловые установки являются экономичным и надежным сооружением для приведения в действие транспортных двигателей. Газовый двигатель для автомобиля и в европейских странах является более дешевым, чем бензиновый, и если до сего времени он не нашел большого применения в Европе, то это объясняется тем, что все его достоинства все же не устраняют неудобства обслуживания автомобиля, а также тем, что автомобили с газовыми и бензиновыми двигателями не могут стоять в одном и том же гараже из-за опасности пожара.

Акционерное о-во Юлиус Пинч и Германское нефтяное акционерное о-во (Deutsche Erdöl A. G.) имеют большие заслуги в области развития транспорта с газовым двигателем и довели его до высокой степени усовершенствования, так что при соответствующем обслуживании газогенераторные автомобили не уступят автомобилям с бензиновым двигателем.

Акционерное о-во Юлиус Пинч совместно с автомобильными заводами Буссинга в Брауншвейге построило грузовой автомобиль с засосом газа (Sauggas-Lastwagen) мощностью 40 *л. с.*, который оправдал свое назначение. Газогенератор наполняется древесным углем, который обладает очень высокой реагирующей способностью и не выделяет смолы. При цене древесного угля 90 марок за 1 *m* на месте потребления по сравнению с ценой бензина 0,445 марки за 1 *кг*, принимая во внимание все побочные расходы за исключением разницы в расходе по обслуживанию, получилась прибыль около 1 000 марок в год при хорошем использовании машины. Но эта экономия не является достаточной побудительной причиной для введения газового двигателя, так как шоферы вследствие безусловно грязной работы при загрузке газогенератора и золоудалении требуют дополнительной оплаты, которую нужно вычесть из вышеназванной суммы экономии.

Кроме того, вследствие незначительной скорости воспламенения газа максимальная скорость поршня не должна превышать определенной величины, т. е. можно применять только моторы с небольшим числом оборотов, и благодаря введению генераторного газа имеет место падение мощности, которая при повышении компрессии почти до 8 : 1 составит самое большее 25%. Такой процент неприемлем для владельцев автомобилей, так как он делает значительно более узкой область применения автомобилей. Установка более сильного мотора для определенной модели автомобиля является затруднительной вследствие сильной типизации для автомобилей при массовом изготовлении. Вследствие этого до сего времени в Германии не были еще введены автомашины с газовыми двигателями, но не исключается возможность, что в ближайшем будущем найдут применение разработанные в настоящее время автомобильные газогенераторы на буроугольных брикетах.

Во Франции автомобили с газовыми двигателями нашли более широкое применение; несмотря на то, что и здесь большими противниками являются шоферы, все же владельцы автомобилей имеют большие преимущества благодаря субсидиям, получаемым от государства по военным соображениям, и имеют возможность платить более высокое жалование шоферам. Благодаря этим государственным субсидиям во Франции замечается увеличение числа грузовых машин с газовыми двигателями.

Доставка одних только газогенераторных установок для местного транспорта вместе с автомобилем или без него для самостоятельной сборки владельцем связана с известными затруднениями, так как большинство автомобильных фирм или мастерских именно в странах с незначительным движением и малоразвитой промышленностью не обладает необходимыми для постройки генераторов техническими познаниями; кроме того, очень большое количество моделей автомобилей требует конструктивной работы для установки газового двигателя на автомобиль, а для этой работы в большинстве случаев нельзя достать вполне точных чертежей, особенно когда дело идет о более старых конструкциях автомобилей.

Германское нефтяное акционерное о-во (Deutsche Erdöl A. G.) в Родице, для того чтобы увеличить сбыт полукокса (Grudekoks), построило грузовой автомобиль с газогенератором на полукоксе, который, несмотря на обилие золы, но с другой стороны при сильной реагирующей способности топлива, вполне оправдал себя, но все же не вызвал подражания.

В Англии с той же целью была спроектирована всасывающая газогенераторная установка (Sauggasanlage) для автомобиля Смита [1], которая подробно описана в журнале «Brenstoff-Chemie», 1920, стр. 10.

Развитие в этой области ни в коем случае не остановилось, но применение грузовых автомобилей с газовыми двигателями ограничивается прежде всего такими странами, в которых разница в цене между жидким и твердым топливом так велика, что имеются все основания для большей экономичности этого производства, и распространение автомобилей с газовыми двигателями, достигших в настоящее время большого усовершенствования, все более увеличивается в этих странах. Сюда относятся, главным образом, тропические страны, где применяют дерево или древесный

[1] «Engineering» CIX, 1920, S. 59.

уголь для отопления газогенераторов, а отходящее тепло уничтожается посредством простого воздушного охлаждения.

Также и германские фирмы имели в этой области успех только в таких странах, и фирма Пинч, например, оборудовала газовыми двигателями около дюжины тепловозов узкоколейной дороги в Конго.

Большое значение этой области применения силового газа придается в последнем отчете Государственного английского топливно-исследовательского комитета (Brennstoff-Forschungsanstalt[1]), в котором отмечается, что целый ряд таких автомобилей, оборудованных газогенераторами со всасыванием для газификации древесного угля, швелькокса, дерева, торфяного кокса, брикетов из древесного угля и торфа, вполне оправдал себя в отношении надежности и расхода топлива; эти автомобили были построены для применения сжатого городского газа.

[1] Report of the Fuel-Resegrch Board for the jear 1929, London, 1929, S. 74.

I. Именной указатель.

а) Исследователи

Адамс 63
Аккерман 158
Альтмейер 94
Аскенази 317
Ауфхейзер 16, 50, 58

Баер 218
Баллей 85
Бантлин 49, 50
Бартш 111
Баурихтер 344
Беземфельдер 317
Бейльоби 262
Бекер и Вейс 226
Бенуа 15
Берль 355, 364
Бернштейн 45, 48, 57, 263
Берольдинген 27
Бертело 42
Бертельсман 295, 320
Бертье 43
Биндер 52
Бишоф 141
Блахер 43
Блейбтрей 102
Борман 266
Бон 69, 299, 300, 390
Брандт 360
Брандес 63
Брандис 342
Брейзиг 203
Брунк 359
Брунсвик 141
Будуар 60
Бунте Карл 193, 207
Бунте и Террес 221
Бунте, Фигоф и Чако 221
Бухнер 22

Вальдек 106
Ван Флотен 61
Вартенберг 61
Вендт 58, 59, 66, 165
Венцель и Шварц 343
Виландт 59, 104
Вильямс 263
Винклер 362
Вирт 273
Витфельд 235
Вольф 169, 305
Вольф и Баер 218
Вурм 381
Вюртембергер 286

Газовый институт (Карлсруэ) 52, 206, 363
Ган 68
Гаррис 65
Гарцер 321
Гаус 33
Гаусбранд 103
Гвоздь 68, 77, 161, 267, 269
Гейденприм 41
Гельфенштейн 92
Гемпель 42, 88
Гензелинг 94
Германс 168
Герцог 140
Гефер 22
Гиллигер и Вурм 381
Гинрихсен 18
Гмелин 46
Гофман Ф. 295
Гофман Ю. 156
Гофман 57, 97, 100, 214, 264, 369
Грамберг 360
Грау 50
Грос 203
Гроссе 294
Грувен 262, 297
Гудлер 78

Де-Граль 237, 318, 380
Денк 185
Денштедт 359
Дихман 96, 112
Доббельштейн 41
Доленский 202, 291
Дольх 49
Донат 22, 30
Дрешмидт 297
Дьелафе 26
Дюбуа 237
Дюлонг 43
Дюма 359

Енкнер 372

Закс 299
Зальманг 299
Зандер 320
Зейдль 41
Зейденшнур 276
Зиммерсбах 22, 36, 297
Зоммер 297

Иогансен 337
Иохум 93, 94

Каро 299, 317
Карстен 174
Квейсбарт 186
Кертинг 156, 185
Клаус 84
Клейн 34
Клемент 60, 68
Клингенберг 307, 317
Конек 359
Крейсиг 166
Кренер 42, 360
Кригер 166, 250
Кристи 296
Кролль и Маллет 259
Крумбигель 152
Кукук 18
Кумбрух 341
Кьелдаль 359

Лангбейн 42, 360
Ландольт 57, 369
Ледебур 286
Ледер 337
Лерман младший 80, 88
Лессинг 110
Ле-Шателье Генри 58, 63
Ле-Шателье Ш. 74
Либих 259
Лимберг 39
Линк 273, 286
Лиснер 22
Литинский 342
Люгг 65
Люнге-Берль 355, 364
Люнге, Келер 264

Майер 60, 94
Малер 42
Маллет 259
Макграф 62, 168, 221
Маркуссон 30, 32
Мейер 60
Мейер (акц. о-во Пинч) 272
Монд 14, 15, 70
Муассан 94
Мук 18, 20, 35, 36, 357
Мюллер 236

Науман 60
Нейман Б. 381
Нейман Курт 58, 69, 71, 72, 107 165 213, 216, 218, 388
Нернст 61

Орса 363
Оствальд, Вальтер 95, 99, 300, 307,
Оствальд, Вильгельм 58
Пентер 15
Питке 31
Потонье 18, 19, 22
Потонье Р. 31

Пти 43
Пфейффер 234

Радтке 336
Рамбуш 319, 390
Рамсей 298
Рамсейер 31
Рау 297
Рауен 258
Рейзер 229
Рекнагель 341
Ритшель 341
Рихтер 39
Ричардс 63
Розер 270, 306, 317
Рот 162, 241
Руссиг 317

Сабатье и Сендеренс 94
Сайлер 108, 167
Сименс 76
Синнат 110
Стопс 110

Тачак 18
Террес 221
Тольдт 99
Тренклер 66, 270, 282, 286, 300, 309, 338

Уилер 30, 69, 263, 299, 300, 390
Ульстадиус 141

Фабиан 276
Файоль 22
Фишер Франц 42, 50, 264, 270, 282
Фишер Франц 27, 29, 30, 358
Фишер Фердинанд 27, 77, 80, 129, 141, 146, 151, 156, 235, 250
Форстер и Бейльби 262
Фостер 295
Франк 269, 274, 282
Фрич 22
Фриче 52
Фукс 42, 218

Чако 221

Шварц 343
Швир 291
Шматолла 122
Шнивиндт 48
Шормлер 263
Шрадер 27, 29, 30, 358
Штаус 215
Штрахе 43, 59, 77, 79, 81, 194, 195, 197, 203
Шульц 306

Эбельман 66, 142
Энглер 22
Эрдман 94
Эренверт 80
Эрнст 60
Эрнст, Вена 204
Эссих 77

Юнг и Рамсей 298
Юптнер 50, 58, 65

Яворский 275
Ягода 81
Якоби 60, 94
Янс 222.

б) Конструкторы и фирмы

Адос, о-во 347
Айткен 258
Акц. о-во газификации топлива 269 273
Акц. о-во полной газификации (A. G. fur restlose Vergosung) 202, 250
A. V. G. (Allgemeine Vorgasung—Gesellschaft) 275

Байер 345
Баллей 85
Бамаг 177, 182, 195, 235
Барт, Дюссельдорф 177, 180
Бедфордская газовая компания 16, 94
Белер, металл. зав. 226
Бендер и Фрембс, Гаген 79, 166.
Бенсон 258
Бенье 151
Бенц и К° 218
Берар 258
Берловиц 340
Бильдт 126, 172
Бишоф 141, 157, 162
Блас 194
Блецингер Дунсбург 107, 150, 159
Борман 85
Браббе 341
Браун 277
Браун и К° 335
Брук 132, 153
Брук и Вильсон 149
Брукман 147
Буркгейзер 320
Бутилье 129

Вагеман, Зейбель и Ко 146
Варштейнерские горнометаллургические заводы 194
Виденбрюг 191
Вильсон 149, 155
Витсфельд 269
Вюрт 167

Газе, Ганновер 335
Гарленд 267, 269
Гартман и Браун 334
Гекель 356
Геллер 164
Генцельман и Шпармберг 255
Георго-Мариен-Хютте 62, 167, 221
Гере, о-во 345
Гереус 358
Геринг 153
Герлицкий машинный завод 152, 218
Гетц 162, 177
Гетц и Шульц 129
Гефко, Кельн 347
Гильгер 175
Гинзельман 166, 251
Гирт 230
Голл 191
Гопкрафт 153
Горман 119, 147, 150
Гофман 161, 235
Гребе-Лерман 146, 153
Гроссе 177
Гугерсгоф, Лейпциг 356
Гумфри и Глазго 91
Гуте-Хофнунгс-Хютте 177, 182, 191, 232.

Данго и Диннендаль 248
Даннерт 90, 91
Даусон (Dowson) 116, 150, 156
Джебс (Jabs) 120
Де-Бройн 343, 345, 347
Deutsche Mond gas und Nebenprodukten Gesellschaft 182, 269, 274, 305
Дейц 117, 151, 157, 169, 215, 400, 405, 409
Де-Лаваль 133, 154
Дельвик 81, 194
Дельвик-Флейшер, о-во получения водяного газа 202, 395
Де-Фонтен 128, 177
Дешамп 152
Динглер 277
Дихман 191
Дуголл 147
Дуфф 131, 155, 170, 189, 305

Закс 306
Зикель 153

Кайзер и Шмидт 334
Казаловский 147
Кейла, металл. завод 162, 238
Кенигсгофский металл. завод 41
Кениг-Фридрих-Аугуст-Хютте 177, 182
Керпели 133, 138, 154, 172, 180, 181, 218, 222
Кертинг, Ганновер 112, 119, 151, 157, 162, 250
Кетхум 153
Китсон 153
Кладно, металл. завод 177
Классен 345
Клаус 84
Клегг 259
Клеес, Дюсельдорф
Кнаудт 155
Коллер 181, 390
Констебль 150
Копперс, Г. Эссен 114, 129, 168, 142, 204, 306
Крекер 42, 360
Крелль 340
Креш 85
Крослей 305

Крупп 116, 147, 248, 267
Куален 128
Кубершкий 266
Кюпперс 175
Лаймн 268, 305
Лаймн 183
Ламинг 259
Ланген 150
Ленглоун 259
Лерман 116, 146, 267
Либра-Берке 346
Лигель 149
Линг 269, 273
Лундин 258, 260
Льюис 268
Майгак 347
MAN 119, 161, 177, 229, 235
Манстедт и К° 248
Маришка 204, 207, 221
Марконе 230
Меллер 116, 119, 147, 155, 229
Монд 155, 262, 298, 389
Моор 307
Морган 128, 155, 169, 172, 185, 186
Мулерт 321
Мюллер (Дунсбург) 154
Мюллер (Лурги) 238
Незе 116, 119, 147
Нейльсон 145, 259
Одельстьерна 163
Ольшевский 119, 147, 150
Отто и К° 150, 206, 282
Паж 142
Пауер ГЭС Корпорейшен 305
Пелуз 280
Петри и Гекинг 278
Петтер и К° 177
Петтер о-во 175, 191, 250, 321
Пинч акц. о-во 90, 119, 120, 168, 177, 182, 194, 195, 212, 232, 236, 248, 250, 268, 272, 280, 347, 397
Прандтль 341
Пфейффер 150

Раффлер 278
Райтер Конли К 231
Рейтер и Рейзерт 346
Реман 138, 168, 174, 182
Ридель 95, 114
Ридингер и Блау (Аугсбург) 90
Ринкер и Вольтер 90, 91
Робен 142
Розенмюллер (Дрезден) 341
Роней 129

Сабатье и Сендеренс 16, 94
Сезерленд 150, 154, 258
Семмерли 259
Сепюлькр 108, 144, 167
Сименс 76, 116, 144, 145, 148, 152, 162, 163, 170, 214
Сименс и Гальске 335, 345
Смит 155
Соважен 169
Сольвей и К° 126
Стокер К° 129

Тальбот 185, 191
Тальбот и Юз 131
Твайт 117, 122, 150
Тебрих 275
Тейлор 131, 133, 153, 168, 182, 185
Тейзен 277
Тимм 230
Тиссен 173, 307
Томсон 114, 267, 269
Турк 156, 159

Фабер-Дю-Фор 140, 141
Фельд 320
Фише и Гартей 169
Фишер и Шрадер 358
Флейшер 194
Фоже 152
Фортер-Трамп 186, 191
Фразер-Тальбот 185
Франк-Каро 305, 389
Фюс (Fuess, Берлин—Штеглиц) 340, 343

Цан 149

Чепмен 183, 188

Шаванн 183
Шварц, Дормунд 277
Шварцкопф 145
Шефер и Буденберг 332
Шенк-Дармштадт 346
Шнеефус 155
Шпетцлер 248
Шпис 346
Шрамль 146
Штапф 156
Шульце, Шарлоттенбург 340, 343
Шульц-Кнаудт 156

Эбельман 108, 116, 142, 144, 150, 167, 258.
Эдди 259
Эйерман 191
Эйкворт и Штурм 167
Эккардт 236
Эльворти и Вильямсон 16, 94
Эрбейх 250
Эргардт и Земер 177, 269, 273, 305

Юнкерс 368

Янс 222

2. Именной указатель по дополнительным материалам редакции.

Александров С. Н. 343
Альнер 184
Анжу 161
Арендт 203
Армстронг Г. С. 183
Аронов С. Г. 324
Ауер 384
Ауфхейзер 37, 46, 73, 165
Ашлей 37

Бакгауз 232
Балабанов 130
Баллей 86
Бамаг 123, 203, 252
Бар Г. А. 326, 364
Бараш 357
Барчерер Ф. 317
Бачинский А. И. 382
Бауер 10
Беглецов А. Г. 315
Безрадецкий Г. Н. 364
Бейль 32
Бергиус 10
Берд 357
Бертело Ш. 83
Бертельсман В. 356
Бертран 20
Биби 324
Блау 13
Блахер К. К. 37, 43, 315
Богданов Н. Н. 243
Боде 22
Боне 37, 93
Боттомс Р. Р. 324
Браббе 341
Брандль-Маришка 344
Брейзиг 208
Бреннер 232
Брискина А. М. 157
Бродкорб Ф. 325
Бродман 376
Броун И. 319
Брукман 37
Брюкнер Г. 50, 357
Будуар 59
Булгаков Б. И. 282
Бунзен 339
Бунте К. 197, 290, 343, 356
Бурдекин 357
Буркгейзер 324

Вагнер А. 107
Вандовер 39
Ваннер 335
Василевский 241
Васильев В. 334
Вейль К. 325
Вейсенбергер Г. 282
Вельман 192
Вельтер-Бертье (метод) 360
Вернон Г. 336
Вильен 203
Вильсон 208
Виндет В. 208
Винкельман Г. 182
Винклер 86, 231, 394
Вислиценус 89
Виссенбергер 222
Вольблинг 10

Габер 57
Гаврилов Н. Н. 197, 210, 243
Гакфорд 24
Гапонович 208
Гарвей 232
Гаслэм 201
Гаус 33
Гвайтер 73
Гвирцман 315
Гвоздь 73, 86, 89, 156, 161, 195, 196, 202, 203, 232, 397
Гебель Э. 282
Гекель Г. 196
Гейнрих Р. 282
Геллер М. 231
Геллер О. 87, 388, 399
Гемфри 203
Гербехольц А. 372
Герлах 33
Германс Г. 158, 161, 170, 185, 254, 258
Гернсдорф 372
Гертей 197, 336
Герцберг 232
Гибсон 73
Гильгер 192
Гильденитон 208
Гинзбери И. 245
Гинзбург Д. Б. 241
Гипрохим 242
Глаголев Н. М. 344
Глууд В. 265, 325, 357, 362
Гольблат Я. 208, 329
Гольборн-Курльбаум 335
Гофман Е. 22, 57, 156
Гофман К. А. 73, 319

Гофман М. Г. 324
Грац 33, 50
Гребер 291
Грей 357
Грефе 372
Гризинг 336
Гродзовский М. К. 46, 73, 165
Гролль Г. 73, 319
Гронн 22
Гросман П. 242
Грюнвальд А. 351
Гурфинкель М. С. 241
Гуталь 315

Давидсон В. Б. 196
Даусон 151
Де-Граль 83, 239
Дейц 400, 405
Декаленков 315
Дела-Кандомин 58
Дельвиг-Флеймер 395
Дженси и Парр 359
Джердан 13
Джирдлер 324
Джонсон 59
Дидье 184
Дильтей И. 323
Дитцель 85
Дмитриев В. 316
Доберт Г. 203
Доллингер 317
Дольх М. 85, 206, 356, 358, 362
Доуль В. 326
Драбе 88, 397
Древс 17
Дрекли 37
Дренке 221
Дуфф 192
Дюпарк А. 20, 110
Дюрнбаум Н. 334
Дэль 89

Егороз Н. Н. 282

Жемчужников Ю. А. 30, 35, 353
Жуков А. Ф. 237
Жуковская М. Д. 357

Заикин Д. В. 161, 232
Залесский 20
Зандер А. 364
Заремба К. С. 234
Зейферт 5, 357
Зелигер Р. 282
Зибер К. 351

Иенкнер 22
Ижевский В. Н. 114, 143, 315
Институт Торфа 242
Иоффе П. М. 282

Кампредон 357
Караваев Н. М. 32, 37, 282, 325, 359
Каржев В. И. 282
Карпов В. П. 384
Карстен 357
Катвинкель Р. 356, 361, 364
Кафтанов С. В. 282
Кейнат Г. 334
Келлер К. 356
Кеммер Г. 326
Кампер 84
Кертинг 404
Кингдом Ч. Ф. 356
Кирклунд Г. 315
Кирних В. 315
Кларк 203
Клемпт В. 325
Климов Б. К. 83, 225, 242
Клюквин Н. А. 95
Кнопф Г. 101, 388
Ковальский А. 290
Коллин Ф. И. 196
Коллинге 203
Кольман 203
Коняев Г. Г. 240
Копаневич 208
Копп Д. 290
Копперс 322
Кореваар 59
Корницкий С. Я. 43, 360
Костылев Н. А. 192, 293, 384
Коттрель 279
Кох 32, 50
Коюд А. 208
Кранахер 322
Красуский И. А. 356
Кратч 206
Крегер 85
Креулен Т. В. 360
Кречмер Ф. 355
Крупа Г. 232
Крым Б. С. 360
Кубынин 291
Кузьмин Н. А. 243
Купер К. 326
Кэмпбелл 37

Лагер 291
Лангбейн 42
Лангмюир 59
Ландгалер Э. 196, 197
Ланин В. 225, 242
Лант 23, 25
Латеган П. 357, 361
Лебедев А. 87
Левитский Д. 315
Ленце 326
Леш 203
Ле-Шателье 59
Лидов 362
Липаренко 364
Лозов А. В. 93
Ломан Г. 351
Лоренцен Г. 325
Лоскутов Ф. М. 241
Людвиг К. 372
Людевиг В. 50
Людтке А. 208
Люнге 356

Макарьев Т. Ф. 186
Макки 65
Маришка 206
Маркотт 243
Маркуссон 32
Маров М. А. 243
Маршаль 357
Машкиллейсон Е. К. 194
Медден Т. Г. 203
Менделеев 24
Мерис 357
Мецгер Р. 203, 220
Микш 197
Миттельман 84
Михеев С. П. 243
Михельсон Э. М. 324
Миш О. 395
Моллер И. 355
Моравский Ф. 208
Мочалов П. П. 183
Муассан 24
Мук 42
Мулерт 17, 325, 357
Мюллер 84, 197, 203, 323
Мур 197
Мягков А. А. 243

Назаров И. Ф. 351
Нейман Б. 85
Нейман 208, 372
Новиков Л. З. 237, 241
Нусинов Г. О. 319, 325
Нюблинг 203

Оделль В. В. 196
Осанн Б. 384
Олькотт 73
Орлов Н. А. 10, 22, 30
Орса 364
Отто Э. 363

Пайер Т. 220
Парр 37
Партингтон И. Р. 57, 60, 382
Паушардт 365
Пачеке Г. 322
Пейтчер О. 208
Пентегов Б. П. 37
Пермяков Е. В. 20
Петерс К. 325
Пинч 161, 197, 252, 353, 397, 403
Пирс 203
Питерс 357
Пленц 341
Покровский К. В. 366
Полонский Л. 232
Потонье 20
Прандль 341
Пти 323
Пугачев Н. 225

Радченко О. А. 22, 30
Раковский А. В. 57
Раковский Е. В. 243, 232, 323
Ральстон 37
Рамбуш Н. Э. 183, 192, 202, 355
Рамза 24, 86
Раппопорт И. Б. 32
Рафалович И. М. 114, 334, 362, 364, 376
Раффлер 322
Ребок Б. Ф. 315
Рейнлендер 341
Рид 65
Рили 221
Ричи-Гоцо 242
Рокотян С. Е. 84
Рубинштейн Я. М. 341
Руде 86
Руссель 201

Сагулин А. 290
Самкин П. А. 326
Санин 323
Сейлер 37
Семенов Н. Н. 290
Сент-Клер Девилль 60
Серебряков Ф. 243
Сиволобов А. В. 241, 319
Сименс и Гальске 351
Синельников А. С. 243
Слобер 357
Смитс 357
Соважен 197
Соколов А. П. 115
Солодовников 84, 241
Ставоринус 325
Стадников Г. Л. 25, 37, 295, 257
Стассфурт 197
Стефан 201
Стопс 20, 35

Тальбот 185
Тау А. 87, 185, 325, 385
Тауненд Ф. С. 183
Тейлокс 325
Темкин В. Л. 353
Теплотехнический институт 324
Терберг 325
Террес Э. 32, 101, 322, 352, 354, 392
Тиссен 326
Толеверх 208
Толкованов П. С. 345
Томилин Н. 243
Траверг 203
Трейеров Н. И. 385
Тренклер Г. Р. 13, 130, 165, 239
Троицкий П. О. 242
Тулли 203

Уайт 37
Уейнрайт И. Г. 246
Уилер 40
Уокер 73

Фабер А. 185
Федоров Б. П. 87, 362, 364, 376, 382
Фейст В. 323
Фельд В. 322
Ферберг К. 325
Ферри 335

Феррокс 325
Филоненко Г. К. 345
Фильдвейлер 203
Фингас 85
Фишер Ф. 24, 28, 93
Фишер (САСШ) 335
Флек 97
Флоров С. Ф. 192, 241, 242, 341, 376, 384
Фокин Л. Ф. 195
Фоксвелл Г. Э. 110
Франк 184
Франсис 40
Фрейбер 33
Фукс В. 42
Функе 282
Фут 335
Фюсс 340

Хюдлер 394

Цаги 340
Цепке О. 356
Церасоли 89
Цимпель К. 326
Ципперер 341, 343

Чекин П. 89
Черни Р. 315
Чернышев А. Б. 83, 242
Чиликин Г. М. 84
Членов А. Г. 241
Чудновский А. А. 359

Шабалин К. Н. 324
Шакк А. 291
Шакк М. 344
Шарашкин К. И. 241
Шахно А. П. 37, 357
Шах-Паронианц Г. И. 246
Шведер Г. П. 282
Швецов Б. С. 319
Шефер 197
Шиллинг 60, 339, 382
Ширенбек 101
Шишаков Н. В. 237, 376
Шлейхер С. 282
Шмидт 32, 232, 326
Шнеерсон 282
Шрадер 373
Шрот 197, 203
Штединг А. 195
Штейнкампф 325
Штейдинг 203
Штилль 324
Штрахен 23, 25, 43, 197, 357, 395
Штрегубер Ф. 372
Шульце А. 226
Шумахер 203
Шухгальтер Л. Я. 254
Шюринг 33
Щукарев А. Н. 42, 361

Эвен С. М. 232
Эккерт 291
Энглер 24
Энкель Ф. 351

Ювенальев Н. И. 89
Юдкевич 323
Юнге Г. 282
Юнкерс 372
Юптнер 43

3. Перечень патентов.

А) Германские патенты.

31 Лигель, газер 149
519 Гребе-Лерман, швельгазер 146
937 Зикель, золоудаление (шнек) 153
2155 Горман, силовой газер 119, 147
2697 Казаловский, реторта 147
5163 — — 147
5588 Брук и Вильсон, газер 149
5856, 9418 Брукман, газовая комнатная печь 147
6015, 8668 Незе, газер 147
6113, 7024 Меллер, газер с ретортой 147, 155
7003 Гребе, выдвижная решетка 153
9364 Геринг, золоудаление (шнек) 153
13282 Крупп, реторта 147
13617 Лерман, швельгазер 146
15147 Ольшевский, газер 119, 147
15210 Пфейффер, парорегулирование 150
15621 Твайт, двухкамерный газер 150
16223 Сименс, подогрев дутья 148
18719 Кнаудт, охлаждающее кольцо 155
20726 Сименс, охлаждающее кольцо, орошение решетки 116, 148
24238 Сезсерленд, двукамерный газер 150
27165 Даусон, силовая газогенераторная установка 150
29316 Брук, вращающийся дутьевой колпак (чепец) 132, 153
35262 Цан, газер 149
50137 Тейлор, вращающийся поддон 133, 153
52296 Гопкрафт, вращающаяся плоская решетка 153
55811 Сольвей и К°, загрузочная воронка 126
69433 Крупп, паровой затвор для шуровочных отверстий 248
69651 Сименс, химическая регенерация 76, 148
71778 Кетхум, вращающаяся плоская решетка 153
72747 Бильдт, загрузочная воронка 126
72891 Сименс, химическая регенерация 76, 148
72899 Сименс, газер с химической регенерацией 76, 148
73945 Бенье, газовая установка (всасывающая) 151
76967 Виденбрюк, шуровое устройство 191
77554 Голл, шуровое устройство 191
81545 Де-Лаваль, вращающаяся решетка 133, 154
81763 Китсон, вращающаяся плоская решетка 153
87444 Мюллер, вращающаяся решетка 154
88565 Де-Лаваль, вращающаяся решетка 133, 154
101610 Блецингер, добавление камней в шахту 107
105511 Дельвик, способ получения водяного газа 81
108183 Китсон, вращающаяся решетка 154
115105 — — газер 129
131529 Турк, охлаждающее кольцо для зоны горения 155
132562 Тимм, барабанный газер 230
135025 Томсон, многозонный газер 114, 267
140639 Дуфф, вращающаяся многогранная шахта 131
144826
147061 Янс, газер для отбросного угля 222
148854 Ранер, газер с нижней подачей 129
154759 Янс, газер для отбросного угля 222
159889 Джордж, атоматическая загрузка 128
165061 Шнеефус, качающаяся корзиночная решетка 155
161980 Марконе, газер для пылетоплива 230
167469 Блегингер, газер с выдвижной решеткой 150
168874 Керпели, газер с вращающейся решеткой 136, 155
169998 Янс, газер для отбросного угля 222
170406 Бутилье, газер с нижней подачей 129
173651
175131 Штапф, охлаждающее кольцо 156

189354 Кресц, непрерывный способ получения водяного газа 85
195293 Геп и Шульце, шуровочное устройство 129
206576 Джебс, перекрестный процесс газификации 120
209387 Акц. о-во Пинч, подсушка выхлопными газами 236
210703 Куален, автоматическая загрузка 128
210889 Кюпперс, вращающаяся решетка 175
211167 Шаванн, вращающаяся решетка 175
216786 Реман, вращающаяся решетка 174
221170 Керпели, золоудалитель для вращающейся решетки 181
229879 Гуте - Хофнунгс - Хютте, шуровочное устройство 191
230124 О-во Петтер, вращающаяся решетка 175
235488 Керпели, ступенчатая решетка 230
238597 Дихман, шуровочное приспособление 191
238829 Каро, газер с отбором аммиака 390
241586 Бендер и Фрембо, испаритель 251
242017 Керпели, газер высокого давления 232
242685 Коллер, фрезерная решетка 181
249686 249687 Кюпперс, планирующее устройство 129
255291 Франк-Каро, газификация отъемом аммиака 305
255341 Бамаг, вращающаяся решетка 177
265697 Кюпперс, планирующее слой устройство 129
266601 Моор, газер с отбором аммиака 307
269349 Борман, генератор водяного газа 85
271995 Лаймн и Рамбуш, вращающаяся решетка 183
274011 Закс, горяче-холодные трубки для получения аммиака 306
275221, 287252 Дельвик - Флейшер, генератор тройного газа (тригазер) 202
287525 Коллер, фрезерная решетка 181
288127 Гофман, золоудалитель для прямоугольного газера 161, 235
289770 Кюпперс, вращающаяся решетка для двух реакционных газов 114
291225 Эйерман, шуровочное устройство 191
291500 Смит, качающаяся корзиночная решетка 155
294333 Доленский, тригазер 202
296335 Бамаг, золоудаление для прямоугольных газеров 335
299505 Манстедт и К°, переносная шуровочная воронка 248
300452 Акц. о-во Пинч, перекрестный ход, подсушка 120
302804 Ридель, образование метана в газогенераторах 95
302827, 306060 Эккардт, газер с подсушкой 236
304986 Морган и К°, вращающаяся решетка 183
306988 Мулерт, получение серы из газов 321
308259 Ридель, промывка аммиака паром 114
315014 MAN, золоудаление для прямоугольных газеров 235
323588 Деа, прессованный уголь с добавками в шихту 236
357238 Тренклер, использование отбросного тепла в способе Монда 304

Внегерманские патенты.

Австр. пат. 16700 Керпели, вращающаяся решетка 136, 155.
Америк. пат. 114979, 1914 Гарленд, швельгазер 267
Англ. пат. 5701, 1828 Нельсон, применение подогретого нового воздуха 145
— — 7460, 1837 Мидглей и Кайен, присадка соли при коксовании 300
— — 57, 1874 Айткен, отбор аммиачных продуктов 258
— — 4697, 1882 Вильсон, газер 155
— — 3923, 1883, 8973, 1885 Монд, отбор аммиака 299
— — 27379, 1897 Тальбот и Юэ, вращающаяся шахта 131

4. Предметный указатель.

Автоматические шуровочные устройства 135
Автомобильные газогенераторы 414
Азот топлива 25
Азот топлива, поведение при дестилляции 50, 295
Аммиака отбор 258, 299
Аммиачная установка 300
Антрацит 35
Ацетилен 16, 93
Аэрогенный газ 15, 91

Балансы тепловые 220, 221, 272, 373, 407
Баластные вещества 26
Бедный газ 14
Бензол (давление пара) 91
Бертинирование 11
Битумы 9
Блаугаз 13, 90
Блестящий уголь 35
Богатые газы 11
Богнеды 35
Бомба для сжигания (калориметрическая) 42, 360
Брикетирование бурых углей 54
Брикетирование каменных углей 54
Бункера размеры 256
Бункера верхние 256
Бункера нажние 254
Бурые угли (газификация) 144, 234
Бурые угли (классификация) 34
Бурые угли (отличие от каменных углей) 33

Вагон — автоматический 346
Веерная решетка 173
Вентили 246
Вентури труба 344
Верхний огонь 105, 211
Влажность топлива 27
Влажность газа, определение 336
Влажность, балласт в газе 261, 289, 384
Водород располагаемый 46
Водяной газ 15, 80, 120, 192, 397
Водяной газ, непрерывное получение 84, 399
Водяной газ, равновесие 68
Водяной пар, разложение 70, 387
Водяной затвор (нижний) 109, 170
Воды подмешивание к дутью 114
Воздушный газ 14, 61
Волокнистый уголь 35
Воронок (прогаров) образование (в слое 105
Вращающаяся решетка 133, 154, 172
Вращающаяся решетка с сухим золоудалением 181
Вращающийся фильтр 277
Время пребывания топлива в газере 104
Выветривание топлив 40, 252
Высасывающие установки 151, 400, 403, 405

Газа анализ (см. «состав») 361
Газер 140
Газификация (определение) 2, 16
Газификация, классификация процессов 46, 53, 87
Газификация, диаграмма 100
Газификация, треугольник 99
Газификация, производительность 113
Газоанализаторы 346
Газов техническая классификация 11, 13, 393
Газовое пространство 103, 116
Газогенератор, определение 9, 141
Газогенератор для дров 186, 405
Газогенератор, классификация 16, 112
Газогенератор высокого давления 181, 232
Газогенератор с вращающейся шихтой 131
Газогенератор с вращающимся поддоном 132
Газогенератор электрический 92
Газогенератор со срединным газоотводом 119, 121, 147, 150, 152, 158
Газогенератор со швельшахтой 268,275
Газогенератор со швельретортой 269, 273
Газогенератор с корзиночной решеткой 155, 162, 164, 182
Газогенератор с отсосом газов 400
Газогенератор с обводным газоотводом 119, 147
Газогенератор с обратным процессом 116, 144, 156, 169
Газогенератор с водным затвором 401
Газогенератор безрешеточный 148, 164
Газогенератор с лестничной решеткой 144, 162
Газогенератор с плавлением шлака (баланс) 62, 222

Газогенератор транспортный 414
Газогенераторные установки 244
Газомоторы 407, 410
Газопроводы 247
Генераторный газ 14
Глазковый уголь 35
Горения температуры 288
Горячая продувка (водяной газ) 81
Грейферный кран 254
Гуминовые кислоты 29
Гумусовые угли 18

Давления замер 339
Двойной газ 15, 84, 120, 195
Двухкамерный газер 117, 150
Дегазирование 9
Дегидратация 325
Дезинтегратор 277
Дельтовая теория 22
Дестилляционные газы 47, 96
Дестилляционные остатки 31, 55
Дестилляция при низких температурах 48
Дестилляция при высоких температурах 48
Дестилляция торфа 49
Дестилляция целлюлозы 50
Детрит 38
Диссоциация CO_2 61
Диссоциация CO 61
Диссоциация H_2O 84
Доменный газ 65
Доменный газ, регенерация 80, 88
Дутьевой колпак (чепец) 132, 152, 163
Дутья количество 249

Жирный газ 15

Загрузка рантовая 116
Загрузочная воронка 122, 248
Загрузочная воронка с отводящим кольцом 123
Загрузочная воронка с двойным клапаном 124
Загрузочная шахта 116, 120, 146
Затворы для шуровочных отверстий 148
Затворы для шуровочных отверстий паровые 248
Зола 26
Золоудаление 152
Золоудалитель (сошник) 138
Золы вывозка 257
Золы передача, специальные устройства 180
Золы топлива состав 38
Золы топлива плавкость 38

Известковых печей газ (регенерация) 80
Измерения эксплоатационные 331
Изокалоры 100
Изотермы 101
Ила гнилого образование 18, 33
Инфильтрация 38
Испаритель 79, 250

Калориметр 42, 363, 368
Канатные дороги 255
Карбюрированные газы 9, 15
Карбонификация (обуглероживание) 21
Карбоцит 10
Карбюрированный водяной газ 90, 91
Каталитические влияния угля 73
Каустобиолиты 18
Кеннельский уголь 35
Кислород топлива 25
Классификация газов 11, 13
Классификация углей 35, 36, 37
Коксование 38, 48
Коксовый газ 14, 47
Количества газа замер 339
Конденсация 258
Контактные метаморфозы 22
Контроль 350
Конусные клапаны (загрузочные воронки) 125
Коэфициент полезного действия (определение) 382
Коэфициент полезного действия установок водяного газа 82
Краны 254
Крейза газ 210
Крекер 397
Кюбельные краны 245, 253

Лебедки подвижные 254
Лестничная решетка 145, 162
Лигнин 22, 30
Липтобиолиты 18

Маслянистые угли 35
Маслянистый сланец (газификация) 224
Материальный баланс 373
Матовый уголь 35
Мелочи угольной газификации 229
Метана получение (чистого) 95
Метановое обогащение 94
Минеральных масел потребление 293
Мокропрессованные брикеты 54
Монда газер 70, 307

Насыщение газификационного воздуха 306
Насыщенный газ 15
Нефти образование 23
Нефтяной газ 16, 89
Нормы 380

Облагораживание топлива 53
Обмуровка газогенераторов 176, 247
Обуглероживание (карбонификация) 21
Окисление угля при хранении 40
Окись углерода 58, 74
Окись углерода, разложение 61
Оксигазы 15, 87, 92
Омгаз 395
Орса аппарат 363
Остатков переработка 111
Оствальда закон химического равновесия 58

Охлаждающее кольцо 109, 156
Охлаждающие башни 265
Охлаждающий пояс 155
Охлаждение водное (водяная рубашка) 109, 147, 155, 173, 401
Очистительные устройства 258, 264
Очистка газа от сероводорода и аммиака 321

Пара замер 345
Пара подвод 113, 250
Пара подвод рантовой 114
Пара подвод, подача в газер 65
Паровой газ 14
Паровой газ, процесс образования 70, 74
Паровой инжектор (для дутья) 112, 250
Паровой котел, водяная рубашка 147, 204
Паровой котел на отходящих газах в газогенераторных установках 151, 204, 395
Пелуза аппарат 280
Пентера газ 91
Перекрестная газификация 120
Пирометры 333
Пирописсит 35
Плавкость золы 39, 109
Плавление шлака 108, 143, 167, 230
Планирующие устройства 129
Платтельский уголь 35
Плоская вращающаяся решетка 162, 241
Побочных продуктов отбор 259
Подогрев воздушного дутья 147, 150
Подпорные трубки 341
Подсушка топлива 55, 236
Покровная плита 247
Полигональная решетка 163
Полноценные газы 14, 89
Полосчатый уголь 35
Полугаз и процессы при его получении 14, 65, 70
Полугазовые топки 141, 162
Полукокс 55, 263
Полукоксование — см. швельпроцесс
Поправки при замере газа 344
Природный газ 24
Производительность газера 113, 211
Производственные расходы 189
Происхождение угля 22
Прямоточный газер 114
Псевдокеннельский уголь 35
Пылевидного угля газификация 231, 399
Пылевой мешок 246

Разгружатели ковшевые 255
Рантовый газ 74
Ратовый огонь 106
Регенерационный газ 14, 76
Регенерация в печах 145
Регенерация химическая 148
Регенерация тепла отходящими газами 18
Регулятор 250
Реторты (швель) 147, 266
Решетки механические 109, 133
Роликовые опоры для решет 179

Сажи образование 286
Сапропелиты 18, 36
Серы содержание в топливе 26
— получение 319
Силовой газ 150, 158, 406
Сильный газ 395
Слабый газ 14, 394
Сланцы 36
Смешанный газ (Даусона) 150
Смола, отделение 261, 272
Смола, впрыскивание 282
— получение 262
— промывка 263
— первичная 263
Смоляной газ 15
Сопла измерительные 342
Сортировка угля 39
Состав газа американские газеры 189
— — для многозольных топлив 236
— — — газеров с вращающейся решеткой 219
— — — мелкозернистого топлива 226
— — — прямоточного газера 219
— — — сырых бурых углей 237
— — — всасывающих установок 215, 216
— — — различных топлив и различных нагрузок 213
— — — богатых влагой топлив 226, 228
— — опыты Бон и Уклера 69
— — — Даусона 151
— — — Вендта 66
— — — Виландта 61
— — — Неймана 71, 72
— — — Эбельмана 144
Спекаемость (причины) 30
Сухая перегонка (см. дестилляция) 9, 44, 46, 55
— — теплота процесса 49

Температура горения 290
— реакции образования CO_2 62
— — — CO 64
— — — полугаза 74
Тепла стоимость 292
— отходящего утилизация 302, 381
— потери при канализации газа 245, 261
Теплоемкости 288, 289
Теплотворная способность топлива 41, 360
— — газа 367
Теплосодержание газа 382
Теплота сгорания 43
Термометры 332
Термоэлементы (пирометры 335

Топливный слой 102
— — разрыхление 107
Топливных смесей газификация 385
Топливо подготовка 39, 53
— сравнительная оценка 28
— происхождение 18, 29
— классификация 18, 32
— анализ 355
— жидкое 24
— газообразное 24
— теплопроизводительность 41
— подача 252
— искусственное 53
— подсушка 55, 236
— состав 28
Торф классификация 33
— машинный 55
—образование 21
Точки росы определение 335
Транспортеры 253
Треугольник Гиббса 99
Тройной газ 202
Трубки газоизмерительные 341
Тяга газа 112

Установка газогенераторная (расположение) 244
Углеводородов разложение (крэкинг) 61, 286

Физическое тепло газа 291, 382
Фильтры сухие 278
Фланцы измерительные 342
Формула союзная 43
Фрезерная решетка 179

Характеристика топлив 46
Химическая регенерация 148
Холодильник колонный 265
Хранение углей (подводное) 40
— — (изменение) 39

Цепная дорога (подача угля) 255
Циндер 111

Чистый газ 15

Шайбы измерительные 340
Шаровые опоры вращающихся решеток 179
Шахта вращающаяся 131
Шахты охлаждение 109
Швельгазы 11
Швельпроцесс 112
Швельуголь 35
Шиберы 246
Штабелевание топлив 252
Шуровочные устройства 130

Эквиваленты углей 317
Экономика отбора побочных продуктов 310, 316
— получения первичной смолы 292
Элеваторы ковшевые 253

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

Имеются в продаже следующие книги:

ОБЕРДОРФЕР Г., инж.

Замыкания на землю и борьба с ними. Пер. с нем. с дополнен. инж. В. Л. Майзель. 1932

200 стр. Ц. 3 р. 50 к.

ОКУЛОВ П. В.

Технология электроматериалов. 1932

343 стр. Ц. 5 р. 50 к.

СИРОТИНСКИЙ Л. И.

Перенапряжения и защита от перенапряжений в электрических установках. 1933

528 стр. Ц. 7 р. 50 к., пер. 75 к.

ТРЕТЬЯК Г. Т.

Электрическая дуга. Вып. I. Аппаратура распределительных устройств высокого напряжения. 1932

159 стр. Ц. 2 р. 50 к.

УСАТЫЙ С. Н.

Электрические машины. Часть I. Общие вопросы теории, арсчета и конструкции электрических машин. 1932

187 стр. Ц. 1 р. 60 к.

ЭМАНУЭЛИ Л.

Кабели высокого напряжения. Перев. с англ. 1932

87 стр. Ц. 1 р. 40 к.

Все издания Энергетического издательства и литературу по всем вопросам техники высылают наложенным платежом книжные магазины Объединения Научно-Технических Издательств.

Ленинград, проспект Володарского, д. № 64, магазин № 1 ЛОНОТИ.
Москва, Мясницкая ул., д. № 6, магазин № 1 ОНТИ.

МФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

Имеются в продаже следующие книги:

КОВАЛЕНКОВ В. И., проф.

Телефония, ч. I. 1932

252 стр. Ц. 4 р.

СТЕКОЛЬНИКОВ И. С.

Перенапряжения и борьба с ними, ч. I. 1932

112 стр. Ц. 2 р.

То же, ч. II. 1933

139 стр. Ц. 2 р. 25 к.

БУТКЕВИЧ Ю. В. и др.

Реакторы. 1933

184 стр. Ц. 3 р. 50 к.

ВИДМАР

Научные основы электротехники. 1932

478 стр. Ц. 7 р. 50 к., пер. 1 р. 20 к.

КОШТАЛЕВ В. С. и КУЛЕШОВ Б. В.

Методы ликвидации аварий на высоковольтных линиях и подстанциях. 1933

64 стр. Ц. 1 р. 30 к.

КЕССЕЛЬРИНГ Ф.

Селективная защита. Перев. с нем. 1932

179 стр. Ц. 2 р. 25 к.

КУКЕЛЬ-КРАЕВСКИЙ С. А.

Плановый ремонт агрегатов электроснабжающей системы. Зависимости от графиков нагрузки и структурного состава системы. 1932

80 стр. Ц. 1 р 80 к.

Все издания Энергетического издательства и литературу по всем вопросам техники высылают наложенным платежом книжные магазины Объединения Научно-Технических Издательств.

Ленинград, проспект Володарского, д. № 64, магазин № 1 ЛООНТИ.
Москва, Мясницкая ул., д. № 6, магазин № 1 ОНТИ.