

Цена 8 р. 40 к.

7511-

1
2
5

153
125
1950

Д.Б.ГИНЗБУРГ

ГАЗИФИКАЦИЯ
НИЗКОСОРТНОГО
ТОПЛИВА

1
2
5

ПРОМСТРОЙИЗДАТ
1950

Д. Б. ГИЗБУРГ

С $\frac{153}{125}$

ГАЗИФИКАЦИЯ НИЗКОСОРТНОГО ТОПЛИВА

1216

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ
МОСКВА—1950

Государственная
Библиотека
СССР
им. В. И. Ленина

51-3933

ПРЕДИСЛОВИЕ

За годы Советской власти газификация топлива получила широкое применение в разных отраслях народного хозяйства. Особенно важными этапами в развитии газогенераторного дела явились: использование для газификации разных сортов и видов местного топлива, ранее не применявшегося для этой цели, разработка и применение механизированных конструкций газогенераторов и усовершенствование методов очистки газа при одновременном улавливании побочных продуктов. Проведенные в нашей стране детальные теоретические и весьма ценные практические исследования позволяют обосновать условия правильной организации газогенераторного процесса. Советские изобретатели предложили и разработали новые, более эффективные методы газификации низкосортного топлива, из числа которых особо следует отметить метод газификации топливной мелочи во взвешенном слое. Были также проведены работы по газификации под высоким давлением, использованию обогащенного кислородом и сильно подогретого дутья, улучшению подготовки топлива и по подсушке влажного топлива отходящими газами, заслуживающие широкого внедрения. Эти усовершенствования значительно повысили производительность газогенераторов и улучшили качество газа.

Книга, посвященная указанным вопросам, обобщает опыт в части газификации различных топлив и предназначена для широкого ознакомления работников промышленности с достижениями советской науки и практики.

Автор выражает глубокую благодарность академику Н. Н. Доброхотову, сделавшему ряд ценных указаний при просмотре рукописи.

ВВЕДЕНИЕ

Топливо подразделяют на естественное и искусственное. Путем механической переработки получают брикеты и пылевидное топливо, а путем термической переработки—кокс или полукокс.

Требования к бурым и каменным углям и антрацитам, применяемым в газогенераторах стационарного типа, приведены в ГОСТ 4104—48 (каменные и бурые угли восточных районов СССР) и в ГОСТ 3846—47 (донецкие угли и антрациты). На торф, древесину и бурые угли составлены проекты кондиций [1]. Почти на все угольное топливо, добываемое в СССР, имеются ГОСТы.

Низкосортными, применительно к условиям газификации, могут быть названы отдельные виды топлива, результаты газификации которых в обычных конструкциях газогенераторов являются очень низкими в отношении теплотворной способности газа, коэффициента полезного действия и интенсивности газификации.

В прошлом под низкосортным топливом понимали всякое топливо, содержащее значительное количество влаги и золы, мелкое, несортное, непрочное и с легкоплавкой золой. Усовершенствование приемов подготовки значительно сократило число таких сортов и видов топлива. Новые методы сжигания и газификации дополнительно уменьшили номенклатуру топлив, использование которых считалось ранее неэкономичным.

Однако разработанные конструкции для газификации малощелочных сортов топлива мало распространены и почти не применяются при получении генераторного газа для нужд отопления печей. Во многих случаях неудовлетворительные свойства топлива приводят к получению генераторного газа с весьма низкой теплотворной способностью, непригодного для отопления высокотемпературных печей. Необходимое повышение теплотворной способности газа, например, путем обогащения дутья кислородом или нагрева дутья, повышает стоимость и усложняет газогенераторные установки.

В настоящей книге рассматривается газификация менее дефицитных и более дешевых низкосортных топлив, которые, однако, часто трудно использовать в существующих условиях.

Глава I

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГАЗИФИКАЦИИ ПРОЦЕССЫ В ГАЗОГЕНЕРАТОРЕ

При газификации твердого топлива его горючая часть, в результате взаимодействия с газообразной газифицирующей средой—кислородом воздуха (или обогащенного кислородом воздуха), водяным паром и углекислым газом, превращается в генераторный газ.

В соответствии с изменениями, происходящими с топливом в газогенераторе, в нем различают следующие зоны: 1) подсушки топлива, 2) сухой перегонки топлива, 3) реакционную или газификации, 4) золы и шлака.

Зону газификации подразделяют на кислородную (окислительную) и восстановительную зоны. В кислородной зоне в газах содержится значительное количество кислорода — более 2—5%, в восстановительной же—малое, т. е. в этой зоне протекают преимущественно восстановительные реакции.

При нисходящем движении газов в зоне газификации происходит разложение и окисление продуктов сухой перегонки, а также взаимодействие их и влаги топлива с углеродом и продуктами газификации.

При восходящем движении газов эти же процессы происходят в случае недостаточно полной подсушки и сухой перегонки топлива в соответствующих зонах.

В зоне золы и шлака происходят догорание углеродистого остатка топлива и подогрев дутья.

В табл. 1 приведены данные, характеризующие свойства газов, входящих в состав генераторного газа.

В газогенераторе одновременно протекают процессы нагрева, сушки и сухой перегонки топлива, а также взаимодействия газов дутья и продуктов разложения с углеродистым остатком топлива и между собой. Для их выяснения необходимо рассмотреть ход реакций и теплообмен в слое топлива, а также его подсушку и сухую перегонку и аэродинамику газовых потоков применительно к условиям работы газогенераторов.

В зависимости от характера дутья различают следующие виды генераторных газов: воздушный, водяной, паровоздушный,

Удельный вес и теплотворная способность газов

Таблица 1

Наименование газа	Химическая формула	Удельный вес газа в кг/л.м. ³	Теплотворная способность (низшая)	
			в ккал/кг.моль	в ккал/кг
Водород	H ₂	0,0898	57800	2579
Кислород	O ₂	1,429	—	—
Азот	N ₂	1,251	—	—
Окись углерода	CO	1,250	67650	3018
Углекислый газ	CO ₂	1,977	—	—
Воздух	—	1,293	—	—
Водяной пар	H ₂ O	0,804	—	—
Метан	CH ₄	0,717	191759	8555
Этан	C ₂ H ₆	1,356	341262	15266
Пропан	C ₃ H ₈	2,020	488527	21795
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,840	635185	25338
Пентан	C ₅ H ₁₂	3,218	782043	34890
Гексан	C ₆ H ₁₄	3,840	869000	38718
Этилен	C ₂ H ₄	1,260	316195	14107
Пропилен	C ₃ H ₆	2,020	460422	20541
Бутилен	C ₄ H ₈	2,500	607679	27111
Ацетилен	C ₂ H ₂	1,173	300095	13388
Сероводород	H ₂ S	1,539	123920	5530
Сернистый ангидрид	SO ₂	2,927	—	—

парокислородный и регенеративный. Наибольшее применение из генераторных газов с невысокой теплотворной способностью имеет паровоздушный, а из газов с повышенной теплотворной способностью—водяной (табл. 2).

Паровоздушный газ получают из всех видов топлив, причем к. п. д. газификации в случае смолистых топлив составляет 67—72% и в случае бессмолистых—85—90%.

Для получения водяного газа используют сорта топлива с малым содержанием влаги и не содержащие смолистых веществ.

Таблица 2

Состав генераторных газов*

Наименование газа	Выход сухого газа в н.м. ³ /кг		Состав газа в объемных процентах						Исходное топливо		
	CO ₂	C _m H _n	CO	CH ₄	H ₂	N ₂	Q _n ^c	W ^p	A ^p	Q _n ^p	
Водяной газ из каменноугольного полукокса	1,75	—	40,8	0,8	48,5	2,9	2543	5,0	10,0	6860	
Водяной газ из торфяного полукокса	1,9	0,3	26,0	2,8	53,0	5,9	2426	8,2	4,2	—	
Водяной газ из антрацита	1,65	—	38,5	0,5	48,0	7,0	2450	5,0	6,0	7080	
Водяной газ из каменного угля	1,05	0,9	49,6	4,7	32,0	5,3	2830	8,0	10,5	6150	
Водяной газ из бурого угля	0,62	0,6	23,8	6,9	50,0	4,2	2660	25,4	7,3	4447	
Карбюризованный водяной газ из каменноугольного кокса	—	9,2	29,2	13,9	36,2	6,2	4300	—	—	—	
Двойной водяной газ из торфа	0,635	1,0	21,2	8,7	49,2	2,7	2800	27,8	4,2	3393	
Двойной водяной газ из буроугольных брикетов	0,845	—	29,4	6,9	40,9	9,6	2630	11,2	9,8	5200	
Водяной газ из торфа (непрерывный процесс, подвод циркулирующей смеси с t=1200°)	1,104	—	27,5	2,6	51,9	2,6	2390	27,9	0,8	3573	
Газ из торфа (газогенератор с разложением смол)	2,6	0,1	16,0	2,2	17,0	52,7	1123	22,0	4,0	3700	

* Состав других генераторных газов см. ниже.

При смолистом топливе можно избежать сложной очистки газа и загрязнения сточных вод фенолами путем разложения смол.

Обычно процесс получения водяного газа ведут прерывисто, т. е. попеременно подают воздушное и паровое дутье. К. п. д. газификации низок—50—55%. Дополнительно до 10% потенциального тепла топлива можно использовать в случае получения и перегрева водяного пара за счет тепла продувочных газов.

Для получения водяного газа непрерывным процессом и использования низкосортных топлив применяют специальные конструкции. При этом необходимое тепло может быть введено в газогенератор с помощью водяного пара и циркулирующего газа, нагретых в регенераторах. Такой же эффект достигается путем обогрева шахты снаружи или изнутри.

При улавливании смолистых веществ используют газогенераторы двойного водяного газа.

Получение двойного водяного газа—дорогой, сложный и громоздкий процесс, связанный с образованием сточных фенольных вод, очистка которых затруднительна.

При газификации за счет чистого кислорода или обогащенного кислородом воздуха процесс протекает с выделением тепла, и его можно вести непрерывно с получением высококалорийного газа.

Объем газа, образующегося при газификации на кислородном дутье, меньше, чем при воздушном дутье. Такой ход процесса способствует повышению температуры зоны газификации, увеличению количества разлагаемого пара, а также уменьшению высоты зоны газификации и температуры выходящего из газогенератора газа.

Кислородное дутье, при котором развиваются высокие температуры, можно с успехом применять в газогенераторах с жидким шлакоудалением. При этом могут быть также использованы шлаки и металл, выпускаемые из газогенератора.

Обычно при газификации с помощью кислорода, во избежание развития слишком высоких температур, требуется значительная добавка к дутью водяного пара. Соответствующий подбор соотношения в исходной газифицирующей смеси азота, кислорода и водяного пара позволяет получить газ с широким диапазоном соотношений H_2 , CO , CO_2 и N_2 .

Применение кислорода для газификации до сих пор ограничивается его стоимостью, понижающейся благодаря совершенствованию методов получения и укрупнению кислородных установок. Чем крупнее кислородная установка, тем меньше ее удельная стоимость и стоимость получаемого кислорода.

Одним из преимуществ рассматриваемого способа газификации является возможность перевода существующих газогенераторных установок на работу на парокислородном дутье, требую-

щим только изменения в коммуникациях и подводке дутья. При использовании парокислородного дутья повышается производительность газогенераторов.

При газификации многих местных топлив выделяются смолы, засоряющие газопроводы и препятствующие использованию газа в некоторых конструкциях горелок. В то же время смолы являются ценным побочным продуктом. Удаление смолы из газа может быть произведено как с помощью специальных очистителей, расположенных вне газогенератора, так и путем использования таких газогенераторов, в которых смолы проходят зону высоких температур и разлагаются.

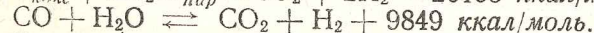
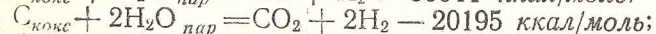
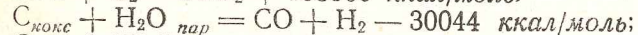
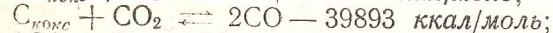
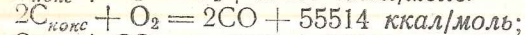
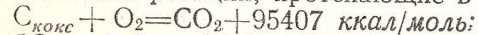
Из этих конструкций наибольшее распространение получили газогенераторы малых размеров с прямоточным движением газов и топлива и конструкции различных размеров с двойной зоной горения, в которых отбор газов производится из середины слоя, а воздух подается как вверху, так и внизу: вверху—для развития высоких температур и окисления топлива, а внизу—для лучшего дожигания остатков.

Генераторный газ может быть карбюрирован или парами бензина и бензола (холодная карбюрация), или продуктами разложения жидкого топлива—мазута или смолы (горячая карбюрация). Карбюрация газа повышает его теплотворную способность и светимость пламени.

РЕАКЦИИ В ЗОНЕ ГАЗИФИКАЦИИ

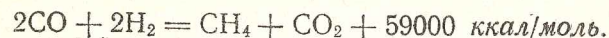
В зоне газификации происходит интенсивное взаимодействие элементов топлива или его коксового остатка с газами дутья и получаемыми газами. В других зонах, с более низкой температурой, эти процессы протекают с малой скоростью и мало влияют на выход получаемых продуктов.

Основные реакции, протекающие в зоне газификации:



В зоне газификации могут протекать также реакции образования NH_3 , H_2S , SO_2 и CH_4 .

Особенное значение имеет образование CH_4 . В специальных газогенераторах метан получается в больших количествах при взаимодействии, в условиях высокого давления, углерода топлива с водородом или различных газов между собой, например, по реакции:



Увеличение давления способствует образованию в равновесной смеси газов, молекулы которых состоят из большого количества атомов, т. е. образование которых идет с уменьшением объема. Большое значение для генераторного процесса имеет увеличение содержания в газе CO_2 и CH_4 .

Данные расчетов и исследований [2, 3, 4] позволяют охарактеризовать влияние различных факторов на состав газа.

С повышением температуры увеличивается содержание в газе H_2 и CO и уменьшается содержание CO_2 , водяного пара и CH_4 , а с увеличением давления растет содержание CH_4 , CO_2 и водяного пара и уменьшается содержание H_2 и CO (особенно заметно при низких температурах). С увеличением содержания в дутье водяного пара возрастает содержание в газе CH_4 и водяного пара и уменьшается содержание CO . С увеличением температуры и давления газа теплотворная способность получаемого газа растет (рис. 1). С увеличением содержания в дутье кислорода увеличивается содержание в газе CO , H_2 , CH_4 и CO_2 .

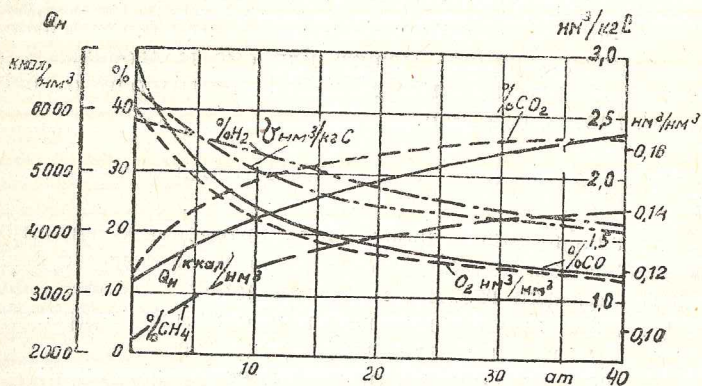


Рис. 1. Состав неочищенного газа (%), теплотворная способность (kcal/m^3) и выход ($V \text{ m}^3/\text{kg}$) очищенного газа и удельный расход кислорода на очищенный газ (m^3/m^3) в зависимости от давления (бурый уголь, парокислородное дутье, опытные данные).

Давление имеет существенное значение при не очень высоких температурах газификации ($500-900^\circ$). Для получения газа с высокой теплотворной способностью следует вести процесс газификации под высоким давлением и температуру газа на выходе из газогенератора поддерживать по возможности низкой.

СКОРОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО ГЕТЕРОГЕННОГО ПРОЦЕССА

Химические процессы на поверхности соприкосновения двух фаз (подвод к поверхности реагирующих веществ и отвод от нее

продуктов реакции) также сопровождаются диффузией. Наблюдаемая скорость процесса зависит от скорости собственно химической реакции и от скорости диффузии [5, 6].

Основные положения диффузионных процессов, применительно к газогенераторам, излагаемые ниже, разработаны Н. Н. Доброхотовым [5].

Если в системе одновременно протекают несколько реакций, то каждая из них протекает независимо друг от друга. Полное изменение системы является суммой этих независимых изменений. Поэтому скорость обратимой химической реакции есть разность между скоростью образования вещества по прямой реакции и скоростью исчезновения его по обратной реакции.

Если активность вещества В пропорциональна его концентрации, то скорость обратимой химической реакции $A+B \rightleftharpoons C+D$, т. е. количество вещества А, прореагировавшего в единицу времени, выражается уравнением:

$$-\frac{\partial M_A}{\partial z} = K_1 a_A (C_B - C_B^{рав}), \quad (1)$$

где: a_A — активность вещества А;

$C_B^{рав}$ — концентрация вещества В в потоке газа, равновесная с поверхностью тела;

C_B — концентрация вещества В;

K_1 — коэффициент скорости реакции.

Если концентрация вещества А при реакции остается постоянной, скорость химической реакции определяется из выражения:

$$\frac{\partial M_A}{\partial z} = \beta_{хим} (C_B - C_B^{рав}), \quad (2)$$

где $\beta_{хим}$ — коэффициент скорости химической реакции, зависящей от величины энергии активации (E) данной химической реакции, от температуры и от эмпирического коэффициента (K) скорости реакции, в $\text{cm}^2/\text{сек.}$:

$$\beta_{хим} = K V T e^{-\frac{E}{1,99T}} a_A, \quad (3)$$

где: e — основание натуральных логарифмов;

T — температура в $^\circ\text{K}$.

Следовательно:

$$-\frac{\partial M_A}{\partial z} = K V T e^{-\frac{E}{1,99T}} a_A (C_B - C_B^{рав}). \quad (2a)$$

При установившемся стационарном процессе равенство количеств вещества G , поступившего на поверхность путем диффузии и прореагировавшего на ней, дает:

$$G = \beta_{хим} (C^s - C^{рав}) Fz = \beta_{диф} (C^o - C^s) Fz, \quad (4)$$

где: C^o — концентрация реагирующего вещества в слое газа около поверхности тела в $г/см^3$;
 F — поверхность реакции тела в $см^2$;
 z — время действия в сек.;
 $\beta_{диф}$ — скорость перехода вещества путем диффузии в $см/сек$;
 C^o — концентрация диффундирующего вещества в основной массе потока в $г/см^3$;
 $C^{рав}$ — концентрация реагирующего вещества в потоке жидкости или газа, равновесная с поверхностью тела, в $г/см^3$.

Отсюда:

$$C^o = \frac{\beta_{диф} C^o + \beta_{хим} C^{рав}}{\beta_{диф} + \beta_{хим}}; \quad (5)$$

$$G = \frac{\beta_{хим} \beta_{диф} (C^o - C^{рав})}{\beta_{диф} + \beta_{хим}} Fz =$$

$$= \frac{C^o - C^{рав}}{\frac{1}{\beta_{хим}} + \frac{1}{\beta_{диф}}} Fz = \beta_{общ} (C^o - C^{рав}) Fz \quad (6)$$

где: $\beta_{общ} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{хим}} + \frac{1}{\beta_{диф}}}$ — скорость физико-химического процесса между потоком газа и поверхностью тела в $см/сек$.

При низких температурах (или очень малых давлениях, или же очень высоких скоростях газового потока) суммарный процесс ограничивается скоростью собственно химической реакции, а скорость диффузии значительно больше. Скорость суммарного процесса определяется кинетикой реакции, и эта область называется кинетической. Если при этом скорость реакций очень мала, то $\beta_{общ} = 0$. Такие условия имеют место в газогенераторе при температуре ниже 800° , нормальном давлении и отсутствии специальных катализаторов. Зависимость от концентрации реагирующего вещества может быть различная. Скорость реакции пропорциональна свободной поверхности реагирующего твердого тела, тогда как в диффузионной области скорость процесса зависит от геометрической конфигурации системы.

В диффузионной области концентрация кислорода у реакционной поверхности ближе к нулю.

Скорость перехода вещества путем диффузии:

$$\beta_{диф} = B' w, \quad (7)$$

где: w — относительная скорость газов;
 B' — критерий, который выражает собой отношение скорости диффузии вещества в потоке к скорости движения потока по главному направлению.

$$B' \text{ (для газов)} = \frac{0,031}{Re^{0,2}}$$

Скорость диффузии вещества в турбулентном потоке пропорциональна скорости движения потока около реагирующей поверхности и пропорциональна коэффициенту потери напора, т. е. увеличивается с увеличением шероховатости реагирующей поверхности.

В диффузионной области скорость процесса не зависит от механизма химической реакции и определяется скоростью газового потока; влияние температуры невелико. При постоянном общем давлении все реакции идут по первому порядку по концентрации реагирующего газа. При постоянной концентрации реагирующего газа и массовой скорости они идут по нулевому порядку — по давлению, так как коэффициент диффузии обратно пропорционален давлению.

Скорость химической реакции очень быстро растет с температурой. Поэтому область температур, в которой скорости химической реакции и диффузии одного порядка, очень мала. Для процессов, связанных с горением и газификацией выше 900° , при не очень малых давлениях или очень больших скоростях, скорость суммарного процесса определяется лишь диффузионными и теплотехническими факторами. Это так называемая диффузионная область параметров, характеризующих процесс.

Диффузионные процессы протекают не только в свободном газовом пространстве. Большой частью, в результате пористости кокса, они распространяются на некоторую глубину. Реакции внутри кусков могут быть следствием растворимости и последующей диффузии в углеродной массе газов (в том числе и кислорода) или результатом диффузионного или фильтрационного проникновения газов в поры и трещины угля [7].

Чем меньше реакционная способность углерода, тем глубже проникают газы и тем важнее «внутреннее реагирование». Для топлива с высокой реакционной способностью основное значение имеет его внешняя поверхность, под которой следует понимать ту предельную реакционную поверхность, которая оказывается достаточной для реагирующих газов при бесконечно большой скорости реакций. Эта поверхность отличается от геометрической на величину, зависящую от наличия на поверхности тела трещин и пор.

Зона газификации представляет собой область диффузионных процессов в турбулентном потоке. В таком потоке происходит смешение газа и воздуха и горение. При этом коэффициент турбулентной диффузии D $см^2/сек$ для любого газа в потоке любого газа:

$$D = \frac{0,29 \cdot 10^{-6}}{\mu} w d \text{ см}^2/сек, \quad (8)$$

где: w — средняя скорость газового потока в $см/сек$;
 d — диаметр потока в $см$;
 μ — вязкость газов в $г/см сек$.

Критерий подобия диффузии в турбулентном потоке $\frac{4Dz}{S^2}$.

Время смешения $z = \frac{l}{w}$ сек, где l — длина от места начала смешения в см. Одна и та же степень горения газа получается при постоянстве величины $\frac{4Dz}{S^2}$ т. е.

$$\frac{4Dz}{S^2} = \frac{4 \cdot 0,29 \cdot 10^{-6} \frac{wdl}{\mu}}{S^2} = \frac{4 \cdot 0,29 \cdot 10^{-6} dl}{\mu S^2} = idem \quad (10)$$

где d — гидравлический диаметр всего потока газов в см;
 S — толщина одной струи газа и воздуха в см.

Критерий $\frac{4 \cdot 0,29 \cdot 10^{-6}}{\mu} \cdot \frac{dl}{S^2}$ — критерий перемеши-

вания газов в турбулентном потоке. Произведение dl — площадь, равная произведению гидравлического диаметра всего газового потока на длину участка смешения (от места начала смешения).

Из этого критерия можно получить отношение $\frac{dl}{S^2}$, показывающее, во сколько раз площадь dl больше сечения отдельной газовой струи.

Если поперечные размеры газогенератора и количества газа и воздуха (V см³/сек) неизменны, но меняется диаметр струй (размер кусков), получаем:

$$l = mS^2; \quad w = \frac{V}{\frac{\pi S^2}{4} n} = const; \quad nS^2 = const; \quad l = \frac{k}{n}$$

где: n — число струй газа,
 m и k — постоянные.

Длина участка горения газа обратно пропорциональна количеству струй газа. Следовательно, длина области смешения газов уменьшается при раздроблении струй, т. е. при уменьшении размеров кусков.

Если процесс газификации лимитируется диффузионными процессами, протекающими в газовой области, т. е. скорость собственно химической реакции очень велика, то при прочих неизменных условиях длина такой зоны не должна зависеть от скорости газов. Следовательно, если изменяется количество газов, поступающих в газогенератор, длина пути смешения является постоянной. При увеличении количества газа уменьшается длительность смешения, но во столько же раз возрастает скорость диффузии в турбулентном потоке.

Длина зоны газогенераторного процесса, т. е. длина пути использования кислорода в слое кускового топлива на колосниковой решетке и длина пути разложения углекислого газа и водяного пара при газификации кокса или антрацита почти не зависит от производительности газогенератора и уменьшается с уменьшением размера кусков топлива и с уменьшением содержания в газах балластного азота.

При переходе от плотного слоя к кипящему, падающему и т. д., в уравнениях (6, 7) изменяются F и $\beta_{обш}$ одновременно с коэффициентом порозности, температурой T и величиной B' . По исследованиям Чуханова для плотного, падающего и взвешенного слоев значения B' практически одинаковы. F имеет наибольшее значение в плотном слое, большое — в кипящем и малое — во взвешенном.

Н. В. Вознесенским было экспериментально показано, что при сгорании топлива вокруг кусков его образуются зольная оболочка и застойный слой газов. В соответствии с этим для зоны газификации можно принять, что газовый поток в слое является турбулентным, реагирующие и получающиеся газы проходят застойный слой в результате действия сил молекулярной диффузии и концентрация основных реагирующих газов на поверхности близка к нулю. Таким образом по Вознесенскому получаем следующие уравнения, характеризующие равенство количества вещества, поступающего к застойному слою из потока, прошедшего через застойный слой и прореагировавшего на поверхности.

$$\beta_{хим} (C^s - C^{рав}) Fz = \frac{D(C^0 - C^s)}{\delta} Fz \quad (10a)$$

$$-w f \frac{dC}{dx} z = \frac{DF(C - C^s)z}{\delta} \quad (10б)$$

В приведенных уравнениях F — поверхность реакции тел в единице объема в см²/см³, w — средняя скорость потока в см/сек; f — коэффициент порозности, dC — изменение концентрации в г/см³ диффундирующего вещества на пути dx см; δ — толщина застойного слоя газов вокруг кусков топлива в см и D — коэффициент молекулярной диффузии вещества в см²/сек.

Определяя из равенства (10a) C^s и подставляя значение его в равенство (10б), получаем:

$$-\frac{dC}{dx} = \frac{D(C^0 - C^{рав})F}{\left(\frac{D}{\beta_{хим}} + \delta\right) w f} \quad (11)$$

При начальной концентрации реагента $C_{нач}$ и конечной $C_{кон}$ и очень большой величине $\delta_{хим}$

$$C^s = C_{нач} e^{-\frac{FD}{w f \delta} x} \quad (12a)$$

$$x = H = \frac{\ln \frac{C_{нач}}{C_{кон}} w f \delta}{FD} \quad (12b)$$

Таким образом длина участка H , где расходуется реагент, пропорциональна толщине застойного слоя. Следует отметить, что в условиях зоны газификации это может иметь место в случае, если величина $w \delta$ или $\frac{w \cdot \delta}{D}$ близка к постоянной.

Исходя из других предпосылок, в том числе не связанных с наличием застойного слоя, получают аналогичные зависимости, в которых значение отдельных величин определяется из опыта так же, как и значение δ в уравнении (12a). Подобные решения даны А. С. Предводителевым [7, 125] и Б. В. Канторовичем [102].

ТЕПЛООБМЕН В ГАЗОГЕНЕРАТОРЕ

Зола и шлак отдают свое тепло газам дутья. Теплоотдача протекает достаточно интенсивно. Сгорание топлива способствует повышению температуры остатков.

В результате реакций в газовой среде, на поверхности кусков топлива и в его порах в зоне газификации происходит весьма интенсивное выделение и поглощение тепла. Высокая температура кусков топлива и газов (выше 900°) способствует интенсивной передаче тепла лучеиспусканием.

В области кислородной зоны нагрев топлива, связанный со сгоранием углерода в СО и СО₂, замедляется вследствие взаимодействия Н₂О в поверхностном слое куска топлива с углеродом, а иногда также вследствие окончания подсушки и разложения топлива. Образовавшиеся Н₂ почти полностью и СО частично сгорают в застойном слое газов, обволакивающим кусок. Нагревающиеся газы отдают часть тепла топливу и газам (в межкусковом пространстве). Температура газов в пределах кислородной зоны достигает максимума, в восстановительной зоне она снижается, оставаясь выше температуры топлива.

Для расчета распределения температур в зоне газификации требуется составление тепловых балансов для элементарных слоев зоны, что пока представляет очень большие трудности. Процессы, протекающие в отдельных участках кислородной зоны, недостаточно изучены. Расчет теплопроводности в слое,

состоящем из двух фаз, при наличии теплообмена поверхностей кусков топлива лучеиспусканием, сложен.

Средние температуры газов и поверхности топлива можно определить приближенно, составляя упрощенные тепловые балансы зон. Так, можно принять, что все тепло, передаваемое кислородной зоной в сторону зоны золы и шлака, воспринимается дутьем, а также, что соотношение СО и СО₂ и потеря тепла зоной определенным образом зависят от условий работы газогенератора (см. гл. IV).

В зонах подсушки и сухой перегонки теплообмен протекает медленнее и может ограничивать процесс подготовки. В этих зонах тепло газов затрачивается на подсушку и нагрев топлива, а при некоторых топливах также на их сухое разложение.

Сложность расчета теплообмена в зоне подготовки обуславливается наложением друг на друга процессов подсушки и сухой перегонки (в случае больших размеров кусков и высокой влажности топлива), изменением в стадии подготовки размера, веса кусков топлива и его состава и примешиванием к нагревающимся газам, выходящим из зоны газификации, газов и паров, выделяющихся при подсушке и сухой перегонке топлива.

Как известно из теории подобия, скорость прогрева тела с начальной температурой t_0 газами (температура ϑ_2) и температура поверхности шара или цилиндра (t_s) и их центра или

оси (t_c), вернее безразмерные отношения $\frac{\vartheta_2 - t_s}{\vartheta_2 - t_0}$ и $\frac{\vartheta_2 - t_c}{\vartheta_2 - t_0}$

являются функциями критериев Био и Фурье, а теплоотдача от газов к поверхности тела — функцией критериев Нуссельта и Рейнольдса. Следовательно, прогрев кусков топлива зависит от теплопроводности и теплоемкости газов и топлива, вязкости и скоростей газов и размера кусков топлива, т. е. от параметров, изменяющихся в стадии нагрева.

При малом влиянии процессов подсушки и сухой перегонки можно для расчетов прогрева кусков, омываемых текучей средой, применять существующие теоретические зависимости. В этих случаях для расчетов прогрева можно использовать данные исследований по теплообмену в слое кусков материалов с неизменными размерами и свойствами, а также графики Будрина и Красовского [8].

Согласно ряда исследований — Н. М. Жаворонкова [9], З. Ф. Чуханова [10] и др. до значения Re 10—20 в слое твердых кусковых материалов наблюдается ламинарный режим движения газов. При превышении этих значений Re движение приобретает вихревой характер. Падающие, витающие и движущиеся с газом частицы вращаются вокруг оси, направление которой не совпадает с направлением движения газового потока. В результате происходит турбулизация пограничного слоя и

создаются благоприятные условия для переноса тепла и вещества. Турбулизация усиливается при частицах неправильной формы. Она может быть искусственно усилена, например, путем введения углегазового потока в криволинейный канал типа циклона.

Величина коэффициента теплоотдачи в слое от газов к поверхности куска путем конвекции определяется в зависимости от значения критериев:

$$Re = \frac{w\gamma d}{g\nu} \quad (13)$$

$$Nu = \frac{\alpha_k d}{\lambda_2}, \quad (14)$$

где: w — скорость газов, отнесенная к полному сечению слоя в м/сек;

d — размер частиц в м;

ν — вязкость газов в кг сек/м²;

γ — удельный вес газа в кг/м³;

α_k — коэффициент теплоотдачи от газа к поверхности слоя в ккал/м² час град;

λ_2 — коэффициент теплопроводности газа в ккал/м час град;

g — ускорение силы тяжести (9,81 м/сек²).

По В. Н. Тимофееву [11] при $Re < 200$

$$Nu = 0,106 Re \quad (15a)$$

$$\alpha_k = 0,106 \frac{\lambda_2 (w\gamma)}{g\nu}, \quad (16a)$$

при $Re > 200$

$$Nu = 0,61 Re^{0,67} \quad (15b)$$

$$\alpha_k = \frac{0,61 \lambda_2 (w\gamma)^{0,67}}{(g\nu)^{0,67} d^{0,33}}. \quad (16b)$$

К величине α_k нужно прибавить величину α_d — коэффициента теплоотдачи лучеиспусканием. Последняя вычисляется из выражения:

$$\alpha_d = \frac{q_{2,m}}{\Delta t} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град}; \quad (17)$$

где: $q_{2,m}$ — количество тепла, передаваемого от газов топливу лучеиспусканием, в ккал/м² час;

Δt — разность температур газов и топлива в град.

$q_{2,m}$ вычисляется по известным формулам в зависимости

от содержания в газе CO₂ и H₂O и эффективной толщины слоя газов S , определяемой по формуле В. Н. Тимофеева:

$$S = 3,4 \frac{V^{0,25}}{F^{0,75}} m, \quad (18)$$

где: V — объем, в котором заключен газ, в м³;

F — поверхность оболочки, ограничивающей объем, в м².

По З. Ф. Чуханову [11, 12], тепловым сопротивлением куска можно пренебречь при следующем условии:

$$\frac{1}{Bi} = \frac{\lambda_m}{\alpha R} > 1,0 - 1,5,$$

где: λ_m — коэффициент теплопроводности материала куска в ккал/м час град;

R — радиус куска в м.

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_d$$

Данные об удельном весе газов приведены в табл. 1.

Данные о теплопроводности различных газов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициент теплопроводности газов ($\lambda \cdot 10^3$ ккал/м час град).

Температура в град.	Воздух	Азот N ₂	Кислород O ₂	Водяной пар H ₂ O	Углекислый газ CO ₂	Водород H ₂	Окись углерода CO
0	21,4	21,4	21,5	13,9	12,4	150,0	18,5
100	27,4	27,1	28,0	21,2	19,5	186,0	24,0
200	32,9	32,3	34,4	28,9	26,7	222,0	28,6
300	38,3	37,3	40,6	39,2	33,9	258,0	33,0
400	43,4	42,4	46,6	49,1	40,8	294,0	37,2
500	48,4	47,5	52,4	60,2	47,6	330,0	40,6
600	53,2	52,3	57,7	72,1	54,1	366,0	44,0
700	57,8	57,1	62,8	84,7	60,3	402,0	47,2
800	62,2	61,6	67,7	98,1	66,1	438,0	50,6
900	66,4	66,0	72,0	111,9	71,7	474,0	53,6
1000	70,5	70,3	76,4	126,1	77,1	510,0	56,2

Вычисление теплопроводности смеси газов по правилу смешения является грубым приближением, используемым впредь до получения более точных данных.

В табл. 4 приведены данные о вязкости газов. Для газовых смесей величина вязкости может быть подсчитана по уравнению смешения.

Таблица 4
Коэффициент вязкости газов ($\mu \cdot 10^6$ кг·сек/м²)

Температура в град.	Воздух	Азот N ₂	Кислород O ₂	Водяной пар H ₂ O	Углекислый газ CO ₂	Водород H ₂	Окись углерода CO	Метан CH ₄
0	1,75	1,70	1,98	0,83	1,41	0,87	1,69	1,06
100	2,23	2,14	2,51	1,23	1,88	1,07	2,12	1,39
200	2,65	2,53	2,96	1,63	2,30	1,25	2,51	1,69
300	3,03	2,86	3,37	2,04	2,69	1,41	2,85	1,95
400	3,37	3,18	3,75	2,44	3,02	1,55	3,12	2,20
500	3,68	3,47	4,09	2,83	3,38	1,69	3,42	2,44
600	3,98	3,74	4,41	3,20	3,69	1,82	3,71	2,66
700	4,25	3,96	4,71	3,58	3,98	1,94	3,96	2,86
800	4,51	4,22	5,10	3,94	4,25	2,02	4,15	3,01
900	4,76	4,45	5,26	4,29	4,52	2,07	4,42	3,24
1000	5,00	4,66	5,51	4,63	4,77	2,26	4,66	3,42

Коэффициент теплопроводности вычисляется по средней температуре теплоотдающего тела, коэффициент вязкости — по средней температуре тепловоспринимающего тела. Средняя температура потока газа принимается равной среднему арифметическому температур при поступлении на поверхность нагрева и при выходе.

Во многих случаях указанные зависимости не могут быть использованы ввиду недостаточной изученности кинетики процессов в зоне подготовки, а также трудности расчета прогрева куска топлива, так как он может состоять из слоев с различными свойствами, находящимися в стадии сложных химических превращений; кроме того, трудно учесть его размеры и величину поверхности. В этих случаях на основе данных исследований газогенераторов нужно внести коррективы в теоретиче-

ские зависимости или установить зависимости, которые могут быть использованы для расчета теплообмена в зоне подготовки.

Закономерности теплообмена в слое определялись автором [13] на основе изучения работы газогенераторов при различных условиях и наблюдения за изменениями состава газа, зависящими от теплообмена в зоне подготовки и поступления в зону газификации после подсушки и сухой перегонки остатка топлива с различной степенью подготовки (содержание влаги и летучих, температура).

Влияние различных факторов на теплообмен в слое топлива, находящегося в стадии подсушки и сухой перегонки, трудно учесть. Поэтому, характеризуя теплообмен зависимостями, связывающими основные влияющие параметры, следует принимать такие эквивалентные значения этих параметров, или значения коэффициентов, которые позволяют применять теоретические формулы теплоотдачи. Величины коэффициентов и эквивалентные значения параметров могут быть определены по данным опыта.

Значение коэффициента теплообмена в слое α_r определяется [13] следующей формулой:

$$\alpha_r = \frac{A w_c^m}{d^n} \text{ ккал/м}^3 \text{ час град}, \quad (19)$$

где: d — начальный диаметр куска в виде шара или цилиндра: в м;

w — скорость газа, отнесенная к полному сечению газогенератора в м/сек;

A — постоянная.

Значения m и n определяются по опытным данным. При неизменности величины d :

$$\alpha_r = A_1 w_c^m. \quad (20)$$

Количество тепла, передаваемого в зоне подготовки от газов к топливу (Q_m ккал/кг), определяется из теплового баланса зоны подготовки. Оно складывается из количеств тепла, затрачиваемых на испарение и перегрев влаги топлива, на нагрев газов, смолистых веществ и коксового остатка. Греющей средой являются газы, поступающие из зоны газификации.

Данные о значении коэффициента α_r приведены в гл. IV.

При слоевой засыпке поверхность кусков для неслежавшихся материалов равняется:

$$F = \frac{6(1-f)}{d} \text{ м}^2/\text{м}^3, \quad (21)$$

где: d — диаметр частицы (или диаметр шара, равновеликого по объему средней частице вещества, заполняющего слой) в м;

f — коэффициент порозности слоя.

Для слежавшихся материалов некоторая доля поверхности куска выключается из теплообмена и можно принять

$$F = \frac{3,5(1-f)}{d^{0,45}} \text{ м}^2/\text{м}^3. \quad (22)$$

Непосредственные измерения поверхности кусков и порозности слоев древесного угля в газогенераторе, произведенные Н. П. Вознесенским, дают: $f=0,45$ и $F=3,77 \cdot d$. Измеренные значения F на 14% превышают вычисленные из уравнения (21).

ПОДСУШКА ТОПЛИВА

По отношению к процессу сушки различают влагу свободную (удерживаемую макрокапиллярами, $r > 10^{-5}$ см), слабо связанную с топливом и воспринимаемую при соприкосновении с водой, и связанную (гигроскопическую), воспринимаемую вновь путем адсорбции паров воды из газовой среды, насыщенной водяными парами.

При нагревании скорость сушки быстро возрастает до постоянной; затем наступает период постоянной скорости сушки и после достижения гигроскопического состояния наступает стадия падающей скорости сушки.

Древесина и уголь дают усадку в периоде падающей скорости, и их размеры уменьшаются до конца сушки. Торф и кокс дают усадку на протяжении всего процесса сушки. При интенсивной сушке происходит растрескивание топлив с высоким содержанием влаги. При постоянной скорости сушки влага испаряется в основном с поверхности топлива. Вследствие возникновения градиента влажности влага перемещается под влиянием диффузионно-осмотических и капиллярных сил. Свободная влага, большей частью диффундирует в виде жидкости, а адсорбционная — в виде пара. В периоде падающей скорости сушки перемещение жидкости происходит в виде пара при постепенном углублении зоны испарения.

А. В. Лыков [14] показал, что под влиянием температурного градиента капиллярно-и адсорбционно-связанная влага перемещается в направлении потока тепла, т. е. к более холодным его частям (термовлагопроводность или термодиффузия). Это объясняется уменьшением сил поверхностного натяжения в капиллярах со стороны, обращенной к нагреваемой поверхности, и расширением пузырьков воздуха, «защемленного» влагой в капиллярах.

В соответствии с этим, если внутри тела одновременно имеются градиенты влажности и температуры, противоположно направленные, уравнение влагопроводности для одномерного потока влаги имеет следующий вид:

$$i_{\Delta t} + i_{\Delta w} = -K\gamma_0 \delta \Delta t + K\gamma_0 \Delta W, \quad (23)$$

где: $i_{\Delta t}$ — плотность потока влаги, перемещающегося под влиянием термовлагопроводности в $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ час}$;

$i_{\Delta w}$ — то же под влиянием градиента влажности в $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ час}$;

δ — коэффициент термовлагопроводности в $1/\text{град}$;

γ_0 — удельный вес сухого материала в $\text{кг}/\text{м}^3$;

Δt — градиент температуры в $\text{град}/\text{м}$;

K — коэффициент влагопроводности в $\text{м}^2/\text{час}$;

ΔW — градиент влажности в $\text{кг}/\text{м}$.

Первый член выражения учитывает количество влаги, перемещающейся под влиянием градиента температур (термовлагопроводность); второй член — количество мигрирующей влаги под влиянием градиента влажности (влагопроводность).

При интенсивном нагреве кусков топлива, вследствие испарения влаги с поверхности и перемещения ее внутрь материала под действием термовлагопроводности, происходит обезвоживание поверхностных слоев и обогащение влагой внутренних слоев.

Указанное явление может объяснить сильное увлажнение холодных концов поленьев, введенных в топку одним концом. Отчасти этим же явлением объясняется попадание в зону газификации снаружи обугленного, а внутри влажного крупнокускового топлива.

Явление термовлагодиффузии осложняется также взаимным перемещением в капиллярах водяного пара и газов.

Сушку материалов в слое изучали, в основном, советские исследователи, в частности И. М. Федоров [15] и Б. И. Китаев [16].

Кусок топлива до попадания в газогенератор содержит влагу в количестве, соответствующем воздушносыхому состоянию или превышающему его. В газогенераторе этот кусок прогревается, причем непосредственно после поступления в газогенератор начинается сушка топлива, скорость которой нарастает с температурой. Эта сушка становится интенсивной лишь после прогрева поверхности куска до какой-то постоянной температуры, характеризующей период свободного испарения влаги. При этом создается постоянная разность парциальных давлений водяного пара у поверхности материала и в окружающей среде, определяющая постоянную скорость испарения влаги с поверхности материала в период удаления свободной влаги. Поток тепла от газов к поверхности материала в этой стадии расходуется только на испарение влаги. Вследствие испарения влаги с поверхности куска топлива концентрация влаги на поверхности становится меньше, чем во внутренних слоях. Результатом является перемещение влаги к поверхности, которая в период постоянной скорости сушки смачивается влагой, поступающей из внутренних слоев. Температура поверхности материала равна температуре мокрого термометра, и давление паров над поверхностью материала равно парциальному давлению насыщенных водяных паров

при температуре поверхности t_n и не зависит от влажности материала.

Количество влаги W кг, испаряемое в час при постоянной скорости сушки с поверхности F м², может быть определено из равенства:

$$W = \frac{\alpha}{r} (t - t_n) F \text{ кг/час}, \quad (24)$$

где: α — коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности испарения в ккал/м² час град;

r — теплота испарения влаги при температуре поверхности испарения в ккал/кг;

t — средняя температура газов в град.

Данные о значении α приведены выше.

Переход к падающей скорости сушки происходит в тот момент, когда среднее содержание влаги в топливе станет соответствовать критической влажности, а на поверхности — гигроскопической или близкой к ней. Критическая влажность зависит от размера кусков.

Если размер кусков мал и коэффициент внутренней диффузии влаги достаточно велик, то можно приближенно принять, что вся влага удаляется в период постоянной скорости сушки.

Если этот случай не имеет места, наступает период падающей скорости сушки. При этом температура поверхности куска повышается. При температуре поверхности 160—200° начинается сухая перегонка топлива, а при температуре 900—1000° и газификация. По мере нагрева куска зона испарения перемещается внутрь.

Для периода падающей скорости сушки Б. И. Китаев [16] вывел следующую формулу для расчета длительности сушки, учитывающую размер куска, свойства материала и перемещение поверхности испарения:

$$\tau = \frac{Q \left(\frac{R}{\alpha \lambda} + \frac{R}{\alpha} \right)}{t_z - t_{исп}} \text{ час}, \quad (25)$$

где: Q — расход тепла на испарение влаги на 1 м³ вещества в ккал;

t_z — температура греющих газов в град.

λ — коэффициент теплопроводности материала куска в ккал/м час град;

$t_{исп}$ — температура на границе углубляющейся поверхности испарения в град;

α — коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности кусков в ккал/м² час град.

Китаев для определения длительности сушки использовал также формулы противоточных теплообменников. Теплопроводность материала и длительность сушки он определял опытным

путем (богословский уголь, деревянные шары диаметром 25 и 50 мм).

В формуле Китаева фигурируют величины λ и R , трудноопределимые для условий в газогенераторе и переменные по высоте слоя и сечению кусков. В опытах Китаева исследована длительность подсушки кусков топлива малых размеров, что характеризует подготовку топлива лишь в некоторых практических случаях. Данные Китаева достоверны для бурых углей и не соответствуют фактическим данным для дров и торфа. Это объясняется тем, что при сушке топлива в газогенераторах можно подразделить процессы сушки и сухой перегонки только при очень малом размере кусков. Во многих случаях сушке внутренних слоев кусков топлива сопутствуют сухая перегонка и даже газификация наружных слоев, что ограничивает возможность использования результатов имеющихся исследований слоевой сушки.

Расчеты скорости сушки осложняются тем, что в действительности поверхность испарения не равна геометрической и не является постоянной величиной. С повышением влажности поверхность испарения увеличивается.

Значения величины критической влажности, зависящей от размера кусков и свойств теплоносителя, недостаточно установлены, однако для древесины и торфа они являются очень высокими. Так, по Лыкову [14], при исследовании сушки пластины торфа толщиной 25 мм при температуре сушильного агента 67° критическая влажность составляла 45% (считая на рабочее топливо) и для целлюлозы—58%.

Ввиду испарения жидкости в пределах некоторой зоны, величина которой не определена точно, требуется введение коррективов в закономерности, разработанные гидродинамической теорией или теорией подобия для испарения жидкости со свободной поверхности и процесса сушки в период постоянной скорости.

Коэффициент теплопроводности материала непрерывно уменьшается в процессе сушки. Коэффициент теплопередачи, начиная с критической точки, резко уменьшается по мере падения влажности. Это уменьшение связано с углублением зоны испарения и увеличением термического сопротивления сухой части куска. Определение длительности сушки топлива в газогенераторах можно производить лишь в случае сравнительно небольших и не растрескивающихся при сушке кусков топлива, считая, что сушка протекает только в период падающей скорости. При этом может быть использована формула (25) Б. И. Китаева. Он определил значения физических констант, приведенные в табл. 5.

В случае крупных кусков топлива до получения надежных данных специальных исследований следует прибегать к использованию практических зависимостей по сушке или теплообмену в слое. В частности, как уже отмечено выше, автор настоящей книги определял закономерности теплообмена в слое на основе исследований работы газогенераторов.

Физические константы различных топлив

Сухое топливо	Богословский бурый уголь	Торф	Древесина	Кизеловский уголь	Каменный уголь	Антрацит	Швелькокс	Кокс
Удельный вес γ кг/м ³	900	550	600	1500	1240—1280	1350	680	930
Удельная теплоемкость (c_{100}) ккал/град	0,38	0,4	0,45	0,174	0,27—0,34	0,26	0,256	0,201
Коэффициент теплопроводности λ ккал/м час. град.	0,11	0,20	0,095	0,238	0,17—0,23	0,205	0,13	0,62

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В СЛОЕ ТОПЛИВА

В газогенераторах топливо может находиться в виде свободнолежащего, неподвижного, кипящего, взвешенного слоев и углегазового потока. В свободнолежащем слое куски топлива и золы не должны увлекаться газами.

Кипящий слой характеризуется подвижным состоянием, частиц топлива в слое.

Взвешенный слой характеризуется витанием частиц топлива, т. е. поступательно-возвратным перемещением их в пределах определенной части газогенератора. В углегазовом потоке частицы топлива перемещаются с движущимися газами, не выпадая из газового потока.

В случае, если топливо из загрузочного приспособления попадает в свободное газовое пространство, в котором движется генераторный газ, частицы топлива меньше определенного размера увлекаются газами. Скорость газа в слое значительно превышает скорость в свободном сечении, составляющем примерно 30—45% общего. Однако увлечению мелких частиц топлива из слоя топлива в известной мере препятствует защитное действие более крупных. Скорости в сечении слоя неравномерны. Это способствует выносу мелких частиц и переходу слоя топлива в состояние «кипения», при котором частицы интенсивно перемещаются друг относительно друга. Явление кипения наступает, когда в отдельных частях слоя достигается скорость витания w_0' , т. е. критическая скорость газового потока относительно твердой частички, при которой последняя не увлекается потоком, но и не падает. При превышении скорости w_0' частица увлекается газом, при уменьшении — падает.

В состоянии кипения высота слоя увеличивается в полтора-два раза, но частицы, в основном, не уносятся газом, так как скорость газов на выходе из слоя резко снижается. Переход к кипящему, а в дальнейшем и к взвешенному слою характеризуется резким падением сопротивления вследствие увеличения свободного сечения. Наблюдения показывают [122], что при соответственном увеличении скорости дутья первоначально из толщи слоя выбрасываются группы частиц и образуются отдельные воронки, в которых частицы находятся в движении. Высота слоя несколько увеличивается. При дальнейшем возрастании скорости дутья высота слоя продолжает увеличиваться и весь слой начинает кипеть.

В кипящем слое частицы могут находиться на его поверхности или погружаться—в зависимости от давления газового потока, силы ударов движущихся частиц, их веса и размеров.

В кипящем и взвешенном слое облегчается фракционирование частиц по размеру и удельному весу, в частности происходит отделение золы и погружение крупных и выгоревших частиц топлива.

В неподвижном свободнолежащем слое явление кипения и выноса частиц (прогары) может наблюдаться на отдельных небольших участках, где в силу меньшего сопротивления прорывается дутье. Обычно естественному засыпанию этих участков препятствует малоподвижность крупных кусков топлива и спекание шлака и топлива.

Равномерности распределения дутья, при неравномерном сопротивлении участков, способствует увеличение сопротивления приспособления, распределяющего дутье, обычно колосниковой решетки, или же подача дутья в участках, где сопротивление топливного слоя является максимальным.

Уравнение движения частицы в вертикальном направлении, если пренебречь изменением давления газов по высоте, принимает следующий вид:

$$\frac{G}{g} \frac{d^2x}{dt^2} + G = P, \quad (26)$$

где: G — вес частицы в кг;

g — ускорение силы тяжести в м/сек²;

x — вертикальная координата в м;

t — время в час;

P — подъемная сила, приложенная к частице, в кг.

Если d — диаметр частицы топлива в м, γ_k ее удельный вес в кг/м³, а удельный вес газа γ_0 в кг/м³ или γ_2 в кг/м³ и скорость газа w_0 в м/сек. или w в м/сек, то получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\pi d^3}{6} \frac{(\gamma_k - \gamma_2)}{g} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_k - \gamma_2) &= C \frac{\pi d^2 w^2}{4 \cdot 2g} \gamma_2 = \\ &= C \frac{\pi d^2 w_0^2}{4 \cdot 2g} \gamma_0 \frac{T_2}{273p}, \end{aligned} \quad (27)$$

где: T_2 — температура газа в °К;

C — коэффициент лобового сопротивления;

p — давление газа в кг/см².

Принимая $\gamma_k - \gamma_2 \approx \gamma_k$ и учитывая, что время ускоренного движения малой частицы практически невелико, для периода равномерного движения ($\frac{d^2x}{dt^2} = 0$), получаем:

$$\frac{\pi d^3}{6} \gamma_k = C \frac{\pi d^2 w_0^2}{4 \cdot 2g} \gamma_0 \frac{T_2}{273p}, \quad (28)$$

откуда

$$w_0 = K' \sqrt{\frac{d \gamma_k p}{T_2 \gamma_0}}. \quad (29)$$

Величина K' зависит от значения C , на которое влияют форма куска и величина Re газового потока:

$$Re = \frac{w_0 d}{\nu}, \quad (30)$$

где ν — кинематическая вязкость потока в м²/сек.

Значение C может быть для Re от 0 до 1000 определено [17] из равенства:

$$C = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re}}, \quad (31)$$

Если принять, что допустимая с точки зрения уноса интенсивность газификации составляет в условном топливе B кг/м² час и выход газа 5 нм³/кг, то

$$B = \frac{w_0 \cdot 3600}{5} = 720 K' \sqrt{\frac{d \gamma_k p}{T_2 \gamma_0}} = K \sqrt{\frac{d \gamma_k p}{T_2 \gamma_0}}. \quad (32)$$

Здесь T_2 , γ_0 и другие параметры отнесены к свободному пространству вверху генератора.

Для $Re=1$, получаем:

$$C = 24 + 4 = 28; K' = \sqrt{\frac{8 \cdot 9,81 \cdot 273}{6 \cdot 28}} = 11,3; K = 720 \cdot 11,3 = 8100.$$

Соотношение размеров диаметров кусков в свободнолежащем слое не должно превышать 3 : 1.

В некоторых современных конструкциях газогенераторов диаметр шихты увеличивают кверху (см. рис. 9-Г) для уменьшения выноса топлива.

СОПРОТИВЛЕНИЕ СЛОЯ ТОПЛИВА

Сопротивление слоя топлива из неспекающихся кусков может быть определено по формуле [15]:

$$h = \xi \frac{H w^2 \gamma}{2g d_{гид}}, \quad (33)$$

где: ξ — коэффициент, зависящий от величин f , $d_{гид}$, характера движения и других факторов;

f — коэффициент порозности слоя;

H — высота слоя в м;

γ — удельный вес газа в кг/м³;

w — скорость газа, отнесенная к полному сечению оболочки, в м/сек;

$d_{гид}$ — гидравлический диаметр канала.

$$f = \frac{V_{пуст}}{V_{слоя}} = \frac{\gamma_{лат} - \gamma_{масл}}{\gamma_{лат}}, \quad (34)$$

$$d_{\text{гидр}} = 4f \frac{6(1-f)}{d_{\text{экв}}} = \frac{2}{3} d_{\text{экв}} \frac{f}{1-f}, \quad (35)$$

где: $V_{\text{пуст}}$ — объем пустот в слое в м^3 ;
 $V_{\text{слоя}}$ — объем всего слоя в м^3 ;
 $\gamma_{\text{мат}}$ — удельный вес материала в $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $\gamma_{\text{насып}}$ — объемный вес насыпи в $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $d_{\text{экв}}$ — условный размер куска (средневзвешенный) в м ;

$$d_{\text{экв}} = \sum G_n b_n, \quad (36)$$

где: G_n — весовая доля фракции отсева;
 b_n — размер фракции, соответствующий среднему расчетному размеру отверстий сит при просеве в м
 или же $d_{\text{экв}}$ диаметр шара, равновеликого объему частицы, в м .
 Для шаров в ламинарной области ($Re < 7$) при $f = 0,4$

$$\xi = \frac{2056}{Re} \quad (37a)$$

и в промежуточной и турбулентной области ($Re > 7$) при $f = 0,4$:

$$\xi = \frac{1800}{Re} + \frac{46}{Re^{0,08}} \quad (37b)$$

При данном Re величина ξ не зависит от размера зерна в случае, если частицы материала сохраняют при измельчении постоянную форму и степень шероховатости, влияющие на величину порозности. Поэтому для каждого материала может быть своя зависимость ξ от Re . В случае недостаточности экспериментальных данных для естественных материалов пользуются данными, имеющимися для шаров.

Для смесей с постепенным и равномерным переходом от одного размера к другому свободный объем равен среднему для заполнения из отдельных фракций. При резком изменении размера свободный объем меньше, так как мелкие частицы располагаются в промежутках между крупными и коэффициент ξ следует умножить на характерный для данного материала фактор. Значение поправочного фактора колеблется в пределах 0,6—4,0 и чаще всего составляет 1,5.

Н. М. Жаворонков [9] на основе своих исследований сопротивления слоя кусковых материалов дает следующее выражение:

$$h = \frac{7,6 \gamma w_0^{1,8} \nu^{0,2} H}{g d_{\text{гидр}}^{1,2} f^{1,8}} \quad (38)$$

где ν — коэффициент кинематической вязкости газа в $\text{м}^2/\text{сек}$;
 w — скорость газа, отнесенная к полному сечению, в $\text{м}/\text{сек}$.

Для приближенного определения сопротивления можно воспользоваться формулой:

$$h = A H w^n \text{ кг}/\text{м}^2, \quad (39)$$

где A и n — коэффициенты.

Значения величин A и n для воздуха с удельным весом $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ [18]:

Вид наполнителя	A	n
Камни размером 50 — 70 мм:		
сухие	110	1,85
смоченные	160	1,96
Антрацит, размер кусков:		
18,5 — 19,5 мм	90	1,90
8 — 17 »	192	1,75
5 — 8 »	780	1,52
4,5 — 6,5 »	740	1,51

На сопротивление топливного слоя в газогенераторе оказывают влияние спекание топлива и шлакование его золы, а в случае излишне низкой температуры газов, выходящих из газогенератора, также конденсация смолистых веществ и влаги в слое топлива. Эти факторы часто являются основными.

Сопротивление кипящего слоя в холодном и горячем состоянии пропорционально весу засыпки и не зависит от размера кусков и скорости дутья, т. е. от производительности газогенератора. Сопротивление, выраженное в мм вод. ст. (давление дутья), численно равно высоте слоя топлива в спокойном состоянии, также выраженной в мм [122, 123].

Глава II

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГАЗИФИКАЦИИ

Исследования процессов газификации вели как в промышленных, так и в лабораторных установках. Эти исследования позволяют выявить влияние различных факторов на процесс газификации, рациональные режимы процесса и конструкции газогенераторов.

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

В СССР проведены многочисленные исследования газогенераторов всевозможных конструкций при работе на разнообразных видах топлива, кратко рассматриваемые ниже.

Газификация древесины и отходов сельского хозяйства

Дровяные газогенераторы (рис. 2) исследовали М. А. Павлов [19], Н. П. Асеев [20], Б. С. Швецов [21], Д. Б. Гинзбург [22], Б. Ф. Кузьмич, К. В. Малижов, С. Г. Тройб, В. В. Сапаров и др. Работу газогенераторов на щепе изучили Я. А. Ланда, С. П. Михеев, М. А. Поляцкин, И. С. Назаров [23], Н. В. Чалов [24], Ю. Б. Лашеницын, Д. И. Михайлов, Д. П. Тагеев [26] и др.

В табл. 6 приведены данные о газификации в газогенераторах крупных дров с различной влажностью, а также разделанных пней и сучьев. В табл. 7 приведены данные о газификации мелкоизмельченной древесины.

Процесс подготовки дров требует значительного времени. При недостаточной подготовке топлива часть летучих веществ и влаги попадает в зону газификации, вызывая ухудшение качества газа—уменьшение выхода CO и увеличение CO_2 .

При крупных и влажных дровах быстро достигается предел производительности. Дальнейшее повышение производительности приводит к тому, что на колосники поступает не мелкий древесный уголь, а обугленные поленья, содержащие помимо горючей массы влагу, и воздух прорывается в верх шахты сжигает

газ. Присутствие влаги в сердцевине обугленных кусков древесины связано с малой теплопроводностью древесины и древесного угля, и с явлением термолабильности.

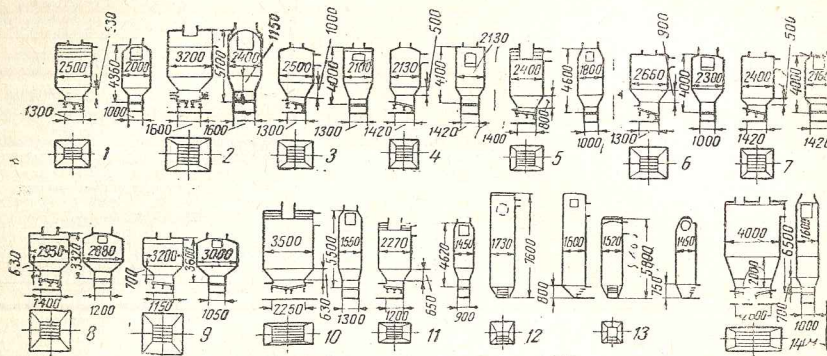


Рис. 2. Схемы дровяных газогенераторов (см. табл. 6).

Увеличение влажности и повышение производительности газогенераторов должны быть компенсированы уменьшением размеров дров.

Автор [4, 13] показал, что компенсация влажности топлива возможна лишь до определенных пределов. Мнение о возможности форсировки газогенератора, сопровождающейся даже улучшением качества газа при очень влажном и крупном топливе, следует считать ошибочным. Действительной причиной улучшения качества газа при значительном повышении производительности, якобы наблюдавшемся в некоторых исследованиях, являлось использование более мелких, а главное—более сухих дров.

Изучение дровяных газогенераторов дает также материал для оценки соотношения размеров газогенераторов. Некоторые исследованные газогенераторы имели горизонтальные решетки малых размеров и заплечики малой высоты (см. рис. 2 п. 8). Поэтому периферийная часть шахты использовалась недостаточно.

При газификации щепы влияние интенсивности газификации и размеров щепы на состав газа значительно меньше, чем в случае дров, что объясняется более благоприятными условиями теплообмена в зоне подготовки. По этой же причине при газификации щепы со значительным содержанием влаги температура генераторного газа ниже, чем в случае дров, а качество получаемого газа выше. При большом содержании в щепе влаги качество газа ухудшается.

Улучшение условий работы газогенератора на топливе с высоким содержанием влаги может быть достигнуто путем уменьшения потерь тепла зоной газификации в окружающую среду, а также путем подогрева дутья.

Показатели работы

Род и размер применяемого топлива (длина— <i>l</i> м, диаметр— <i>d</i> м)	Показатели работы							
	Хвойные породы — 35%, лиственные породы — 65%; <i>l</i> —1,06; <i>d</i> —0,16 (1)*	Хвойные породы 95%, ли- ственные породы 5%; <i>l</i> —1,06; <i>d</i> —0,12 (2)	Хвойные породы: пень 37%, сучья 15%, дрова 48%; <i>d</i> —0,10 (2)	Береза; <i>l</i> —0,53; <i>d</i> —0,14 (3)	Хвойные породы 70%, ли- ственные породы 30%; <i>l</i> —1,06; <i>d</i> —0,12 (4)	Хвойные породы; <i>l</i> —0,71; <i>d</i> —0,10 (5)	Хвойные породы 80%; ли- ственные породы 20%; <i>l</i> —0,71, <i>d</i> —0,10 (6)	Сосна; <i>l</i> —1,06, <i>d</i> —0,12 (6)
Влажность дров (в %)	25,8	25,5	23,6	28,0	18,7	20,0	26	34
Производительность в кг/сутки	6900	19500	20200	8850	10200	9000	7200	13000
Состав газа в %:								
CO ₂	7,3	5,6	6,3	7,6	8,5	5,5	6,2	8,9
C ₂ H ₄	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
O ₂	0,2	0,1	0,2	0,4	0,1	—	—	0,1
CO	27,2	28,8	29,0	27,5	26,6	30,0	29,3	23,3
CH ₄	2,3	3,3	2,1	1,9	4,1	1,2	3,1	3,5
H ₂	10,7	11,7	9,3	11,4	12,0	9,0	8,0	10,0
N ₂	51,9	50,1	52,7	50,8	48,3	53,9	53,0	53,8
Температура газа в град.	300	250	270	260	300	230	240	230
Нижняя теплотворная способность газа в ккал/ /нм ³	1350	1509	1351	1342	1518	1296	1411	1317
Размеры газогенера- тора:								
высота от колосников до вершины свода в м	4,36	5,1	5,1	4,0	4,1	4,6	4,1	4,1
высота заплечиков в м	0,53	1,15	1,15	1,0	0,6	0,8	9,0	0,9
поперечное сечение в м	2,5×2	3,2× ×2,4	3,2× ×2,4	2,5× ×2,1	2,13× ×2,13	2,4× ×1,8	2,66× ×2,3	2,66× ×2,3
Полный объем газо- генератора в м ³	17	31	31	18,5	16,6	13,5	22,0	22,0
Интенсивность газификации, отнесенная к поперечному сечению, в кг/м ² час	57	106	109	69	94	87	49	89
Интенсивность газификации, отнесенная к колосниковой решетке, в кг/м ² час	221	318	329	217	210	268	230	417
Высота слоя топлива в м	3,1	3,8	3,8	2,7	2,8	3,3	2,8	2,8
Высота зоны подготов- ки топлива в м	2,4	3,1	3,1	2,0	2,1	2,6	2,1	2,1
Время пребывания топлива в зоне подго- товки в часах (условное)	13,1	9,2	6,7	9,3	6,5	8,7	13,4	8,4

* Номер в заголовке (в скобках) соответствует номерам на рис. 2.

дровяных газогенераторов

Таблица 6

Хвойные породы 70%, ли- ственные породы 30%; <i>l</i> —1,06; <i>d</i> —0,12 (7)	Лиственные породы; <i>l</i> —0,71; <i>d</i> —0,10 (8)	Пень 39%, сучья 33%, рез- ка 28% (9)	Хвойные породы 70%, лиственные породы 30%; <i>l</i> —0,71, <i>d</i> —0,12 (10)	Хвойные породы 50%, лиственные породы 50%; <i>l</i> —0,71, <i>d</i> —0,12 (10)	Смешанные породы; <i>l</i> —1,0; <i>d</i> —0,12 (11)	Смешанные породы; <i>l</i> —1,0; <i>d</i> —0,12 (12)	Сосна 75%; осина 25%	Крупные дрова; <i>l</i> —1,4; <i>d</i> — 0,16 (13)	Крупные подсушенные дро- ва; <i>l</i> —1,4; <i>d</i> —1,16	Мелкоколотые дрова <i>l</i> — 1,06; <i>d</i> —0,10 (14)	Крупные дрова; <i>l</i> —1,06 <i>d</i> — 0,14	Крупные подсушенные дро- ва; <i>l</i> —1,06 <i>d</i> —0,14
30	26	33	38	44,3	42,2	45	18,8	27,7	13,7	21,05	21,05	10,05
14300	8800	10000	18700	27500	27800	6100	8856	11000	8200	8100	8100	7100
9,5	10,1	10,8	8,6	12,2	9,1	10,3	5,3	8,6	8,3	6,4	9,3	5,0
0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	—	—	—	—	—	—
1,1	0,4	0,3	—	0,3	0,3	—	—	—	—	—	—	—
24,6	23,4	21,3	26,5	19,8	24,1	21,9	31,5	24,8	26,3	30,1	23,9	30,5
4,3	4,2	2,6	2,4	3,0	2,0	2,1	2,4	—	—	—	—	—
10,5	11,1	11,6	10,3	12,9	11,0	11,4	11,6	—	—	—	—	—
50,6	50,4	53,0	51,8	51,4	53,1	53,9	49,2	—	—	—	—	—
300	300	210— —430	140	200	200	240	316	—	—	—	—	—
1437	1408	1220	1325	1243	1236	1192	1470	—	—	—	—	—
4,0	3,32	3,6	6,5	6,5	5,5	4,62	5,5	7,6	5,6	5,8	5,8	5,8
0,5	0,63	0,7	2,0	2,0	0,65	0,65	—	—	—	—	—	—
2,4× ×2,16	2,93× ×2,88	3,2× ×3,0	4,0× ×1,6	4,0× ×1,6	3,5× ×1,55	2,27× ×1,45	1,7× ×1,7	1,73× ×1,60	1,69× ×1,64	1,52× ×1,45	1,52× ×1,45	1,52× ×1,27
18,8	22,0	28,0	36,0	36,0	25,1	14	13	20,0	13,5	11,1	9,8	9,8
115	44	43	122	180	213	77	128	164	124	153	175	153
2,5	218	341	300	442	395	231	—	—	—	—	—	—
2,7	2,0	2,3	4,7	4,7	4,7	3,8	4,0	5,2	3,2	3,8	3,8	3,8
2,0	1,3	1,6	4,0	4,0	4,0	2,6	3,0	4,2	2,2	2,8	2,8	2,8
5,7	9,4	2,9	12,3	9,3	7,5	14,2	6,7	8,1	4,8	5,4	4,9	4,9

Таблица 7

Показатели работы газогенераторов на древесной щепе

	40,5	25	50 ²⁾	30	38,3
Влажность древесины в %	—	—	—	—	80×80×12
Размер кусков в мм	С неподвижной решеткой				
Тип газогенератора	С вращающейся решеткой				
Производительность газогенератора в м ³ /сутки	72	38	51	158	350
То же в т/сутки	18	7,6	15,3	34	73,6
Состав газа в %:					
CO ₂	5,6	5,5	9,5	6,8	6,9
C ₂ H ₄	0,6	—	—	0,4	0,4
O ₂	—	0,8	—	0,5	0,4
CO	29,7	31,7	23,8	28,1	29,3
CH ₄	2,5	3,8	5,1 ⁴⁾	2,6	3,2
H ₂	6,6	9,1	6,7	15,4	15,2
N ₂	55,0	49,1	54,9	46,2	44,6
Температура газа в град	70—80	—	80—	123	78
Низшая теплотворная способность газа в ккал/нм ³	1363	1516	1328	1523	1606
Температура паровоздушной смеси в град	—	—	—	53	48
Количество вводимого пара в кг/кг	—	—	—	0,101	0,061
Количество вводимого воздуха в нм ³ /кг	—	—	—	0,765	0,61
Диаметр газогенератора в м	2 ¹⁾	1,5 ¹⁾	1,5 ¹⁾	3	3
Высота слоя топлива в м	2,9	1,8	2,0	3,5	5,5
Высота зоны подготовки в м	2,4	1,3	1,5	3,0	5,0
Объем зоны подготовки в м ³	7,5	2,3	2,6	21,2	20,9
Интенсивность газификации в кг/м ² час	239	180	360 ²⁾	200	435
Время пребывания топлива в зоне подготовки в часах (условное)	2,47	1,45	1,17	3,22	1,84

¹ Максимальный.

² Дутье подогрето до 150—160°.

³ Щепы особенно сильно измельчена.

⁴ Содержание CH₄ преувеличено. (Д. Г.).

Для получения генераторного газа могут быть использованы отходы лесосечного, лесопильного, сельского и разных других хозяйств, как-то: древесный отпад, пни, древесные стружки и опилки, подсолнечная лузга, солома, коробочки и стебли хлопка, костра льняная, скорлупа орехов, рисовая мякина, кукурузные початки и т. д. В расчете на сухое топливо низшая теплотворная способность этих материалов составляет 3000—4500 ккал/кг, содержание летучих 60—80%, связанного углерода 10—25%.

Сучья и пни измельчают и газифицируют [22] в таких же газогенераторах как и щепу, в том числе и в силовых. Другие отходы газифицируют в газогенераторах с разложением смол.

В газогенераторах для рисовой мякины с нисходящим движением газов дутье и топливо распределяются одним конусом, рас-

положенным в газогенераторе. Привод вращающейся решетки, которой снабжен газогенератор, вызывает сотрясение распределительного конуса, что способствует равномерности движения мякины. Содержащийся в ней кремнезем в количестве до 14%, является важным компонентом: он способствует сохранению формы мякины и обуславливает высокую температуру плавления золы.

Подсолнечная лузга успешно газифицируется [25] даже в газогенераторах с неподвижной решеткой. При газификации подсолнечной лузги с W^p 15% и A^c 4% получают силовой газ состава: CO₂ — 10,0%, CO—19,2%, H₂—7,0%, CH₄ — 3,8%, N₂ — 60,0%, Q_н — 1088 ккал/нм³. Выход газа 2,2 нм³/кг. Шлакования не наблюдается.

При газификации древесной стружки и опилок без примеси кускового топлива [26] наблюдается их спекание вследствие выделения смол, что препятствует необходимому распределению дутья и равномерности движения материала и ведет к образованию сводов, зависаний, обвалов и т. д.

Коробочки хлопка и кукурузные початки представляют собой рыхлую массу, однако коксовый остаток их спекается. При добавке кусков дерева в количестве 20—50 объемных процентов достигается достаточная проницаемость слоя для тумана смол. Для улучшения условий газификации в газогенераторах устраивается вращающееся приспособление, ворошащее топливо. Кроме того, для предупреждения уплотнения слоя над самой решеткой предусматривается специальный клапан, который открывается при увеличении сопротивления решетки и впускает большое количество воздуха, разрушающего плотный слой топлива и восстанавливающего нормальные условия.

Солома газифицируется в виде сечки прессованной и непрессованной (объемный вес 50—70 кг/м³). Ввиду рыхлости слоя особое значение имеет равномерное распределение дутья.

Газификация торфа

А. И. Мазурин, Д. Б. Гинзбург [22, 27, 28], К. В. Маликов, М. А. Кузьмин, С. П. Михеев, А. С. Синельников [29], Н. Н. Богданов [30], С. С. Стрелков, А. А. Виноградов, Б. С. Махнач, Р. С. Палта, Е. И. Калашников, С. Г. Тройб [31], Р. А. Шкаленко, А. А. Криницин, В. А. Захариков, В. Г. Гусев, В. И. Сапаров, М. В. Канторов [32], И. Д. Букушпун [33], М. Д. Тамарин [126] и др. исследовали газификацию торфа.

В табл. 8 и 9 приведены данные о газификации в торфяном газогенераторе торфа с различным содержанием влаги и мелочи.

Показатели газификации торфа зависят от его прочности, от содержания влаги и мелочи и свойств золы. Вследствие большого размера кусков и высокого содержания влаги, время пребы-

Тип газогенератора Наименование показателя	Б есколосниковый с естественной тягой		С горизонтальной решеткой и естественной тягой	С крышеобразной решеткой и дутьем		
Топливо — машиноформованный торф:						
влажность в %	21,1	29	42,5	44	34	27,1
зольность в %	2,5	2,3	1,7	2,2	4,8	3,5
Производительность в кг/сутки	4500	5200	5750	23000	21000	40000
Температура паровоздушного дутья в град.	—	—	—	36	43	55
Расход пара на дутье в кг/кг	—	—	—	0,05	0,069	0,15
Состав газа в %:						
CO ₂	5,6	6,6	10,1	11,0	8,1	7,3
C ₂ H ₄	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	0,4
O ₂	—	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
CO	29,3	27,3	21,6	19,7	25,0	28,0
CH ₄	1,5	1,7	0,9	2,5	2,2	2,8
H ₂	9,9	10,1	12,0	13,0	14,2	17,4
N ₂	53,4	53,5	54,8	53,2	49,9	43,8
Температура газа в град.	300—320	200—230	140—160	180—	180—	90
Нижняя теплотворная способность газа в ккал/м ³	1310	1298	1069	1184	1350	1591
Диаметр или размеры поперечного сечения в м.	2×1,5	2×1,5	12×1,5	2,5×2,2		3
Интенсивность газификации в кг/м ² час	63	72	80	174	159	237
Площадь колосниковой решетки в м ²	—	—	1,44	4,8	4,8	
Высота слоя топлива в м.	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	7
Высота зоны подготовки топлива (экв.) в м.	2	2	2	3	3	5,6
Время пребывания топлива в зоне подготовки в час.	10,1	9,7	10,9	7,8	7,2	7,2

С вращающейся решеткой, швельшахтой и дутьем

40	50,9	50	35	46	31,9	27,6	39,2	26,3
3	6,2	6,3	3	3,5	6,5	6,9	4,8	3,5
50000	42700	55000	50000	72500	100000	61000	76500	59000
50	45	46	47	42	49	49	42	51
0,10	0,061	0,077	0,09	0,06	0,088	0,089	0,059	
8,5	11,5	13,0	7,3	9,6	10,0	9,2	9,9	8,7
0,2	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,2
0,2	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
25,0	19,4	16,0	25,0	22,7	24,0	25,7	23,6	25,5
2,0	1,8	3,0	3,5	3,1	1,8	2,2	2,9	2,7
13,0	13,6	13,0	14,3	12,5	17,3	16,0	14,4	14,3
51,4	52,7	54,2	49,4	51,6	46,3	46,3	48,4	48,3
80—85	140	90—120	115	105	170	157	80	238
1288	1160	1130	1464	1313	1380	1433	1416	1400
3	3	3	3	3	3	3	3	2,5
295	252	325	295	428	588	360	452	500
7	4	4	6,5	6,5	4	4	6,5	2,5
5,6	3,5	3,5	5	5	3,5	3,5	4,5	2,0
7,1	7,1	5,4	6,1	5,1	2,2	3,4	3,8	—

Таблица 9

Показатели газификации торфа с содержанием мелочи 11, 21 и 30% в газогенераторе со швельшахтой

Данные	Условия опыта		
	Мелочи 11% (обычные условия)	Мелочи 30% (высокое содержание мелочи)	Мелочи 21% (повышенное содержание мелочи)
Состав торфа в %:			
W _p	39,2	37,1	38,3
A _p	4,8	5,2	4, .
Низшая теплотворная способность в ккал/кг	2684	—	2879
Средняя производительность газогенератора т/сутки	76,5	50 и ниже	68
в кг/м ² час	452	295	402
Низшая теплотворная способность сухого газа в ккал/нм ³	1416	1392	1423
Содержание горючего в провале в %	9,2	20,4	10,4
Выход фусов (сухих) от веса рабочего топлива в %	0,41	0,91	0,51
Выход сухих газов в нм ³ /кг	1,40	—	1,49
Выход влажных газов в нм ³ /кг	1,94	—	1,97

вания торфа в газогенераторе должно быть значительным. Сравнительно с дровами подготовка торфа протекает быстрее, что объясняется меньшим размером кусков. При влажности торфа, лежащей в известных пределах, можно получать газ хорошего качества и компенсировать повышение содержания влаги увеличением высоты топливного слоя. Предельно допустимая влажность торфа, не вызывающая ухудшения качества газа, составляет примерно 35—40%, считая на беззольное топливо.

Автор показал, что при большем содержании влаги теплоты поднимающихся газов нехватает на подсушку и нагрев топливного слоя конденсируются смола и влага. Это ухудшает работу газогенератора или вызывает приглушение его. При попытках форсировки возникают прогары и перекосы зон, увеличиваются потери в остатках и ухудшается качество газа.

Поэтому при большой влажности топлива, чтобы избежать приглушения газогенератора, приходится снижать слой.

Улучшение работы газогенератора на торфе с высоким содержанием влаги может быть достигнуто путем подогрева дутья, уменьшения количества вводимого дутьем водяного пара и добавки более сухого топлива [22, 126].

Одним из основных факторов, влияющих на показатели работы торфяных газогенераторов, является содержание мелочи в торфе. Сепарация топлива по размеру кусков при значительном содержании мелочи вызывает образование прогаров в газогенераторах. Опыты [28] показали, что в случае равномерного распределения мелочи в топливе и хорошего обслуживания газогенератора при содержании мелочи до 20%, снижение показателей может быть невелико. Однако в обычных условиях газификации допустимое содержание мелочи не больше 12—15%. Превышение этого предела вызывает прогары и чрезмерно увеличивает вынос пыли и мелочи.

Применение в газогенераторах верхнеслойного торфа с малой степенью разложения, резко выраженной волокнистой структурой и низкой прочностью значительно ухудшает процесс. Наблюдаются перекосы зон, слоистость, прогары, образование шлаковых козырьков на стенах шахты, ухудшение качества газа, большой унос пыли и уменьшение выхода смолы. Такие же результаты дает применение торфа «пересушки». Давление дутья при таком торфе приходится резко повышать, а производительность газогенератора падает. Состав газа при влажности торфа 36% и высоте слоя 3—4 м: CO₂—10—12%; CO—18—21%; H₂—12—15%; CH₄—1,5—3%; N₂—52—53%; температура газа до 300—350°.

При газификации гидроторфа, непрочного и крошащегося в газогенераторе, получают худшие результаты, чем при газификации машиноформованного торфа [30].

Газификация торфяной мелочи и пыли успешно ведется в газогенераторах специальной конструкции для пылевидного и мелкозернистого топлива (см. главу III).

Газификация бурого угля

В СССР изучена и освоена газификация челябинских, богословских, черновских и подмосковных, сулюктинских и карагандинских (Федоровский пласт) углей (см. табл. 10). Соответствующие исследования вели В. Ф. Копытов [34], Б. И. Китаев [16], Н. В. Шишаков [35, 36], В. С. Альтшулер [37], М. П. Родионов, В. И. Костин, С. И. Привалов, С. Г. Тройб, К. Т. Белюфастов [38], А. Ф. Жуков, Л. З. Новиков [39], Д. Б. Гинзбург [40], С. И. Березовский, М. С. Рейфер, А. В. Кавадеров [41], К. В. Маликов [42], П. Ф. Моисеев, Ф. Ф. Горных, Л. Г. Крюков [43], А. У. Устинов, А. С. Брагинский [44], В. И. Еремин, В. И. Костин [45], Р. С. Палта [127] и др.

Показатели работы газогенераторов на бурых углях

Таблица 10

Наименование показателя	Единица измерения	У г л и н						Богословский		
		Подмосковный	Челябинский	Федоровский (карагандинский)	Смесь черновских (75%) и черемховских (25%)	Сулюктинский	Богословский			
Топливо:										
Wp	%	32	29,4	19,2	13	19,1	28	19,0	24,9	30
Ap	%	18	23,8	16,2	19,5	10,1	8,7	10,3	14,0	15,4
Q _н	ккал/кг	2953	2790	4166	—	—	—	4883	3680	3310
размер кусков	мм	грохоченый	грохоченый	грохоченый	грохоченый	грохоченый	грохоченый	грохоченый	< 10 мм 28,6%	25—75
Тип газогенератора	—	полумеханиз.	кирпичный	полумеханиз.	круглый с решеткой-чепцом	полумеханизированный	полумеханизированный	полумеханизированный	полумеханизированный	полумеханизированный
Размер газогенератора (диаметр)	м	2—3	1,8 × 1,8	2—3	2,2	2—3	3	2,6	2,6	—
Высота слоя топлива	м	1,2	1,1	1,0	0,8	4,7	1,4	1,1	1,4	1,0
Интенсивность газификации	кг/м ² час	250*	80	450*	90	146	210	95**	232***	150—200
Газ—состав: CO ₂	%	5,6	9,0	4,5	6,0	5,6	6,0	5,0	5,9	7,4
H ₂ S	%	0,9	0,9	0,2	0,2	—	—	—	—	—
C ₂ H ₄	%	0,4	0,4	0,2	0,2	0,4	0,3	0,1	0,3	0,3
O ₂	%	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	—	0,2

CO	%	26,0	19,3	28,0	24,0	27,0	25,0	29,0	27,3	24,0
CH ₄	%	2,2	2,8	2,0	2,5	2,6	2,8	0,8	2,0	2,0
H ₂	%	13,9	10,7	15,0	12,0	16,7	12,0	14,6	14,3	14,0
N ₂	%	50,8	56,6	49,9	54,9	47,5	53,7	50,3	50,2	52,0
температура	град.	125	225	300	350	360	325	240	275	200
Q _н	ккал/м ³	1438	1205	1441	1288	1519	1347	1333	1420***	1300
выход сухого	м ³ /кг	1,38	1,4	2,14	—	2,72	—	2,6	—	1,9
выход влажного	м ³ /кг	1,87	2,0	2,52	—	2,72	—	2,91	—	2,37
Дутье:										
температура	град.	53	47	55	—	50	48	51	46	50
расход воздуха	м ³ /кг	0,88	—	1,34	—	1,27	—	1,7	—	1,3
расход пара	кг/кг	0,10	—	0,20	—	0,2	—	0,21	—	0,15
Выход смолы	%	4	—	3	—	6,6	5	—	—	0,78
пыли	%	1	—	1,5	—	—	4	—	—	—
Горючего в остатках	%	20	28	15	25	27	20	25	30	20

* Нормативные показатели.

** Показатель ограничивается дутьевыми средствами.

*** При обычной эксплуатации меньше.

Показатели газификации челябинских углей в настоящее время очень высоки при газификации в газогенераторах с вращающейся решеткой. Существенное улучшение показателей газификации челябинского угля наблюдалось при снижении высоты слоя топлива до 1,2—1,5 м. Б. И. Китаев показал, что излишнее повышение слоя приводит к образованию «холостой», т. е. нерабочей части слоя, только увеличивающей сопротивление и затрудняющей обслуживание. Перед газификацией требуется сортировка бурых углей.

До последних лет не удавалось получить высокие показатели газификации быстро теряющих прочность богословских углей. В. С. Альтшулер получил удовлетворительные показатели [37] в реконструированных газогенераторах при относительно высоком слое топлива (~2 м). Ф. Ф. Горных и Л. Г. Крюков [43] (см. табл. 10) показали, что при газификации углей с участков I—2 и III—2 наблюдается сильное шлакование, тогда как при газификации в низком слое углей с участка II—3 получают удовлетворительные показатели, а при использовании углей с участка II—4 с меньшим содержанием более тугоплавкой золы—хорошие. Смеси богословских углей газифицируются хуже, чем отдельные сорта раздельно. При быстром нагревании богословский уголь менее подвержен разрушению, чем при медленном.

Черновские угли, вследствие склонности к разрушению, газифицируют в смеси со спекающимися углями.

Подмосковные угли удовлетворительно газифицируют в газогенераторах с вращающейся решеткой при высоте слоя 1,2—1,5 м. В газогенераторах со швельшахтой подмосковный уголь газифицируют при незаполненной швельшахте.

Свойства боровичского угля близки к свойствам подмосковного. Опыты газификации боровичских углей [44] со сравнительно невысокой интенсивностью (140—180 кг/м² час) показали, что его газификация вполне возможна, но вследствие легкоплавкости золы сопровождается шлакованием; среднюю калорийность можно принять равной 1200—1230 ккал/нм³.

Газификация карагандинского бурого угля [45] освоена в промышленном масштабе. Показатели близки к показателям газификации челябинского угля, а прочность карагандинского угля и его кокса выше. Одним из существенных недостатков является малая величина интервала между температурами начала деформации и плавления золы. Требуется особо тщательный контроль за температурой паровоздушного дутья.

Хорошо газифицируются сулюктинские угли, не выделяющие смол, а также райчихинские.

При газификации бурых углей в газогенераторах с неподвижной решеткой получают низкие показатели.

Очень влажные бурые угли ($W^p > 50\%$) газифицируют в слое малой высоты (<1—1,3 м) с низкими показателями по качеству газа и производительности, что связано с поступлением в зону

газификации больших количеств влаги топлива. Высокие показатели газификации могут быть получены при предельном содержании влаги 45—50% (считая на беззольное топливо).

Распадение угля при нагревании или большое содержание в нем мелочи и золы, а также ее легкоплавкость ухудшают показатели.

В высоком слое можно газифицировать лишь буроугольные брикеты, что и осуществляется в газогенераторах с двойным оборотом газа. Буроугольную мелочь и пыль газифицируют в специальных конструкциях газогенераторов (см. главу III).

Газификация каменного угля

В СССР, в основном, газифицируют каменные угли марок Д, Г и СС. В отдельных случаях газифицируют также тощие угли, если они не распадаются при нагревании.

Газификацию каменных углей изучали многие исследователи: А. Брискина, А. С. Милюченко, В. И. Кармазин [46], С. А. Малкин [47], А. Г. Членов [48], Д. Б. Гинзбург [22, 49], К. И. Шарашкин, Н. В. Шишаков [50], С. Г. Тройб, К. В. Маликов, Н. Н. Доброхотов [51, 52], М. А. Глишков, К. П. Иванцов, Н. В. Лебедев, А. М. Цветков, М. П. Родионов, В. И. Костин, Л. Тавровский [53], Г. Н. Полубояринов, А. В. Кавадеров [41], В. А. Захариков, М. Г. Гусев, С. А. Пляшкевич, Н. Н. Курочкин, В. И. Еремин [54] и др.

Некоторые данные исследований приведены в табл. 11.

Вопреки распространенному мнению, газификация каменных углей в повышенном слое, затрудняя обслуживание, не улучшает качества газа. Обычно при высоте слоя 0,6—1,0 м получают оптимальные показатели, снижающиеся в случае неблагоприятных свойств золы, высокого содержания пыли и большой добавки пара.

При газификации каменного угля в газогенераторах с неподвижной решеткой получают невысокие показатели по производительности и выжигу остатков. Лучшие показатели дают газогенераторы с вращающейся решеткой.

Наилучшие показатели получают при газификации слабоспекающихся углей в механических газогенераторах.

Показатели газификации значительно ухудшаются при газификации угля плохо сортированного, непрочного, с легкоплавкой золой и сильно спекающегося. Сильно спекающиеся угли смешивают с неспекающимися.

Размер кусков угля не должен быть слишком большим, во избежание развития в слое излишне высоких температур. Нижний предел размера кусков топлива ограничивается, как и в других случаях, выносом топлива из слоя.

Донецкие длиннопламенные угли, механически непрочные, успешно газифицируют в полумеханизированных газогенераторах.

Показатели работы газогенераторов

на каменных углях

Таблица II

Наименование показателя	Единица измерения	У Г Л И							
		Донецкий		Донецкий газовый	Ленин-ский*	Про-копьев-ский*	Арали-чевский		
		газо-вый*	длинно-пламен-ный						
Топливо:									
Wp	%	5,5	12,5	4,5	4,0	9,0	5,5	6,0	
Ap	%	12,4	11,8	14,1	10,4	6,9	9,9	10,7	
Q _н	ккал/кг	6307	5435			6246	6890		
Размер кусков	—	сортиро-ванный		несорти-рованный	сортиро-ванный				
Тип газогене-ратора	—	подмеханизи-рованный (I) или механизиро-ванный (II)		I	круг-лый с щепцом	кир-пич-ный	(I)	(I) или (II)	(I)
Размер газогене-ратора	м	—		2,1	2,0	—	—	—	—
Высота слоя топлива	м	0,6—1		0,81	0,9	1,0	0,6—1	0,6—1	1,1—1,2
Интенсивность газификации	кг/м ² час	200 для I 300 для II		94	134	40	200	200	50**
Газ:									
состав: CO ₂	%	6,0	7,0	14,8	7,2	5,5	4,0	4,4	5,1
H ₂ S	%	0,4	0,7	—	—	—	0,1	—	—
C ₂ H ₄	%	0,3	0,3	0,8	0,7	0,4	0,3	0,1	0,2
O ₂	%	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,6
CO	%	24,0	24,0	11,2	20,3	27,3	27,0	26,0	26,0
CH ₄	%	2,5	2,5	3,8	2,6	2,3	2,7	2,7	3,2
H ₂	%	13,9	15,3	12,2	10,8	10,5	13,0	10,7	11,0
N ₂	%	52,7	50,0	56,9	58,1	53,8	52,7	55,9	53,9
Температура	град.	600	500	955	970	770	500	650	400
Q _н	ккал/м ³	1357	1413	1090	1218	1346	1428	1305	1390
выход сухого	м ³ /кг	3,38	2,74	—	—	—	3,24	4,07	3,58
выход влаж-ного	м ³ /кг	3,64	3,07	—	—	—	3,52	4,27	3,87
Дутье:									
температура	град.	55	55	—	—	—	51	49	48
расход воз-духа	м ³ /кг	2,24	1,72	—	—	—	2,14	2,85	2,48
расход пара	кг/кг	0,34	0,27	—	—	—	0,25	0,30	—
Выход смол от веса топлива	%	4	4	—	—	—	5	1	—
Горючего в шлаке	%	10	12	—	—	31	10	10	—

* Нормативные показатели.

** Показатели могут быть значительно улучшены.

Анжер-ский	Кисе-левский	Волков-ский	Обман-ковский	Ткви-бульский	Смесь кизелов-ского (72%) и челябинского (28%)	Була-наш-ский	Черно-горский	Караган-динский (пласт Верхняя Маргана)
1,5	3,3	—	9,2	14,9	8,6	10	12	6,5
12,5	13,7	11,0	28,2	22,6	18,4	18,1	10,7	17,8
—	—	—	—	—	—	5900	5700	—
(I)	(I)	(I)	(I)	—	(I)	(I)	(I)	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,1—1,2	0,6—0,8	1—1,2	1—1,2	—	1,2	0,6	0,7	0,6—0,8
67**	175	200	175	90**	187	150	150	60
2,97	3,2	6,1	6,7	9,3	6,3	5,0	5,0	7,2
0,20	—	—	—	—	0,9	0,3	0,3	—
0,33	0,3	0,3	0,4	0,6	0,4	0,2	0,2	—
25,28	27,7	23,6	25,2	18,7	0,3	—	—	0,4
4,96	1,8	2,6	2,5	2,3	21,6	26,0	26,0	24,8
9,38	11,6	12,6	12,4	13,2	3,5	2,7	2,7	2,1
56,88	55,4	54,8	53,2	55,6	14,1	13,0	13,0	8,7
455	500	605	500	500	52,9	52,8	52,8	56,8
1459	1300	1265	1320	1183	480	600	700	700
3,69	2,91	—	—	—	1393	1395	1395	1160
4,03	3,02	—	—	—	2,88	2,8	3,0	—
46	39	51	49	—	3,13	3,2	3,4	—
2,48	—	—	—	—	—	52	52	—
—	—	—	—	—	1,92	2,0	2,0	—
6,9	0,26	—	—	6	5,0	3,6	—	—
37	21	13	16	14	15	15	—	—

Показатели работы газогенераторов на антраците и коксике

Наименование показателя	Единица измерения	У г л и	
		Антрацит АМ	Коксик
Топливо			
W ^p	%	5,0	16,0
A ^p	%	10,4	16,3
Q _n ^p	ккал/кг	6720	5224
Размер кусков	мм	13—25	5—25
Тип газогенератора	—	полумеханиз.	
Размер газогенератора	м	2—3	2—3
Высота слоя топлива	м	0,8—1	0,8—1
Интенсивность газификации	кг/м ² час	200	200
Газ, состав:			
CO ₂	%	5,5	4,0
H ₂ S	%	0,2	0,2
C ₂ H ₄	%	—	—
O ₂	%	0,2	0,2
CO	%	27,5	29,0
CH ₄	%	0,5	0,6
H ₂	%	13,5	11,0
N ₂	%	52,6	55,0
температура	град.	550	475
Q _n ^c	ккал/нм ³	1230	1223
выход сухого	нм ³ /кг	4,16	3,19
выход влажного	нм ³ /кг	4,40	3,56
Дутье:			
температура	град.	58	56
расход воздуха	нм ³ /кг	2,77	2,22
» пара	кг/кг	0,50	0,35
Выход пыли	%	3,8	3,0
Горючего в шлаке	%	15	12

В высоком слое они спекаются. При автоматической шуровке ломом они крошатся, и с газом выносятся большое количество пыли. Примесь спекающихся углей уменьшает вынос пыли. Лучший эффект дает газификация более прочных газовых углей.

Из кузнецких углей успешно газифицируют ленинский, непрочный и содержащий много летучих. Используют также кемеровские угли волковского пласта (ПС_{эн}), тощие араличевские, слабоспекающиеся прокопьевские и киселевские. Из других сибирских углей применяют термически прочные черногорские (минусинские) длиннопламенные угли, черемховские угли, примешиваемые к распадающимся черновским, карагандинские (пласт Верхняя Марианна, ПЖ_{эн}) и др.

Киселевские спекающиеся угли газифицируют в смеси с 30—50% челябинского или 50% ленинского угля. Опыты свидетельствуют о пригодности для газификации будинашского угля. Зоркутские угли газифицируют в смеси с 40—50% донецкого антрацита (АС). Из кавказских углей успешно используют тквибульские газовые угли с тугоплавкой золой, термически нестойкие.

Показатели газификации углей Хумаринского месторождения Хумаринского пласта лишь немногим ниже, чем донецких — марок Д и Г. Угли Маринского пласта сильно спекаются, что затрудняет их использование [47].

Газификация антрацита и кокса

В СССР газификация антрацита и кокса, как и торфа, получила распространение лишь после Великой Октябрьской социалистической революции. В основном газифицируют донецкие антрациты марок АМ, АК и АС.

Опыты показали возможность использования полтавских и брединских антрацитов. Распространена газификация кокса, коксика и коксовой мелочи.

А. Г. Членов [55], Н. В. Шишаков [56], Д. Б. Гинзбург [57], Л. Г. Вайнруб, И. И. Палеев [58], И. Г. Чибуряев [60] и др. изучали газогенераторы, работающие на антраците и коксе.

Показатели, получаемые при благоприятных условиях работы, названные нормативными, приведены в табл. 12.

Характерным для газификации антрацита и кокса является работа с низким слоем топлива (малое содержание влаги, отсутствие смол), пониженная теплотворная способность газа (малое содержание летучих), возможность получения газа с минимальным содержанием CO₂ (~0,5%) при работе с малой добавкой пара, высокий химический к. п. д. (~76%). Содержание H₂ в газе, а также содержание CO₂ и H₂O, в основном, зависит от добавки пара в дутье.

На некоторых газогенераторах интенсивность газификации грохоченого антрацита АМ увеличена до 300 кг/м² час и более

Это вызвало необходимость в повышении давления дутья и гидравлических затворов и температуры паровоздушного дутья. Опыт эксплуатации показал, что при этом требуется невысокий слой шлака над чешуеобразной решеткой (см. рис. 9Б), однако головка решетки часто оказывается оголенной. При указанной интенсивности газификации температура паровоздушной смеси составляет 62° , а газа—перед загрузкой 650° и после загрузки 450° . Сопротивление слоя топлива 370—470 мм вод. ст. Равномерность золоудаления по сечению была отчасти достигнута путем установки на фартуке трех отгребующих ножей.

Газификация сланца

Газификация сланца ведется в СССР на немногочисленных установках.

Высокое содержание в сланце летучих веществ, влаги и золы, легкоплавкость золы, большое содержание в коксовом остатке углекислого кальция и малое—нелетучего углерода влияют на условия газификации и конструкцию газогенератора. Свойства сланца определяют необходимость подвода большого количества газов для подсушки и сухой перегонки топлива. Вместе с тем вследствие малого содержания нелетучего углерода в сланцевом коксе, количество получаемых при газификации кокса газов часто является недостаточным для получения необходимого количества газа.

Высокая зольность сланца увеличивает трудности газификации кокса: ухудшается выжиг остатков, усиливается шлакование и затрачивается значительное количество тепла на разложение углекислого кальция, содержащегося в золе, и нагрев остатков. Если содержание в сланце нелетучего углерода очень мало, в газогенератор необходимо вводить дополнительно топливо с большим содержанием нелетучего углерода или же передавать дополнительно тепло путем использования циркуляционного, нагреваемого извне, потока газов или же внешнего обогрева камер сухой перегонки. Теплотворная способность газа, получаемого в зоне газификации сланца, низкая, конечного газа—значительно выше. Это объясняется смещением газа, поступающего из зоны газификации, с большим количеством продуктов сухой перегонки, обладающих высокой теплотворной способностью.

При значительной легкоплавкости золы можно применять газогенераторы с жидким шлакоудалением.

Ввиду высокого выхода смол при газификации сланца к. п. д. газификации, считая на полезное тепло в газе, не может быть высоким. Для увеличения количества получаемого газа иногда предусматривают разложение смол в самом газогенераторе или крекинг смол в полученном газе по выходе из газогенератора.

Очень часто газификация сланца или сланцевого кокса является подсобной операцией при получении более ценных продуктов.

В Кохтла-Ярве [22] для газификации сланцев применяется установка, в которой используются продукты перегонки сланцев, а сланцевый полукокс газифицируется непосредственно по выходе из перегонной камеры (без охлаждения), давая газ для обогрева перегонных камер и для других целей. Эти установки позволяют регулировать количество тепла, подводимого в камеру перегонки. Газ частично сжигается под паровыми котлами силовой станции, частично отапливает установку для разгонки сланцевого масла и частично добавляется к газу, подаваемому из зоны газификации в перегонную камеру для охлаждения газа. Остаток выпускают в атмосферу.

В главе III приведены данные об опытах газификации отечественных сланцев в газогенераторах с жидким шлакоудалением.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ГАЗИФИКАЦИИ

Данные исследований газогенераторов выявляют комплексное влияние различных химико-физических факторов на конечные результаты газификации. Для уточнения схемы протекания процесса газификации следует рассмотреть исследования элементарных процессов, протекающих в газогенераторе, в частности:

- 1) изменение состава газа по высоте газогенератора или в реакционных трубках;
- 2) взаимодействие углерода с кислородом при низких температурах и малых давлениях кислорода;
- 3) горение углеродных тел, имеющих простую геометрическую форму;
- 4) взаимодействие углекислого газа с углеродом;
- 5) взаимодействие водяного пара с углеродом.

Исследования изменения состава газа по высоте газогенератора и в реакционных трубках

Исследования изменения состава газа по высоте слоя при воздушном и паровоздушном дутье в промышленных или небольших газогенераторах производились Н. П. Асеевым [20], В. И. Кармазиным [46], К. Нейманом [4], Р. Т. Хасламом с сотрудниками [61] и др.

Было установлено, что независимо от интенсивности горения (или газификации) весь кислород воздуха расходуется на небольшом расстоянии (до 100—120 мм) от решетки. На несколько меньшем расстоянии количество CO_2 достигает максимума 10—16% и далее падает вследствие роста содержания CO , в основном, после исчезновения кислорода. Температура в кислородной зоне достигает максимума в области наивысшего содержания CO_2 .

Изменение скорости воздуха в широких пределах не влияет на состав газа в слое топлива. При повышении производительности выше определенной, температура отходящих газов возрастает очень мало.

М. К. Гродзовский и З. Ф. Чуханов [62, 63] газифицировали с различной интенсивностью в реакционной трубке древесный уголь и кокс и показали, что при очень высоких скоростях воздушного дутья, в десятки раз превышающих обычные для газогенераторов, основным продуктом газификации является СО, а содержание в газах СО₂ невелико. Эти опыты подготовили работников газового дела к освоению высоких показателей производительности газогенераторов и помогли стахановцам установить показатели, опровергающие старую теорию, согласно которой процесс газификации лимитируется скоростью восстановительных реакций.

Другие исследования также показывают, что при взаимодействии кислорода с углеродом одновременно образуются СО₂ и СО. При температурах зоны газификации СО₂ обычно быстро восстанавливается в СО. С увеличением активности топлива выход СО возрастает, а СО₂ уменьшается.

Х. И. Колодцев [64, 65, 66 и 67] также показал, что с уменьшением размеров частиц топлива в кислородной зоне содержание в газе СО увеличивается, а СО₂—уменьшается; соответственно снижается и температура.

М. К. Гродзовский и Х. И. Колодцев [7] установили, что количество СО и СО₂, образующихся в кислородной зоне, линейно зависит от концентрации О₂, причем соотношение СО:СО₂ остается для каждого топлива при неизменной температуре постоянным. Для древесного и подмосковного углей величина этого соотношения начинает резко возрастать при содержании О₂ ниже 3—6% и для антрацита и кокса—ниже 1—3%. Соотношение СО:СО₂ в зонах окисления и восстановления зависит не от действующих концентраций О₂, а от температуры процесса, вида и свойств топлива:

$$\frac{CO}{CO_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = Ke^{-\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{RT}}, \quad (40)$$

где α_1 и ε_1 —соответственно коэффициент скорости и температурный показатель суммарного процесса образования СО, а α_2 и ε_2 —то же для процесса образования СО₂.

Множитель K отражает влияние химической природы топлива, гидродинамических факторов, структуры слоя и т. п. Величины ε_1 и ε_2 являются не чисто химическими характеристиками, а более общим температурными показателями суммар-

ных процессов образования СО и СО₂. R и T соответственно газовая постоянная и абсолютная температура.

Концентрация кислорода в зависимости от высоты слоя угля:

$$C_x = C_0 e^{-\psi H} \quad (41)$$

где: C_x —текущая концентрация О₂;
 C_0 —начальная концентрация О₂;
 H —высота слоя;
 e —основание натуральных логарифмов 2,718;
 ψ —коэффициент, зависящий от размеров частиц.
 Концентрация СО₂ в зависимости от H :

$$C_2 = C_0 e^{-\psi H} - C_x, \quad (42)$$

где φ —коэффициент, зависящий от режима и размеров частиц.
 Концентрация СО:

$$C_1 = \frac{C_0 - C_x - (1 + \beta) C_2}{0,6 + \beta}, \quad (43)$$

где β —коэффициент, зависящий от свойств топлива.

Колодцев [7] на основании своих исследований приводит данные, необходимые для расчета газообразования по слою в случае электродного угля и воздушного дутья. Для других топлив данные Колодцева и Гродзовского позволяют выявить характеристики соотношения СО₂ и СО в кислородной зоне в случае мелкого топлива: для древесного угля, при содержании О₂ выше 3—6% и высокой температуре СО₂:СО=1—1,25 и меньше и при более низкой—3. Для антрацита и кокса в случае содержания О₂ выше 2—3% те же величины соответственно равны 2—3 и 5. Величина отношения резко снижается к концу кислородной зоны.

Обработка данных по доменным печам, произведенная Гродзовским [7], дает для кислородной зоны (температура 1800—1850°) в случае древесного угля СО₂:СО=1,25 и в случае кокса 2,5—4,5.

Исследования М. К. Гродзовского и З. Ф. Чуханова, а также З. Ф. Чуханова и Н. А. Каржавиной [68] свидетельствуют о сильном взаимодействии водяных паров с углеродом в кислородной зоне и об интенсификации этого процесса с увеличением концентрации О₂. Выделившийся водород в присутствии свободного кислорода сгорает.

По опытам Колодцева [7] длина кислородной зоны зависит от размера частиц и при электродном угле на воздушном дутье в среднем соответствует трем диаметрам частиц ($3d$). Основное количество кислорода расходуется в первом ряду частиц угля,

а последние доли—в области интенсивного восстановления CO_2 . Для антрацита длина кислородной зоны составляет 2,5 *d*, а для древесины и подмосковного угля—1,5 *d*. Высота восстановительной зоны для электродного угля и антрацита в 3—4 раза превышает величину кислородной зоны. Для древесного и подмосковного углей высота зоны восстановления близка к высоте кислородной зоны. Разложение CO_2 в слое подмосковного угля протекает, в основном, в пределах кислородной зоны. Величина отношения количеств CO и CO_2 в конце кислородной зоны не зависит от скорости дутья и не превышает единицы, к концу восстановительной зоны достигает 10 и в значительной степени определяется ее тепловым режимом. В условиях достаточно высоких температур увеличение скорости дутья не отражается на составе газов, получаемых в восстановительной зоне. При увеличении содержания кислорода в дутье, а также при подогреве дутья размеры кислородной и восстановительной зон заметно сокращаются.

Согласно исследованиям Н. А. Семененко и Л. Н. Сидельковского [123], Х. И. Колодцева и Б. Л. Жаркова [122] почти аналогично протекают процессы и в кипящем слое. Выравнивание температур, вызванное интенсивным обменом масс в различных участках слоя, а также увеличение порозности обуславливают значительное увеличение кислородной зоны сравнительно с плотным слоем. Длина кислородной зоны не зависит от размера кусков и составляет для кусков графита размером 2,6—9 мм примерно 50—60 мм. Интенсивность восстановления CO_2 возрастает с увеличением размера частиц в результате повышения температуры. По высоте слоя температура мало меняется, в кислородной зоне она максимальна.

Исследования газификации на паровоздушном дутье показывают, что при малой добавке пара температура зоны газификации более высокая, чем при большой, и в получаемом газе содержатся меньшие количества CO_2 и H_2O . Интенсивное разложение CO_2 и H_2O происходит лишь при достаточно высокой температуре зоны газификации. На выходе из зоны газификации соотношение количеств CO , H_2 , CO_2 и H_2O удовлетворяют условию:

$$K_{\text{опыт}} = \frac{\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}}{\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2} = 1,7 - 2,5.$$

При снижении температуры в слое ниже определенного предела скорость взаимодействия настолько сильно уменьшается, что можно считать, что восстановительные реакции не протекают.

По высоте зоны газификации одновременно повышается содержание CO и H_2 . Это было отмечено в 1922 г. Н. Н. Доброхотовым [69], показавшим, что реакция $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$ практически не протекает и что, следовательно, решаю-

щее значение для получения H_2 и CO имеет реакционная способность углерода и температура процесса.

В. М. Кармазин [46] и др., производившие позонные исследования газогенераторов, не наблюдали на высоте 400—500 мм заметного изменения состава газа и пришли к выводу, что нет необходимости в высоком слое сухого топлива.

Исследования взаимодействия углерода с кислородом при низких температурах и малых давлениях кислорода

Для предотвращения вторичных реакций, возникающих при попадании продуктов реакции на угольную поверхность, исследования производили при очень низких давлениях кислорода и при малых концентрациях кислорода.

Работы Л. Мейера [4], осуществленные в условиях глубокого вакуума, показали, что до 1500° К имеет место один тип реакции, а выше 1800° К—другой. В интервале более низких температур расход O_2 пропорционален давлению (реакция нулевого порядка); $\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}} = 1$ (независимо от давления и температуры).

При более высоких температурах (реакция второго типа) выход газа не зависит от давления (реакция нулевого порядка); $\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2} = 2$, а скорость горения уменьшается.

Многочисленные опыты по взаимодействию кислорода различной концентрации с аэрозвесью древесного угля (З. Ф. Чуханов [68]) и с отдельными частицами электродного и древесного угля (С. Э. Хайкина), а также с углем в слое (З. Ф. Чуханов и Н. А. Каржавина [70]) и с пучком электродных стержней (Н. В. Лавров [71]) позволяют сделать следующие выводы: 1) при взаимодействии углерода с воздухом в области температур до 500—700° и с кислородом (концентрация до 4—5%) в области температур до 1200° продуктами реакции являются CO и CO_2 в равных количествах; 2) при температурах выше 500° скорость реакции растет с увеличением скорости дутья, для условий, указанных в пункте 1, скорость окисления пропорциональна скорости газов в степени 0,4—0,45; 3) при концентрации кислорода более 5—10% и температурах выше 1000° выход CO значительно возрастает.

Исследования горения тел, имеющих простую геометрическую форму

Исследования В. И. Блинова [72], В. И. Блинова и С. Э. Хайкиной [73], О. А. Цухановой [74] по горению углеродных частиц и угольного канала позволяют сделать вывод о влиянии характера потока на скорость горения углерода и выход CO . В турбулентном потоке скорость горения углерода и выход CO значи-

тельно больше, чем в ламинарном. При температурных условиях зоны газификации (температуры выше 800—1000°) с увеличением скорости газов растет количество выгорающего углерода и этот процесс ограничивается скоростью поступления кислорода к горячей поверхности.

О. А. Цуханова, З. Ф. Чуханов и М. Я. Сагайдакий [117], а также Л. А. Вулис [112] отмечали образование зольной пористой оболочки вокруг горящих кусков топлива. Н. П. Вознесенский наблюдал, что в такой оболочке образуется застойный слой газов, толщина зольной оболочки при горении древесного угля составляет 0,2—0,3 мм, доходя до 1 мм в тыльной, плохо обтекаемой газам, части кусков.

При увеличении скорости газов толщина зольной оболочки уменьшается. В процессах газификации участвует очень тонкий поверхностный слой древесного угля: толщиной 0,2—0,3 мм в кислородной зоне и 0,6—0,8 мм в восстановительной.

Исследования взаимодействия углекислого газа с углеродом

Н. Н. Гаврилов и Н. Г. Эдельштейн [75] показали, что при 850—950° торфяной кокс более активен, чем каменноугольный и количество реагирующего углерода быстро растет с увеличением скорости дутья.

Б. Климов и В. Ланин [76] установили, что при 800—1100° процесс восстановления CO_2 торфяным коксом идет с большой скоростью, а по А. Г. Рембашевскому и А. Д. Кокуруину [77] интенсивность восстановления CO_2 для сланцевого кокса очень велика.

Н. В. Лавров [71] и затем В. С. Альтшулер [78] исследовали восстановление CO_2 электродными стержнями. Лавров нашел, что до 1100° при больших скоростях газового потока процесс протекает в кинетической области, и порядок реакции близок к первому. Альтшулер, производивший исследования также и при меньших скоростях в интервале 800—1100°, установил, что в зависимости от условий опыта восстановление может протекать как в кинетической, так и в диффузионной областях.

М. К. Писмен использовал в качестве дутья продукты горения генераторного газа и, проводя опыты с древесным углем при различных скоростях дутья, нашел, что скорость восстановления CO_2 не зависит от продолжительности контакта.

Н. А. Каржавина исследовала восстановление CO_2 древесным углем, графитом, электродным углем, антрацитом и металлургическим коксом с размерами кусков 2—3 мм при длительности контакта 0,3 сек (скорость газов 0,1 м/сек). Преобладающее содержание в газе CO наблюдалось для древесного угля и торфяного кокса при 1000—1100°, а для других углей и металлургического кокса — при 1300—1400°.

И. Клемент, Л. Адамс и Ц. Хескинс [79], изучившие восстановление CO_2 в реакционных трубках, получили противоположные результаты, не соответствующие работе газогенераторов. Они нашли, что хотя количество образующейся CO и растет с повышением температуры и длительности контакта, но необходимая длительность контакта относительно велика. Объяснение этому неправильному наблюдению дано ниже.

Исследования взаимодействия водяного пара с углеродом

Исследования взаимодействия водяного пара с углеродом [80, 81] позволяют сделать следующие выводы: с повышением температуры скорость разложения водяного пара увеличивается, и возрастает содержание CO в газе; скорость реакции в значительной мере зависит от активности топлива. Для торфяного кокса и древесного угля диффузионная область достигается при сравнительно невысоких температурах порядка 900°, для малоактивного топлива — при значительно более высоких — выше 1000 — 1100°.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Характеристика процессов в зоне газификации

В поверхностном слое в области кислородной зоны углерод сгорает в CO и CO_2 , а водяные пары взаимодействуют с углеродом с образованием CO и H_2 . В застойном слое газов, образующемся вокруг кусков топлива, H_2 сгорает почти полностью, а CO частично. Некоторое количество CO сгорает в межкусковом пространстве. Концентрация CO и CO_2 одновременно увеличивается по высоте кислородной зоны, концентрация O_2 уменьшается. В конце кислородной зоны концентрация O_2 мала, CO_2 — велика и CO быстро нарастает. В восстановительной зоне CO_2 и H_2O , пройдя застойный слой, восстанавливаются до CO и H_2 .

Водяные пары охлаждают кислородную зону вследствие уноса из нее тепла, кроме того, разложение водяного пара в поверхностном слое кусков топлива замедляет их нагрев.

Имеющиеся данные не позволяют уточнить механизм процессов и, очевидно, при атмосферном давлении он отличается от механизма в условиях вакуума. Однако можно заключить, что процессы, приводящие к образованию CO , имеют большую скорость.

Получению CO в некоторой мере предшествует образование CO_2 или непосредственно или в результате сгорания первично образующейся CO и, следовательно, можно полагать, что восстановление CO_2 протекает в условиях газогенераторов с большой

скоростью. Этот факт подтверждают результаты исследований элементарных процессов и опыт работы газогенераторов. В них при любой интенсивности, обеспечивающей развитие достаточно высоких температур в зоне газификации, получается газ высокого качества.

Расположение частиц топлива в газогенераторах обуславливает многочисленные изменения направления и скорости движения газов, вследствие чего поток является турбулентным. Исследования показывают, что сопротивление слоя топлива растет пропорционально скорости газов или производительности в степени, близкой к квадрату. Опыты по горению частиц правильной формы и угольного канала показывают, что в случае турбулентного потока при температурных условиях зоны газификации (температура выше 800—900°) реакции горения углерода находятся в диффузионной области и с увеличением скорости газов растет количество выгорающего углерода и содержание CO.

Вследствие неправильной оценки результатов опытов Клемента, Адамса и Хескинса, не учитывавших влияния скорости газов на восстановление CO₂, а также соотношения размеров реакционной трубки и кусочков топлива [отношение диаметра трубки к размеру кусков 15:(3—5) мало], получила распространение точка зрения о том, что процесс газификации ограничивается скоростью реакций восстановления.

Следует также учесть, что в ряде опытов температурные пределы, свойства искусственного слоя и условия окисления углерода менее благоприятны, чем в газогенераторах.

Основным фактором, определяющим состав газа в зоне газификации, является температура. При 1000—1100° для активных топлив (древесного угля, торфяного и бурого угольного кокса) и 1200—1400° для менее активных (каменноугольного кокса, антрацита), окисление углерода протекает с большой скоростью, и восстановление CO₂ не ограничивает процесса. Нижним пределом температуры, при которой более или менее быстро протекают реакции газификации, является для активных топлив 800—900° и для менее активных—1000—1100°.

В качестве примера ухудшения качества газа при увеличении скорости (величины подачи) воздуха обычно приводят данные о составе газов в период чисто воздушного дутья в газогенераторах водяного газа. Кажущееся несоответствие устраняется, если учесть, что в газогенераторе восстановление CO₂ может протекать с малой скоростью только в том случае, если температура зоны газификации низка или воздух неравномерно распределяется по сечению, т. е. проходит отдельными каналами, не реагируя с углеродом, а сжигая газ.

Исследования состава газов воздушного дутья в газогенераторах водяного газа показывают, что с увеличением скорости воздушного дутья увеличивается выход CO.

Дутье не подается в топливный слой сосредоточенно или рав-

номерно распределенно. Кроме того, слой шлака недостаточно выравнивает распределение дутья в силу неравномерности размера кусков шлака и толщины шлаковой подушки. В результате происходит смешение отдельных участков зоны газификации, в которых протекают окислительные и восстановительные процессы. В кислородной зоне в поверхностных слоях кусков топлива протекают не только окислительные, но и восстановительные реакции. Поэтому температура этих слоев должна быть значительно ниже температуры участка газовой среды, в котором происходит горение CO и H₂ за счет свободного кислорода. Чем меньше активность топлива и больше размер кусков (т. е. меньше поверхность и больше размер межкусковых пустот), тем выше максимальное содержание CO₂ и температура газовой среды и поверхности топлива. Если при этом шлакование не ухудшает условий протекания процесса, то качество конечного газа не ухудшается, так как тепло нагрева газа используется для восстановительных реакций.

Снижение температуры и высоты кислородной зоны (зоны окисления) достигается уменьшением размеров кусков топлива, что является важным производственным фактором.

Таким образом, процесс газификации может протекать успешно в большом диапазоне скоростей и различной длительности контакта. Современные газогенераторы работают с высокими показателями качества газа и со значительно большей интенсивностью, по сравнению со старыми газогенераторами, в отношении которых существовало мнение, что их производительность лимитируется скоростью восстановительных реакций.

Табл. 13 [4] показывает, что газ высокого качества получается при благоприятных свойствах топлива независимо от его вида и интенсивности газификации, т. е. при различной продолжительности контакта углерода с газами.

Восстановление CO₂ и H₂O при интенсификации работы газогенератора может оказаться недостаточным, если в зону газификации поступает большое количество влаги. Последнее происходит при газификации крупного, влажного топлива и малых размерах зоны подготовки. Слишком большое количество влаги вводится с дутьем в случае легколавкой золы, а также при использовании паровых инжекторов.

По достижении достаточно высокой производительности газогенератора отдача тепла кислородной и восстановительной зонами должна составить почти неизменную часть вводимого тепла. В этом случае при изменении нагрузки потеря тепла в окружающую среду, составляющая сравнительно малую величину, не оказывает влияния на распределение температур в газогенераторе, следовательно в случае постоянства добавки пара и достаточных размеров зоны подготовки, степень разложения H₂O и CO₂ и температурный режим не будут изменяться при изменении нагрузки.

Соотношение составных частей газа в зоне газификации

Для условий, наблюдающихся в реакционных трубках, может быть принято, что при воздушном дутье в большей части газового объема кислородной зоны для активных топлив (древесный уголь, торфяной и буроугольный кокс) величина $CO_2 : CO = 1-3$ для менее активных (антрацит, каменноугольный кокс)

Таблица 13

Скорость газов в слое топлива и продолжительность их контакта с топливом

Тип газогенератора	Топливо	Интенсивность газификации в $кг/м^2 \text{ час}$	Высота раскаленной зоны в м	Скорость дутья в м/сек.		Продолжительность контакта в сек.
				условная*	действительная**	
С ручным золоудалением	Древесина, торф	150	0,5	0,05	1,0	0,5
С вращающейся решеткой, без швельшахты	То же	400	0,5	0,15	3,0	0,15
С вращающейся решеткой и швельшахтой	То же	400	0,5	0,15	3,0	0,15
С ручным золоудалением	Каменный уголь	100	0,6	0,07	1,4	0,4
С вращающейся решеткой	То же	200	0,6	0,13	2,6	0,2
С вращающейся решеткой и автоматическим шуровочным приспособлением	То же	350	0,4	0,2	4,0	0,1
С жидким шлакоудалением	Кокс	700	2,5	0,5	10,0	0,25
С кипящим слоем	Подсушенный бурый уголь	1600	0,8	0,8	16,0	0,05

* Отнесена к холодному дутью и полному сечению газогенератора.

** Расчет произведен в предположении, что свободное сечение газогенератора составляет 0,25 общего и средняя температура газов в зоне газификации 1100° . Действительная скорость превышает условную в 20 раз.

$CO_2 : CO = 2-5$. Величина $CO_2 : CO$ приближается к нижнему пределу при высоких температурах зоны (дутье, обогащенное кислородом) и мелком топливе и к верхнему—при низких температурах зоны. В конце кислородной зоны величина отношения $CO_2 : CO$ резко уменьшается.

Соотношение $\frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2}$ на выходе из зоны газификации составляет 1,75—2,5 и в дальнейшем мало изменяется (если не учитывать изменений, связанных с выделением из топлива газов сухой перегонки). Изменение состава сухого газа при очень влажном и крупном топливе свидетельствует о том, что в зону газификации попадает неподготовленное топливо.

Размер зон газификации и подготовки

Высота зоны газификации невелика и зависит от размеров кусков и активности топлива в соответствии с данными Колодцева и др. Максимальная высота при обычных температурах газификации не превышает 300—400 мм. При высокой температуре зоны газификации, даже при небольшом слое топлива и независимо от скорости дутья, получается газ высокого качества, содержащий небольшие количества CO_2 и H_2O .

В случае слишком большой добавки пара или очень малой производительности газогенератора, вследствие понижения температуры зоны газификации растет выход CO_2 и H_2O и получается газ с низкой теплотворной способностью.

Наблюдавшееся в некоторых исследованиях повышение температуры восстановительной зоны с увеличением высоты слоя и производительности, сопровождавшееся улучшением качества газа, является в основном следствием относительного уменьшения теплотдачи в окружающую среду, которая велика в экспериментальном газогенераторе, а также простого расширения зоны высоких температур. Такое расширение особенно часто происходит при газификации топлива с малым размером кусков и малым содержанием влаги (каменный уголь, антрацит, бурый уголь с малым содержанием влаги), когда для нагрева топлива не требуется большая высота слоя. В этом случае образуется «холостая», т. е. нерабочая зона (рис. 3).

Данные исследований не позволяют согласиться с часто высказываемыми соображениями [7], что из всех стадий сжигания и газификации определяющей является стадия горения углерода и что стадия горения коксового остатка оказывается наиболее длительной из всех последовательных стадий процесса. Исследования показывают, что при газификации влажных, крупнокусковых топлив работа зоны подготовки является решающей для работы газогенератора в целом, и эта зона определяет количество влаги, удаляемой в зоне подготовки, состав коксового остатка и получаемого газа. Размеры зоны подготовки при этом во много раз превышают размеры зоны газификации (см. рис. 3).

Нельзя также согласиться с высказываниями о том, что количество тепла, которое необходимо для осуществления подготовки топлива и нагрева его до температуры воспламенения кокса, оказывается всегда много меньше, чем то тепло, которое выделяется при горении в коксовой зоне. В действительности тепла газов, поступающих из зоны газификации, может хватить для подготовки топлива. Ошибочность такого мнения объясняется недоучетом важного фактора—поступления влаги в зону газификации при неполной подготовке топлива.

Высота зоны подготовки должна быть достаточной для передачи топливу необходимого для подсушки и нагрева его тепла газов, поступающих из зоны газификации. При влажном топливе—

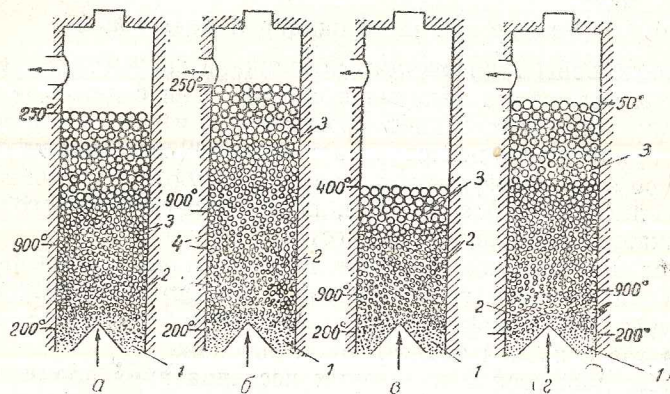


Рис. 3. — Схемы процессов, протекающих в газогенераторе (а — нормальный режим; б — слишком большая высота слоя; в — слишком малая высота слоя; г — слишком большая высота слоя при очень влажном топливе): 1 — зона золы и шлака; 2 — зона газификации; 3 — зона подготовки; 4 — холостая зона. Цифрами показана температура газов на границах зон.

дровах и торфе и влажных бурых углях,—начиная с определенных пределов содержания влаги, невозможна полная подготовка топлива. При повышении производительности в случае крупного и влажного топлива она лимитируется или высотой слоя (трудно достижимой) или излишним снижением температуры газа на выходе (недопустимо снижение ниже 70—85°). Повышение высоты зоны подготовки может быть заменено измельчением топлива.

Увеличение влажности топлива выше определенных пределов вызывает необходимость в ограничении высоты слоя топлива для избежания излишнего снижения температуры газов.

Соотношение размеров газогенератора должно способствовать равномерному распределению газов и топлива по сечению газогенератора.

УСЛОВИЯ, УЛУЧШАЮЩИЕ ПРОЦЕСС ГАЗИФИКАЦИИ

Для эффективной газификации топлива требуется знание свойств газифицируемого топлива и хорошая его подготовка, правильная организация режима газогенератора и приспособление конструкции газогенератора к условиям режима и свойствам топлива.

Правильная приемка и испытание газогенераторного топлива (см. также стр. 4) обеспечиваются ГОСТ. Качественная приемка топлива производится по ГОСТ 1137—41 и 1817—42, отбор проб по ОСТ 10602—39, определение содержания летучих, серы и золы—по ГОСТ 147—41 и 278—41, температуры плавления золы—по ГОСТ 2057—43, содержания видимой породы и мелочи—по ГОСТ 1916—42.

Механическая прочность газогенераторных углей и антрацитов определяется по приложению 1 к ГОСТ 3846—47. Специально отобранную пробу топлива сбрасывают с определенной высоты на металлическую плиту. Полученные куски просеивают через сито (отверстия 25×25 мм), определяя «индекс разбивания» или индекс «механической прочности»—величину отношения веса оставшегося на сите топлива к общему весу пробы в процентах.

Ситовой анализ углей производится по ГОСТ 2093—43. Термическая стойкость газогенераторных углей и антрацитов определяется согласно приложения 2 к ГОСТ 3846—47. Отобранные пробы топлива выдерживают 15 минут в муфеле с температурой 900°. После остывания прокаленную пробу помещают в барабан, вращающийся 5 минут. Затем просеивают пробу через сито (отверстия 25×25 мм) и определяют «индекс термической стойкости» или «индекс механической прочности после нагревания»,—величину отношения веса топлива, оставшегося на сите, к весу исходного в процентах. Иногда проверка термической прочности угля производится путем нагрева его в муфельной печи со скоростью, соответствующей нагреву в газогенераторе. Куски не должны рассыпаться в мелочь. Трещиноватость при сохранении формы куска свидетельствует о развитии активной поверхности и является положительным фактором.

Определение толщины пластического слоя производится по ГОСТ 1186—48. Для газогенераторов с механическими шуровочными приспособлениями допускается толщина слоя до 12 мм и для других—до 10 мм. Для газогенераторов этот показатель недостаточно проверен.

Подготовка топлива—подсушка очень влажного топлива, измельчение крупного, сортировка, брикетирование, удаление породы—рассматривается ниже. Топливо, богатое кислородом, иногда подвергают низкотемпературной сухой перегонке (до 250°), при которой выделяются значительные количества углекислого газа и воды. В результате топливо обогащается углеро-

дом и его теплотворная способность возрастает. Ниже также рассмотрены конструкции, обеспечивающие требуемое распределение топлива и дутья в газогенераторе и удаление остатков. Большое значение имеет изучение работы этих элементов на холостом ходу. Для суждения о распределении топлива и дутья в разных условиях благоприятные перспективы сулит освоение моделей.

Организация режима и устройство газогенератора позволяют создать желательные для газификации условия: состояние и размеры слоя топлива, требуемое давление и т. д.

Из способов регулирования режима, не связанных непосредственно с конструкцией газогенераторов, в основном используется добавка пара к дутью. Необходимо отметить возможность введения для снижения температур в кислородной зоне отходящих газов топок и печей, особенно содержащих повышенное количество CO_2 , добавок, разлагающихся и взаимодействующих с поглощением тепла, а часто и с образованием побочных продуктов (металла, шлака). Возможно использование добавок, уменьшающих спекание топлива и шлакование его золы. Для уменьшения шлакования при немногозольных топливах иногда может быть использован кварцевый песок. Уменьшение размеров кусков топлива снижает максимальную температуру в кислородной зоне.

Большой эффект при газификации топлива с высоким содержанием влаги может дать подогрев дутья.

Для оценки требуемых мероприятий необходимо знать распределение максимальных температур в слое. Оно может быть определено путем погружения в различных участках поверхности слоя полых цирконовых шаров малого диаметра (20—30 мм), в которых находятся вещества с точно определенной температурой плавления.

Если свойства топлива допускают развитие высоких температур, могут быть созданы очень хорошие условия газификации. Этому иногда препятствует применение инжекторов для подачи дутья. Они обычно вводят в газогенератор излишне большие количества водяного пара. Благоприятные перспективы сулят газогенераторы с жидким шлакоудалением, пока не нашедшие значительного распространения.

Сера, содержащаяся в органической массе угля, пиритная и в некоторой степени сульфатная в газогенераторе образует сероводород. Выход его может быть уменьшен путем отделения от топлива серного колчедана, что одновременно уменьшает шлакование, а также и связывания серы добавками. Последние обычно снижают плавкость золы. Резкое уменьшение выхода сероводорода достигается в газогенераторах с жидким шлакоудалением при добавлении флюсов в виде извести и окислов железа.

Глава III

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОСОРТНОГО ТОПЛИВА

МЕТОДЫ ГАЗИФИКАЦИИ ТОПЛИВА

Способы использования низкосортных топлив зависят от требований потребителя, свойств этих топлив и возможностей их подготовки.

В зависимости от требований потребителя и, главным образом, от минимально допустимой теплотворной способности газа, можно применять те или иные схемы и способы газификации. В настоящее время газогенераторная техника освоила различные методы газификации топлива, в том числе допускающие получение из низкосортного топлива, например, торфяной крошки и бурого угля мелочи, газа с очень высокой теплотворной способностью. Высокий уровень техники открывает благоприятные перспективы по улучшению работы агрегатов, отапливаемых генераторным газом, и замене дефицитного и дорогого жидкого топлива генераторным газом. Так, стекольная промышленность применяет значительное количество жидкого топлива для обработки стекла и его нагрева (в питателях стеклоформирующих машин, отжигательных муфельных печах, для отопки, отрезки и огневой полировки). Жидкое топливо используется как непосредственно, так и предварительно переработанное в газообразное. Оно получается из бензина (в газобензиновых аппаратах путем испарения бензина в струе воздуха), нефти или мазута и другого жидкого топлива в ретортах и камерах с насадкой.

Получение газа сухой перегонки, имеющего высокую теплотворную способность, для замены жидкого топлива обычно невыгодно из-за больших первоначальных затрат, громоздкости оборудования, сложности эксплуатации, большой чувствительности к изменению режима (особенно к остановкам) и

появления фенольных сточных вод, очистка которых является затруднительной.

В ряде случаев новые методы газификации допускают получение дешевого генераторного газа со сравнительно невысокой теплотворной способностью (1000—1200 ккал/нм³). Такие способы открывают новые области применения генераторного газа—в особенности для отраслей промышленности, где для обработки материалов нужны сравнительно невысокие температуры. Таковой отраслью является промышленность строительных материалов. Получение дешевого газа позволяет переходить на газовый обжиг кирпича, извести и других материалов, применять лучшие конструкции печей, повышать их производительность и улучшать качество продукции.

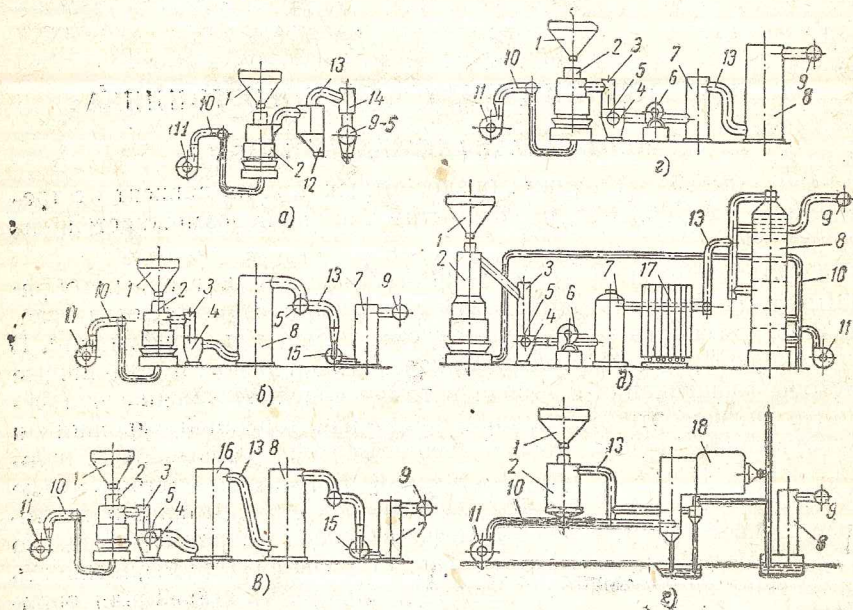


Рис. 4. — Схемы установок для получения паровоздушного или воздушного (а — с сухой очисткой; б — с мокрой очисткой бессмолистого газа; в — с мокрой очисткой смолистого газа в электрофильтрах; г — с мокрой очисткой смолистого газа в дезинтеграторах; д — с дополнительной установкой нейтрализатора уксусной кислоты) и водяного (е) газов: 1 — бункер; 2 — газогенератор; 3 — стояк-охладитель; 4 — гидравлический затвор; 5 — коллектор газа; 6 — дезинтегратор-смолоуловитель; 7 — каплеуловитель; 8 — скруббер; 9 — газопровод к потребителю; 10 — воздухопровод; 11 — воздушный вентилятор; 12 — пылеуловитель; 13 — соединительный газопровод; 14 — горячий клапан; 15 — газовый вентилятор; 16 — электрофильтр; 17 — нейтрализатор уксусной кислоты; 18 — котел с регенеративной топкой и пароперегревателем.

В зависимости от вида дутья можно получать различные газы. При использовании газа для отопления печей большое значение имеет добавка к дутью кислорода, что позволяет значительно по-

Таблица 14

Показатели газификации на парокислородном дутье бурых углей и кокса

Наименование показателей	Единица измерения	Подмосковный уголь	Сулюктинский уголь	Кокс
1	2	3	4	5
Топливо:				
Влажность (W _P)	%	32,6	20,0	2—8
Зольность (A _P)	%	24,5	8,0	10—11
Содержание летучих (V ^с)	%	45	27	1
Температура парокислородной смеси	град.	91,3	91,4	92,0
Расход пара на рабочее топливо	кг/кг	0,34	0,82	1,75
Концентрация O ₂ в сухом дутье	%	94,0	88,8	70,6
Расход 100%-ного O ₂ на рабочее топливо	нм ³ /кг	0,132	0,348	0,526
Расход 100%-ного O ₂ на 1000 ккал в газе	нм ³	0,071	0,085	0,096
Высота слоя топлива	м	2,1	1,1	2,0
Выход газа на рабочее топливо	нм ³ /кг	0,86	1,64	2,62
Температура газа	град.	85	195	585
Влагосодержание газа	г/нм ³	440	443	—
Состав газа:				
CO ₂	%	25,61	16,79	17,4
H ₂ S	%	2,62	0,09	
C _m H _n	%	0,46	0,20	0,0
O ₂	%	0,44	0,23	0,0
CO	%	26,30	40,46	35,2
H ₂	%	37,71	33,61	37,5
CH ₄	%	2,60	2,88	0,5
N ₂	%	4,26	5,74	9,4

Продолжение

1	2	3	4	5
Теплотворная способность газа:				
а) высшая	ккал/м ³	2433	2563	2253
б) низшая	"	2206	2375	2080
Тепловой баланс (по верхнему пределу):				
Приход				
а) Теплотворная способность топлива	%	93,5	90,4	—
б) Физическое тепло пара	%	6,4	9,4	—
в) Физическое тепло кислорода	%	0,1	0,2	—
Итого	—	100,0	100,0	—
Расход				
а) Теплотворная способность сухого газа	%	68,8	75,3	—
б) Физическое тепло газа	%	0,7	1,9	—
в) Физическое тепло влаги газа	%	8,0	8,9	—
г) Теплотворная способность смолы	%	4,4	0,0	—
д) Теплотворная способность шлака и уноса	%	4,9	4,8	—
е) Потери в окружающую среду, парообразование в рубашке, невязки и пр.	%	13,2	9,1	—
Итого	—	100,0	100,0	—
К. п. д.:				
а) газификации	%	73,5	82,1	84,0
б) термический	%	68,8	75,3	—

высить теплотворную способность газа [120]. В табл. 14 приведены данные по газификации бурых углей на кислородном дутье Г. Н. Полубояриновым [82] и Н. В. Шишаковым [2]. Применение кислородного дутья расширяет область использования газогенераторов с жидким шлакоудалением. Наиболее освоенным способом получения газа с повышенной теплотворной способностью, однако, требующим обычно предварительной подготовки топлива или же применения высоких сортов топлива, является получение водяного газа. Предложены методы получения водяного газа из низкосортных топлив. В некоторых случаях заводы располагают газами с повышенным содержанием CO₂ или почти чистым CO₂, с помощью которого процесс можно вести аналогично процессу получения водяного газа.

Обычные схемы получения воздушного, паровоздушного и водяного газа показаны на рис. 4. По схемам непрерывного получения газа может быть получен и газ на дутье, обогащенном кислородом.

Новыми методами газификации являются: газификация под высоким давлением, во взвешенном слое, в кипящем слое и в пылегазовом потоке. Эти методы газификации допускают использование низкосортных топлив со сравнительно небольшой их подготовкой.

ПОДГОТОВКА ТОПЛИВА

Подготовительные операции могут быть сложными, дорогими—связанными с искусственной подсушкой, брикетированием и тонким помолом топлива. Одним из самых эффективных мероприятий является грохочение угля, т. е. отсев из него мелочи диаметром меньше 3 мм. Иногда целесообразен рассев топлива на отдельные фракции.

Дрова газифицируют в виде кусков наиболее крупных размеров и поэтому подготовка дров в газогенераторах длительна и требует очень большой высоты слоя топлива. При недостаточной высоте слоя часть влаги и летучих веществ поступает в зону газификации, в результате чего ухудшается качество газа. Разделка дров позволяет устранить этот недочет. Дровяное топливо измельчают [22] колунами и пилами. Более полное измельчение дров в щепу производится специальными рубильными машинами. Для измельчения древесины неправильной формы, например пней и сучьев, применяют другие машины и ножницы.

Довольно крупными являются размеры торфяного топлива, газифицирующегося слоем высотой 3—6 м. Торфяные кирпичи не измельчают во избежание получения слишком большого количества мелочи.

Угольное топливо, антрацит и кокс доставляют в достаточно измельченном виде. Обычно максимальный размер куска не превышает 100 мм. В случае поставки крупного угольного топлива его измельчают дробилками.

При большом содержании в топливе мелочи ее необходимо отсеивать. Для этого на газостанциях для всех топлив (кроме древесины, а иногда и торфа) устанавливают механические грохоты. Соотношение размеров диаметров кусков—максимального и минимального — не должно превышать 3:1.

В зимнее время мелочь смерзается и не проваливается через отверстия грохота. Поэтому при очень высоком содержании в топливе мелочи, подлежащей отсеиванию, следует предусматривать размораживание топлива.

Брикетирование топливной мелочи, часто связанное с искусственной сушкой топлива, в ряде случаев может коренным образом улучшить условия газификации и рассматривается ниже.

Если тепла газов из зоны газификации недостаточно для испарения влаги и смолы, они конденсируются в верхней части слоя, и газогенератор приглушается; поэтому температура газа на выходе из газогенератора не должна быть ниже 70—85° [4, 13].

Указанные причины определяют предел влажности топлива, допустимой при газификации. При превышении его часть влаги топлива неминуемо поступает в зону газификации, в результате чего ухудшается качество газа. Практически это имеет значение для древесины, торфа и некоторых сортов бурого угля. Уже отмечено, что при крупных и влажных дровах быстро достигается предел производительности, ограниченный необходимостью подсушки дров. Такой предел влажности древесины, при котором полная подготовка топлива определяет получение минимально допустимой температуры газов в стекловаренных печах, составляет примерно 40%.

Подготовка щепы осуществляется легко и снижение качества газа (сухого) начинается лишь при превышении указанного предела. Для дров это ухудшение начинается раньше. В известных пределах влажности торфа, можно получать газ хорошего качества и компенсировать повышение содержания влаги увеличением высоты топливного слоя. Предельно допустимая влажность торфа, не вызывающая ухудшения состава сухого газа, составляет примерно 40—45%, считая на беззольное топливо.

В схемах обычных газогенераторных установок предусматривают использование древесины и торфа, подвергшихся естественной сушке, сезонной, подверженной влиянию атмосферных условий и различных случайностей, а также требующей содержания больших запасов топлива (древесины). Обычно эта сушка является недостаточной. Искусственная сушка, производимая за счет тепла отходящих газов печей, резко повышает эффективность использования топлива. Искусственная сушка топлива рассматривается ниже.

Высокие показатели газификации бурых углей могут быть получены при предельном содержании влаги, равном примерно

50%, считая на беззольное топливо. При газификации более влажного угля получают газ низкого качества и плохой выжиг остатков вследствие низкой температуры зоны газификации. Топливо, предназначенное для газификации в кипящем или взвешенном слое или же в пылегазовом потоке, подвергают измельчению и рассеву, а иногда и искусственной подсушке. Примеси пирита оплавляют остатки, образуя большие комья шлака, препятствующие равномерной газификации. Удаление пирита возможно путем применения специальных сепараторов. Для подмосковного угля такое обогащение является весьма целесообразным.

Некоторые топлива, особенно бурые угли, обладают свойством распадаться при нагревании. Если это свойство резко выражено, то такие топлива могут быть использованы в измельченном виде в газогенераторах специальных конструкций, предназначенных для газификации мелкезернистого и пылевидного или брикетированного топлива. Распадающиеся угли можно смешивать со спекающимися.

Многие каменные угли обладают свойством спекаться. Это заставляет примешивать неспекающиеся угли или же работать, во избежание трудностей шуровки, с пониженным слоем и с худшими показателями вследствие прогаров.

Брикетирование топлива

Отрицательные свойства, присущие торфу и бурому углю, как-то: чрезмерно высокое содержание влаги, повышенная зольность, недостаточная стойкость по отношению к атмосферным влияниям, склонность к самовозгоранию, значительное содержание мелочи, неудовлетворительная транспортабельность могут быть в значительной мере устранены при брикетировании. Кроме того, важнейший показатель топлива, а именно—теплотворная способность,—значительно выше для торфяного и буроугольного брикетов, чем для этих же видов топлива в кусках.

Ниже приводятся сравнительные показатели для торфа в кусках и брикетах (табл. 15).

Ни одна страна в мире не располагает такими огромными торфяными ресурсами, как СССР (более 40% мировых ресурсов торфа).

Из года в год в нашей стране возрастает добыча торфа. Добываемый торф нередко поставляется с чрезвычайно высоким содержанием влаги. Брикетирование торфа и бурого угля является одним из важнейших способов повышения его качества и позволяет максимально использовать местные топлива.

Однако брикетирование является дорогой операцией, к которой прибегают, в основном, при использовании брикетов в бытовых установках и небольших производственных или транспортных агрегатах. В больших стационарных газогенераторах брикеты используют редко, причем преимущественно буроугольные.

Брикеты различают, в зависимости от исходного материала: торфяные, буроугольные, каменноугольные и из разных отходов. Торфяные и буроугольные брикеты изготовляют путем прессования под высоким давлением — 1000—1500 ат. Каменноугольные брикеты изготовляют из тощих углей, так как мелочь жирных углей используется для коксования. При изготовлении каменноугольных брикетов добавляется связующее вещество — обычно каменноугольный пек. Связующее вещество не должно

Таблица 15
Свойства фрезерного торфа и торфяных брикетов

Наименование показателей	Фрезерный торф	Брикет
Влажность (W _p) в %	45—55	12—18
Насыпной объемный вес в кг/м ³	280—400	550—650
Низшая теплотворная способность в ккал/кг	2700—2200	4320—4050
Теплоплотность в 10 ⁶ ккал/м ³	0,686—0,98	2,37—2,8
Прочность на сжатие в кг/см ²	—	100—120
То же на изгиб	—	20
Форма	Крошка	Куски правильной формы
Самовозгораемость	Самовозгорается	Не самовозгорается

отгоняться при прессовании, в противном случае брикеты при нагревании распадаются.

Иногда брикеты различают по способу изготовления. Если при брикетировании в массу добавляется вода и масса прессуется в пластическом состоянии, брикеты называют мокропрессованными.

Формованный торф, получаемый при разработке залежей, а не путем прессования измельченной и искусственно подсушенной торфяной крошки, рассматривают как натуральное топливо, отчасти вследствие того, что при ручной выработке торфины имеют те же размеры, что и при машинной.

При прессовании из топливной мелочи вытесняется воздух, частицы топлива сближаются, промежутки между ними уменьшаются до капиллярных и заполняются водой, выжимаемой из капилляров. Вода, уменьшающая трение частиц друг о друга, облегчает сближение частиц. В стадии прессования в брикете образуется сеть соединенных между собой заполненных водой капилляров. При определенном давлении развиваются силы поверх-

ностного натяжения жидкости, способные образовать прочные брикеты. Влажность топлива при брикетировании должна находиться в определенных пределах. При прессовании торфа с влажностью 10—20% под давлением в 1000—1500 кг/см² создаются благоприятные условия для развития капиллярных сил, обеспечивающих получение прочных брикетов. По указанным причинам на практике для брикетирования торфа используют мелочь с влажностью в среднем 15% [83, 84, 85].

В некоторых случаях в этих условиях все же не получается прочного брикета. Это, в частности, наблюдается при брикетировании гипновых торфов, или торфов с большим содержанием древесных остатков (более 50%).

В качестве сырья при изготовлении торфяных брикетов используют фрезерный торф, а также торфяную крошку, получающуюся в виде отходов при изготовлении и транспортировке кускового торфа.

К качеству топлива, используемого для брикетирования, предъявляют такие же требования, как и к крупнокусовому. Степень разложения торфа должна быть не ниже 30%; содержание золы — не выше 10%, считая на сухое топливо; температура плавления золы — не ниже 1000°.

Наиболее пригодными для брикетирования являются торфы низинных и переходных болот. Пониженная степень разложения является нежелательной, так как при ней наблюдаются волокнистые включения и пониженный объемный вес, что уменьшает производительность оборудования для брикетирования. Кроме того, такой торф обычно труднее дробится и просеивается и склонен к слеживанию.

Сырьем для буроугольных брикетов является угольная мелочь, подвергающаяся размолу. Влажность ее 9—12%.

На способность углей брикетироваться оказывает влияние содержание битумов, могущих в известной степени компенсировать недостаточное содержание влаги. При избыточном содержании битумов (в бурых углях выше 12—14%) качество брикетов ухудшается.

Опытами [86, 87] установлено, что украинские и башкирские бурые угли легко брикетируются. Брикеты из богословского угля успешно применяли в качестве топлива для доменных печей. Имеются указания [88] на возможность получения брикетов из подмосковного угля; при этом требуется подсушка его до содержания влаги 8—9%.

Оказалось возможным брикетировать без нагрева древесные опилки с влажностью до 30% [89]. При большей влажности брикеты рассыпаются. Брикеты из сосновых опилок с влажностью 11—13%, полученные под давлением 1440—1600 кг/см², имеют объемный вес 1,16—1,20 г/см³ и из опилок с влажностью 25% под давлением 250—300 кг/см² — около 0,7 г/см³. Защищенные от влаги брикеты могут храниться неограниченное время.

Схемы получения брикетов из бурого угля и торфа идентичны. Схема получения каменноугольных брикетов отличается от них отсутствием этапа подсушки топлива и введением в угольную шихту связующего вещества.

Топливо, подлежащее брикетированию, подвергается механической подготовке—рассеву. Фракции крупнее 6—8 мм дробятся. Мелочь, подлежащая брикетированию, подвергается искусственной сушке, осуществляемой с помощью дымовых газов или водяного пара. В некоторых случаях подсушенное топливо подвергают искусственному охлаждению, например, в атмосфере инертных газов. Подсушенная крошка с помощью штемпельных прессов превращается под давлением 1000—1500 кг/см² в брикеты. Их охлаждают, после чего они поступают на склад, а оттуда к потребителю.

Наиболее рациональным методом сушки топлива является газопневматический. Сушка ведется дымовыми газами с начальной температурой 600—650°. Дымовые газы получают путем сжигания топливной мелочи и смешения получаемых газов с использованными, имеющими температуру 250—300°.

Паровую сушку следует применять в случаях, когда пар является отходом.

При получении торфяных брикетов расход фрезерного торфа с влажностью 40% составляет около 2 т на 1 т брикетов с влажностью 15%. Расход электроэнергии 90—100 квтч/т. Расход пара с давлением 2,5—3 ата при паровых сушилках равен 1 т/т.

Подсушка топлива и подогрев воздуха для газификации

При влажных топливах качество газа можно улучшить путем подсушки топлива или ввода подогретого воздуха дутья. Однако оба эти способа не являются равноценными.

Если к потребителю поступает неосушенный газ, то лучше подсушивать топливо, что позволяет уменьшить количество влаги в газе. Во всех случаях подсушка топлива позволяет использовать отходящие газы печей, имеющие низкую температуру (при высокой температуре газов топливо возгорается). Для подогрева воздуха требуются газы с более высокой температурой вследствие малой величины коэффициента теплоотдачи от отходящих газов стенкам воздухонагревателей и от стенок воздухонагревателей подогреваемому воздуху. Кроме того, слоевая сушка позволяет избежать применения металлических воздухоподогревателей. Во многих случаях целесообразно использование регенеративных воздухоподогревателей и высокоподогретого воздуха.

Из приведенных в главах II и IV данных следует, что при влажности древесины и торфа, превышающих определенные пределы, качество газа неизбежно снижается ввиду того, что в

зону газификации поступает недостаточно подготовленное топливо. Это особенно ощутимо при газификации дров, вследствие большого термического сопротивления крупных поленьев. Измельчение древесины устраняет, в известной мере, этот недочет.

При влажности древесины и торфа, используемых в настоящее время, сушка дает очень большой эффект.

Для сушки древесной щепы, предназначенной для газификации в небольших силовых газогенераторах с разложением смол, создано большое количество стационарных и передвижных сушилок. В этих сушилках затрачивается некоторое количество топлива для получения дымовых газов или нагретого воздуха для сушки. Они имеют малую производительность—до 20 м³ в сутки. В некоторых случаях топливо для силовых газогенераторов сушат выхлопными газами двигателей.

Топливо, газифицируемое в кипящем слое, можно с успехом сушить в барабанных газовых сушилках, где одновременно топливо дробится. Заслуживает внимания подсушка рядового угля в трубе-сушилке с разделением мелких и крупных кусков.

Для сушки крупнокускового топлива применяются и предложены другие сушилки.

На рис. 5 представлена сушилка [22], используемая для сушки щепы за счет тепла отходящих газов печей. Газы продувают через слой топлива, что значительно повышает интенсивность сушки. Сушилка состоит из двух коаксиальных металлических цилиндров, снабженных мелкими отверстиями. Пространство между цилиндрами заполнено щепой, подаваемой сверху и опускающейся вниз. Отходящие газы печей, смешанные с газами, выходящими из сушилки, подаются во внутренний цилиндр и пронизывают слой щепы в горизонтальном направлении. Снаружи сушилка снабжена бетонной шахтой, охватывающей внешний цилиндр сушилки. Влажные газы удаляются из образующе-

го внешнего кольцевого пространства. По опытным данным в башне объемом 35 м³ высушивается 150 м³ щепы в сутки. Начальная влажность щепы 60,4%, конечная—33,7%. Температура дымовых газов при входе 145°, при выходе 55°. Требуемая мощность—30 л. с.

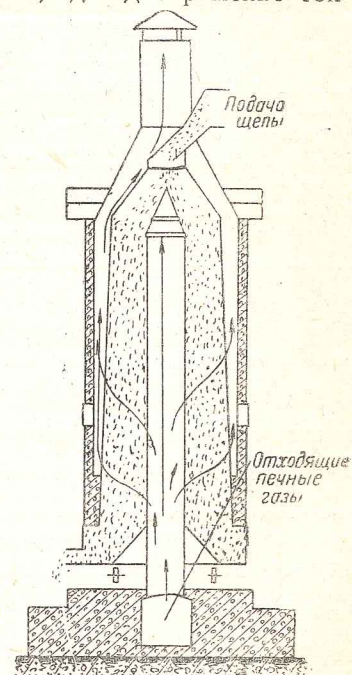


Рис. 5. Сушилка для сушки щепы.

Сушилки для торфа и древесины могут быть выполнены всевозможных конструкций в зависимости от способа транспортировки топлива к газогенераторам. Вагонетка, в которой доставляется топливо, может служить сушилкой. Такая сушилка показана на рис. 6 [27].

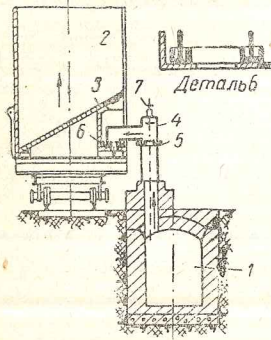


Рис. 6. Вагонеточная сушилка: 1—дымовой бор; 2—вагонетка-сушило; 3—решетчатое днище; 4—перекидной рукав; 5, 6—гидравлический затвор; 7—клапан.

торф не приходится переваливать для сушки или при сушке, т. е. избегают измельчения торфа. Конструкция такой сушилки разработана автором и Б. И. Китаевым.

Б. И. Китаев также предложил конструкцию сушилки для сушки торфа в бункерах газогенераторов. Она показана на рис. 7 и 8.

Дымовые газы по трубопроводу подаются к бункерам торфяных газогенераторов, стенки которых в нижней части делаются проницаемыми для газов. Газы из бункеров отсасываются эксгаустером и перед выпуском в атмосферу проходят через пылеуловитель для отделения унесенной ими пыли.

Обычно на заводах имеется достаточно тепла для подсушки топлива. Так, на стекловом заводе основным потребителем генераторного газа являются стекловаренные печи. Тепла отходящих газов стекловаренных печей вполне достаточно для подсушки топлива, что видно из следующего расчета.

На 1 кг древесины с влажностью 25% получается 5 м^3 продуктов горения с температурой 300° . Считая к. п. д. сушилки минимально равным 50%, находим, что на 1 кг древесины с влажностью 25% может быть испарено $5 \times 300 \times 0,33 \times 0,5 : 600 = 0,41$ кг влаги. Иначе говоря, за счет тепла отходящих газов древесина

Отходящие газы из печи или продукты горения из резервной топки, смешанные с воздухом для достижения требуемой температуры ($150\text{--}170^\circ$), подаются дымососом в дымовой бор 1, вдоль которого проходит железнодорожный путь для вагонеток 2 с топливом. Для удобства высыпания топлива вагонетки снабжены откидным бортом и наклонным дном. Верхнее дно 3 съемное и имеет отверстия. Газы обтекают куски топлива и выходят наружу сверху слоя. Уплотнение соединительного устройства между бором и вагонетками достигается с помощью гидравлических желобчатых затворов 5 и 6. Количество газа регулируют клапаном 7.

Конструкция описанной сушилки создает благоприятные условия для интенсификации сушки. Важно, что

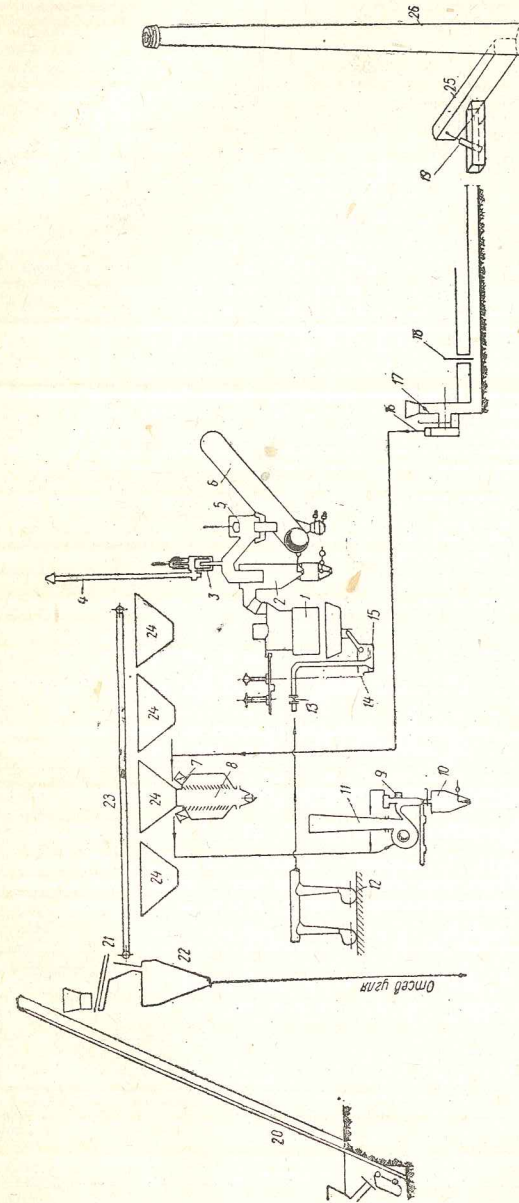


Рис. 7. Принципиальная схема сушки торфа в бункерах газогенераторов: 1—газогенератор; 2—пылеуловитель; 3—гидравлический клапан; 4—свеча газогенератора; 5—гидравлический клапан газогенератора; 6—коллектор газа; 7—дроссель для регулирования подачи газов для сушки; 8—сушильная камера с жалюзи; 9—пылеуловитель; 10—бункер для пыли; 11—вытяжной вентилятор; 12—дутьевые вентиляторы; 13—заливка дутья газогенератора; 14—клапан естественной тяги; 15—гидравлический обратный клапан; 16—вентилятор, подающий газы для сушки; 17—дроссель, регулирующей приток холодного воздуха к газам для сушки; 18—регулирующий шибер; 19—отсекающий шибер; 20—скиповый подъемник для топлива; 21—выбрационный грохот; 22—бункер для отсева; 23—ленточный транспортер; 24—дымовой бор; 25—дымовая труба.

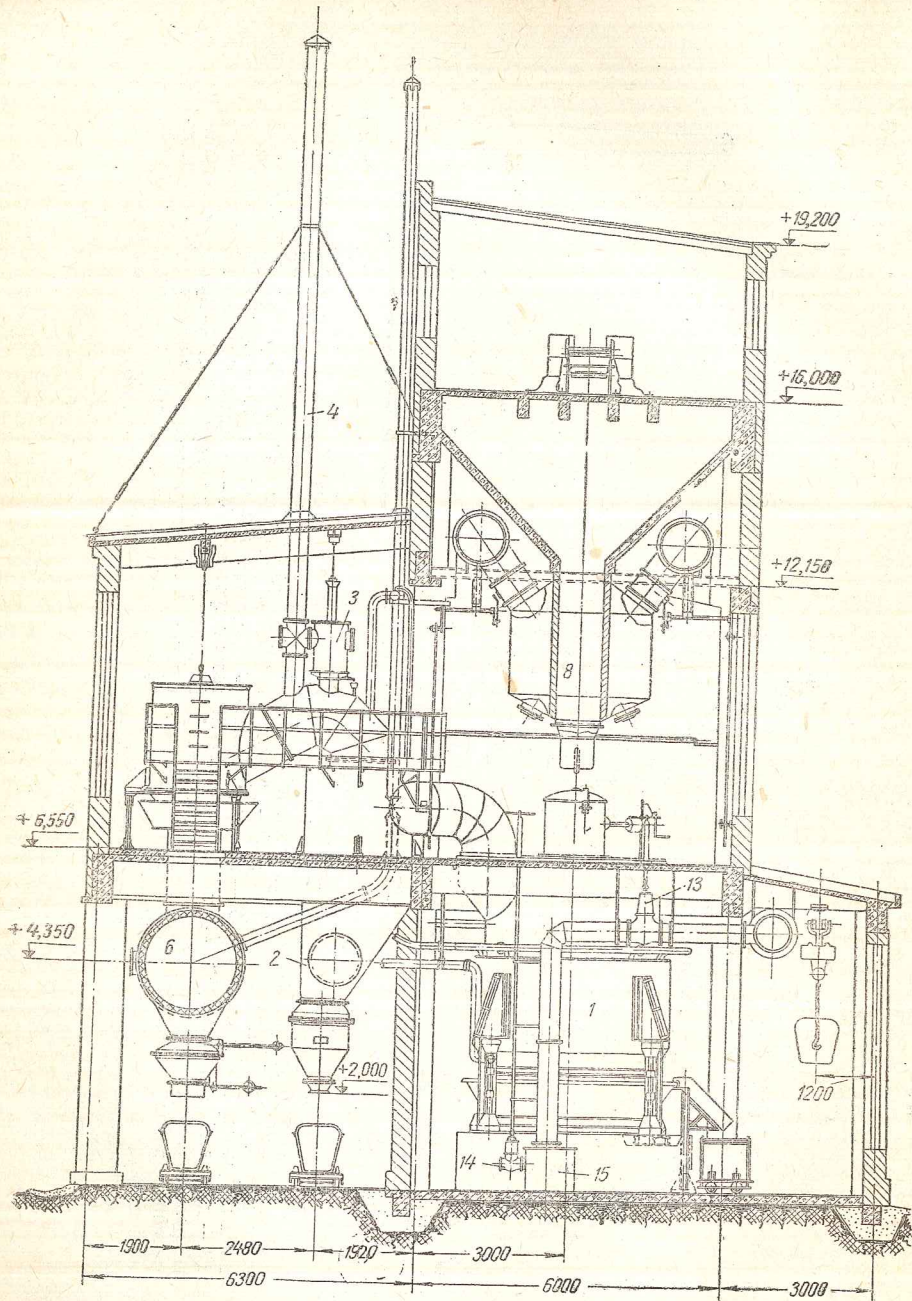
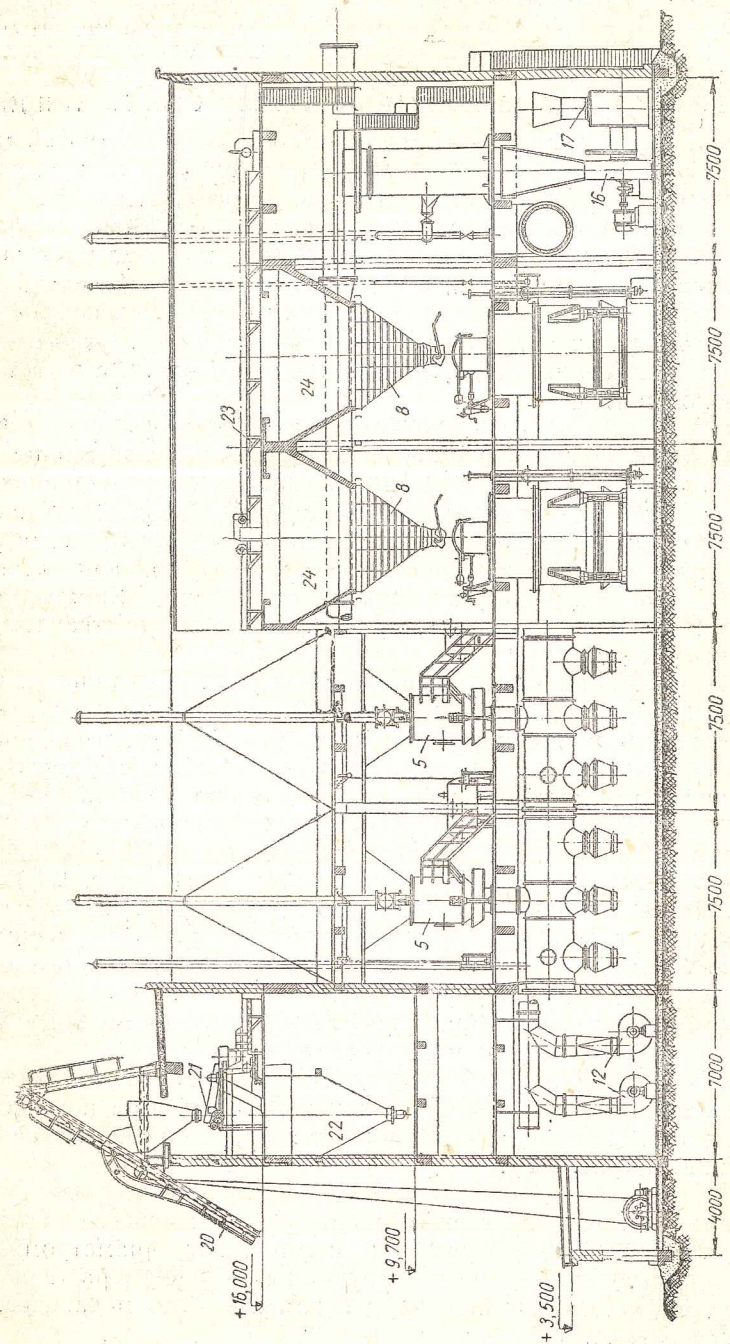


Рис. 8-а



б)

Рис. 8. а и б. Схема установки для сушки торфа в бункерах газогенераторов (обозначения см. в подписи к рис. 7).

с влажностью в 47% может быть подсушена до влажности 25%, при которой газификация протекает успешно, даже при крупных дровах, и теплотворная способность газа достаточно высока.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ НИЗКОСОРТНОГО ТОПЛИВА

Специальная подготовка топлива, связанная с затратой материальных средств и рабочей силы, в ряде случаев нежелательна. Получение отсева уменьшает топливные ресурсы заводов и решающим фактором иногда является не получение наиболее высоких показателей по производительности, а максимальное освоение низкосортного топлива. В таких случаях особенно важно приспособить газогенераторы для получения высоких показателей газификации при загрузке в газогенератор низкосортного топлива с повышенным содержанием мелочи и влаги, с легкоплавкой золой и т. д.

Хотя во всех случаях конструкция газогенератора должна обеспечивать хорошую работу и достаточную механизацию процессов, однако в случае газификации низкосортного топлива могут потребоваться специальные приспособления для улучшения процесса, например, специальные достаточно эффективные загрузочные, выгрузочные и шуровочные устройства для лучшего распределения дугтя по сечению газогенератора. Кроме того, размеры и режим газогенератора должны способствовать его хорошему ходу.

На рис. 9 показаны типовые газогенераторы. Все они снабжены вращающимися решетками для механизированного удаления остатков. Это является обязательным, даже при сравнительно небольшой производительности, так как позволяет поддерживать хороший и равномерный ход газогенератора. Почти все газогенераторы снабжены охлаждающими рубашками, которые уменьшают шлакование и предупреждают приваривание шлака к футеровке газогенератора. Газогенератор [41] (рис. 9-Е) диаметром 1 м ВНИИТа (Восточного научно-исследовательского института топливоиспользования) не имеет рубашки ввиду того, что при малых размерах газогенератора потеря тепла в окружающую среду является большой.

Конструкции газогенераторов 9 А—9 Д разработаны и внедрены Газогенераторстроем и Гипрогазтоппромом.

Газогенераторы со швельшахтой (рис. 9-В) предназначены для хорошей подготовки топлива и получения смол повышенного качества. Швельшахты расширяют сверху в целях уменьшения уноса пыли (рис. 9-Г).

Газогенераторы с автоматическими шуровочными приспособлениями позволяют газифицировать спекающееся топливо. В СССР такие газогенераторы изготовляют диаметром 3 м. Следует выпускать такие конструкции и меньшего размера, как как они облегчают ручной труд и заменяют его механическими приспособлениями.

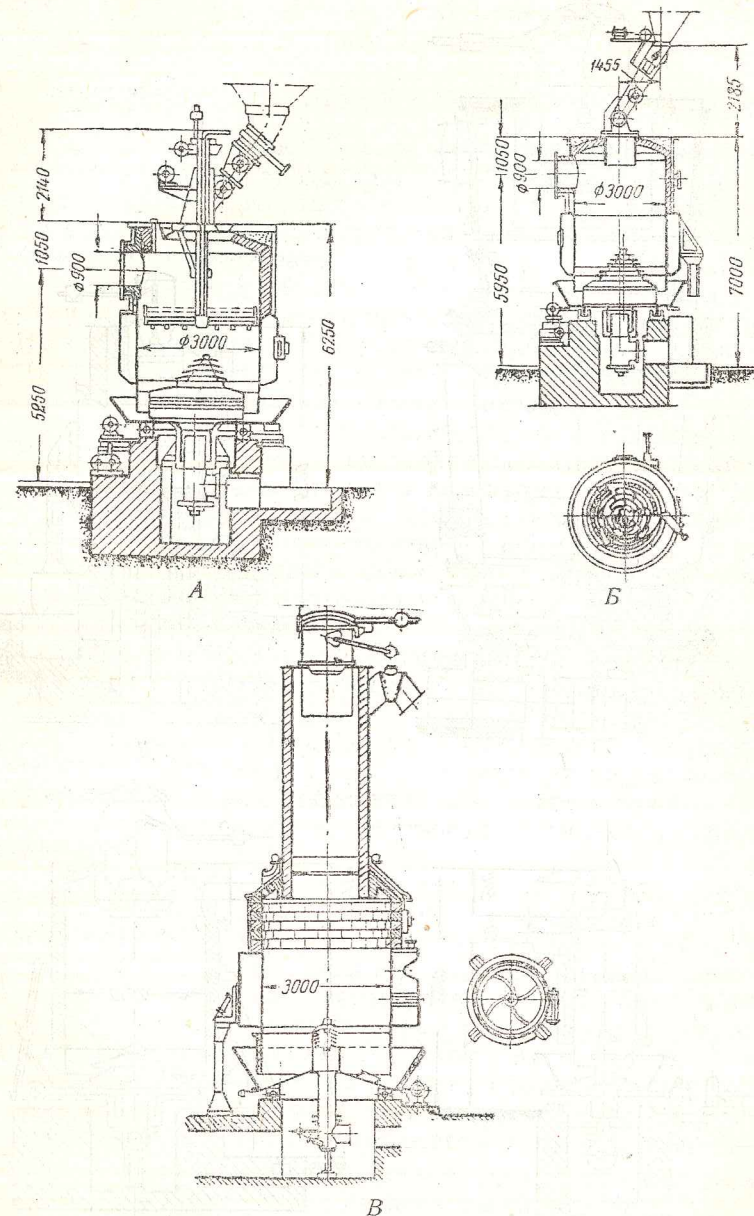


Рис. 9. Схемы газогенераторов: А—с шуровочной мешалкой, двухбарабанным питателем, охлаждающей рубашкой и чешуеобразной решеткой; Б—с двухбарабанным питателем, охлаждающей рубашкой и чешуеобразной решеткой; В—со швельшахтой, охлаждающей рубашкой и центральной фрезерной решеткой;

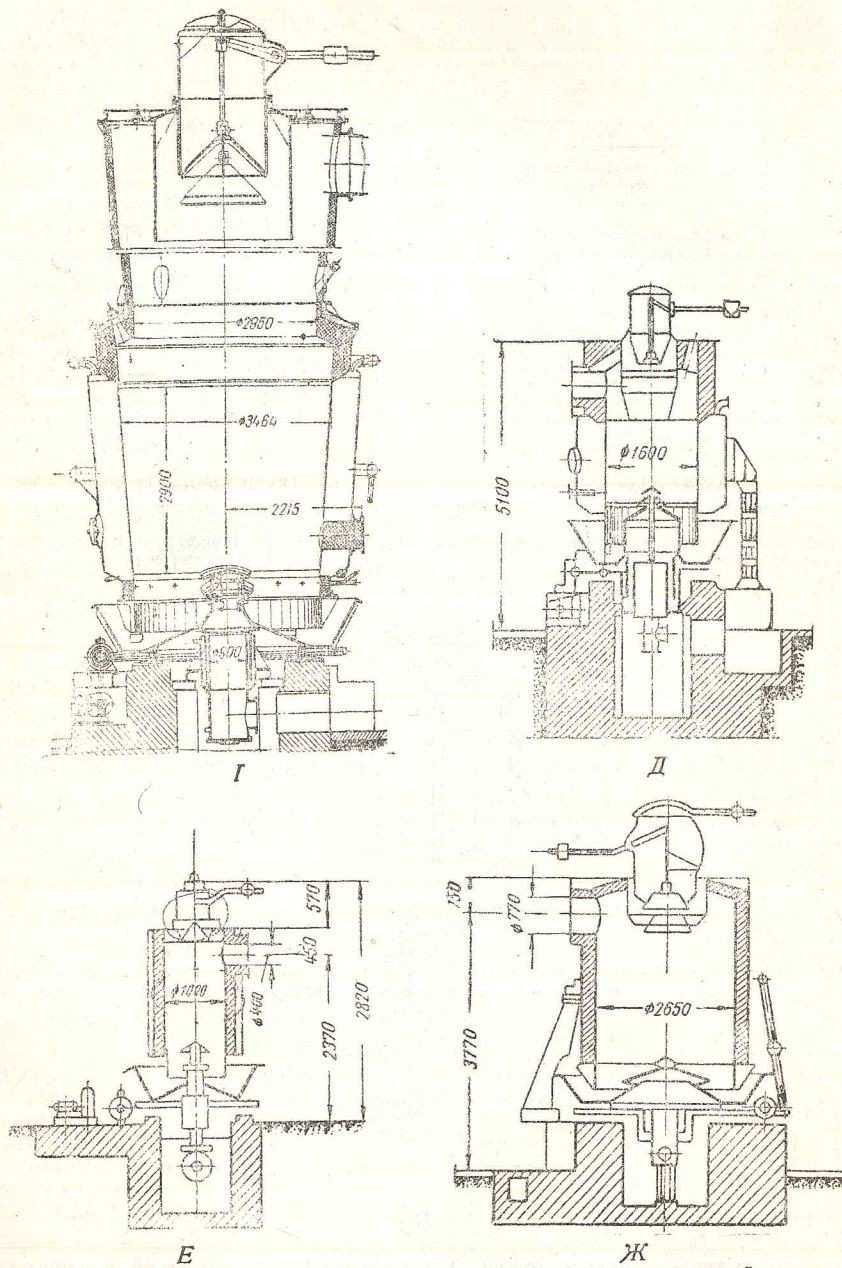


Рис. 9. Схема газогенераторов: Г—с расширяющейся шведшахтой, охлаждающей рубашкой и центральной фрезерной решеткой; Д—с охлаждающей рубашкой и центральной решеткой; Е—с ручной загрузкой; Ж—с решеткой, снабженной дополнительным центральным колосником.

Значительная часть газогенераторов, показанных на рис. 9, оборудована механическими питателями.

Приспособления для загрузки и распределения топлива

К загрузочным приспособлениям, особенно при газификации низкосортного топлива, предъявляют серьезные требования: они должны равномерно распределять топливо по поверхности слоя в газогенераторе и допускать регулирование подачи топлива в различные части газогенератора. Кроме того, эти приспособления должны быть просты в обслуживании, прочны и надежны. Загрузку топлива следует производить в соответствии с его выгоранием (распределением дутья) и удалением остатков.

Эти требования имеют особенное значение при использовании в газогенераторах мелких топлив с неравномерным размером кусков и когда возможен большой унос пыли. Вынос из газогенератора пыли, в основном, определяется наличием в топливе мелочи и отчасти распадом топлива при нагревании.

В последние годы проведены исследования распределения дутья [93] и устойчивости слоя топлива в зависимости от следующих факторов: толщины распределяющего дутья слоя (из кусков равномерного размера), соотношения диаметров решетки и шахты и скорости дутья. Результаты этих исследований могут быть перенесены на условия работы газогенераторов в неполной мере в силу неравномерности размера кусков, толщины и состояния слоя шлака в газогенераторе, а также большого влияния распределения топлива. Практически оказывается возможным управлять распределением топлива при подаче, а не удалением и состоянием шлака в различных участках газогенератора. Тем более важным является усовершенствование загрузочных приспособлений.

При кусковом топливе загрузочные приспособления обычно снабжают распределительным конусом, в известной степени устраняющим недостаток этих устройств, заключающийся в том, что засыпаемое из них в газогенератор топливо сепарируется, а именно, крупные куски топлива откатываются к стенкам, а мелкие остаются ближе к оси газогенератора. В результате сепарации у стен возникают прогары, в средней же части слоя собирается мелкое топливо, лежащее плотным слоем, труднопроницаемым для газов. Этот средний слой часто является причиной удаления большого количества горючего вместе с остатками.

Диаметр распределительного конуса увеличивается с увеличением размеров шахты. Угол наклона равен 45—55°.

В автоматических питателях применение конусов имеет и то преимущество, что они лучше обеспечивают плотность, чем вращающиеся барабаны. Питатели с конусами пригодны и для такого топлива, как древесина и торф. Для этого в нижней части загрузочного аппарата Гипрогазтоппрома (рис. 9-Б) рекомендует-

ся [45] использование приспособления (рис. 10), обеспечивающего подачу угля к периферии газогенератора и возможность направления его, в зависимости от хода газогенератора, на любой участок поверхности слоя топлива. Это приспособление состоит из подвижного конуса и отражательного кольца, установленных взамен предусматриваемой существующей конструкцией «юбки». Положение конуса изменяют посредством шарового шарнира, через который проходит рычаг. Конус уравнивают противовесом. Глубину опускания конуса регулируют рычагом, а движение по горизонтали при нижнем крайнем положении — перемещением рычага по резьбе шарнира.

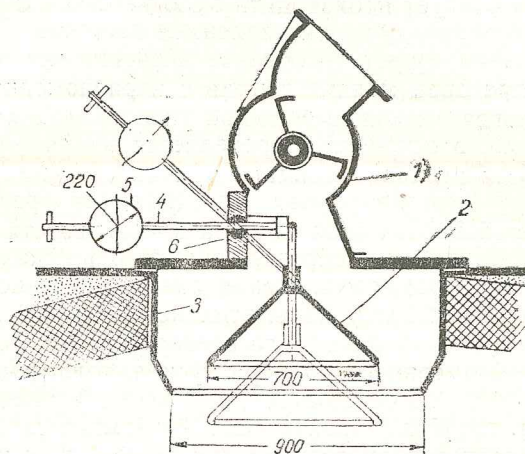


Рис. 10. - Распределитель топлива: 1 — питатель; 2 — распределительный конус; 3 — отражательное кольцо; 4 — рычаг конуса; 5 — противовес; 6 — шаровой шарнир.

В приспособлениях для ручной загрузки распределение топлива регулируют двойными загрузочными конусами и рукавами-распределителями.

Ручная коробка с двойным конусом показана на рис. 11. В этой коробке внешний кольцевой конус охватывает внутренний. При этом возможны два положения внутреннего конуса: ниже или выше внешнего.

Если внутренний конус расположен ниже внешнего, то при его опускании содержимое коробки засыпается преимущественно ближе к середине газогенератора, а остаток топлива может быть засыпан у краев. Подача основной массы топлива у стен и остатка в середине может быть достигнута путем опускания обоих конусов одновременно и последующим подъемом внешнего конуса. При таком устройстве в середину газогенератора топливо почти не попадает, что при очень малом диаметре внутреннего

конуса или устройстве нижнего направляющего кольца не имеет особого значения.

Лучшего распределения топлива можно достичь в том случае, если внутренний конус расположен сверху, а внешний — снизу. Такая схема имеет большое преимущество при несортированном угле с неоднородным размером кусков. В этом случае для того, чтобы внутренний конус можно было поднять при за-
полненной коробке, предусматривается применение специального цилиндрического щитка. Оба конуса могут передвигаться самостоятельно и в любой последовательности и этим устройством может быть при диаметре газогенератора до 2,6 — 3 м достигнуто хорошее распределение засыпки.

Рычаг, на котором висит конус, при опускании его описывает дугу. Конус отклоняется от оси и это отклонение влияет на распределение топлива.

Чтобы избежать перекоса, иногда соединяют конус с рычагом не серьгой, как обычно, а цепью с сегментом или же применяют специальные направляющие для серьги конуса.

Сепарация уменьшается с уменьшением высоты сброса топлива. Некоторые конструкции питателей предусматривают подачу мелкого топлива у стен.

На рис. 12-а показана загрузочная коробка, в которой загрузочный конус снабжен рукавами-распределителями, способствующими засыпке мелкого топлива у стен.

Механический распределитель, показанный на рис. 12-б, представляет собой вращающийся цилиндр, снабженный тремя желобами, засыпающими топливо. Распределитель вращается на роликах с помощью зубчатой передачи. Вращение начинается при подъеме рычага для опускания загрузочного конуса и заканчивается при опускании рычага. Загрузочная коробка вращается вместе с распределителем. Уплотнение достигается с помощью гидравлического затвора.

Из трех желобов распределителя, один, расположенный вертикально, подает топливо в середину слоя, второй обслуживает периферийную часть и третий — промежуточную. Сепарации топлива по размеру кусков не происходит, так как каждый желоб подает топливо в свой участок, нет падения топлива с высоты, а нижние края желобов разравнивают слой и поддерживают постоянную его высоту, несколько большую у стен, чем в середине.

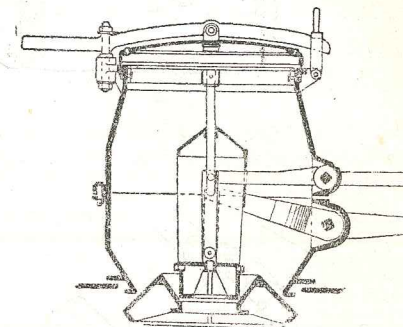


Рис. 11. Загрузочная коробка с нижним двойным конусом.

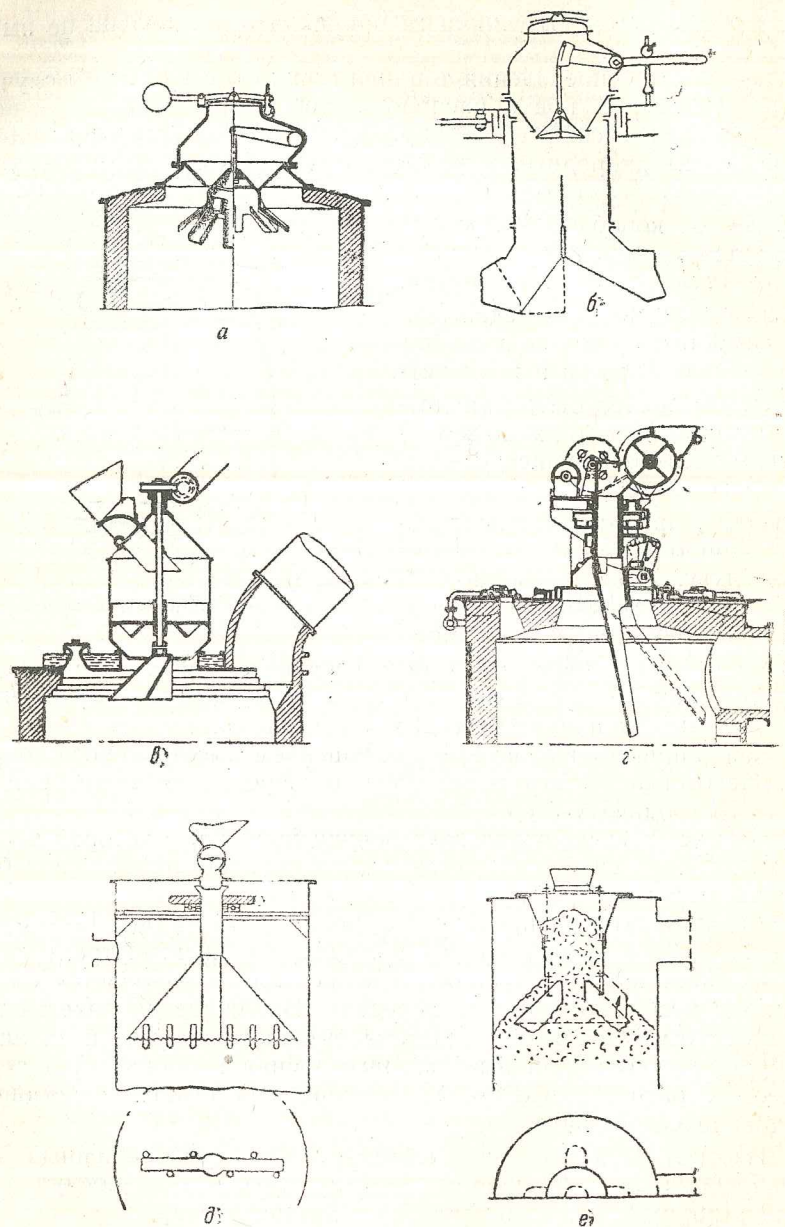


Рис. 12. Загрузочные устройства: а — с конусом и рукавами-распределителями; б — с вращающимся распределителем с желобами; в — с вращающимся распределительным конусом; г — с распределяющим желобом, движущимся по спирали; д — с расширяющейся вращающейся коробкой; е — с рукавами-распределителями.

Другое устройство показано на рис. 12-в. В нем имеется специальный распределитель, при вращении которого топливо распределяется по всему сечению газогенератора, независимо от размера кусков. Привод конуса — от червячной передачи.

Желоб распределителя, показанного на рис. 12-г, при вращении поднимается и опускается. Движение желоба с помощью специальной направляющей шайбы отрегулировано в соответствии с диаметром газогенератора, так что желоб описывает спиральные кривые над всем поперечным сечением газогенератора, обеспечивая засыпку по всему слою топлива. Загрузка топлива на желоб производится автоматически и регулируется с помощью зубчатой передачи.

На рис. 12-д показан вращающийся распределитель в виде расширяющейся узкой открытой снизу коробки, снабженной в нижней части шурующими зубьями. Коробка является продолжением цилиндрической части загрузочной трубы. Опускающееся топливо не подвергается сепарации. Зубья поддерживают равномерность высоты слоя и распределяют топливо по сечению газогенератора.

Распределитель, показанный на рис. 12-е, подает топливо через один рукав в середину слоя и через 4 рукава к периферии. Периферийные рукава расположены крестообразно; между ними образуются проходы для газа. Путем подтягивания или опускания болтов, на которых подвешен распределитель, можно изменить высоту слоя топлива в газогенераторе. Для равномерного распределения газов по сечению газогенератора в распределителе предусмотрен отвод газов по оси газогенератора.

К числу приспособлений, позволяющих избежать при загрузке уноса с газами вздымающейся пыли и поддерживающих постоянный уровень топлива, относятся цилиндры — «юбки», подвешенные к крышке газогенератора (см. рис. 9-В). При неравномерном размере кусков в «юбках» происходит сепарация топлива по размеру кусков.

В газогенераторах со швельшахтами (см. рис. 9-В) юбки удаляют [90], если в промежутке между юбкой и шахтой осаждаются пропитанные смолой пыль и крошка, образующие прочную, с трудом поддающуюся удалению массу. В остающиеся небольшие стверстия газ проходит с большой скоростью и уносит значительное количество пыли. При большом уносе газоотводы ежедневно очищают штангами и гребками, но так как оседающая масса прочна и вязка, то эта тяжелая работа по очистке недостаточно эффективна. Особенно затруднена чистка при большой высоте юбок и малом расстоянии между юбкой и шахтой газогенератора. Удаление юбок позволяет повысить слой топлива на 1—1,5 м. Предположения, что отсутствие этих приспособлений вызовет усиленный унос пыли, не подтверждаются. Из гидравлического затвора газогенератора, не имеющего юбки, удаляется меньше фусов, чем из затвора газогенератора с

юбкой. На практике [90] удаление юбок позволило упразднить тяжелый труд двух рабочих, занимавшихся очисткой юбок, и уменьшить давление газа в швельшахте с 60—100 до 20—40 мм вод. ст., а также уменьшить выбывание газа. Расши-

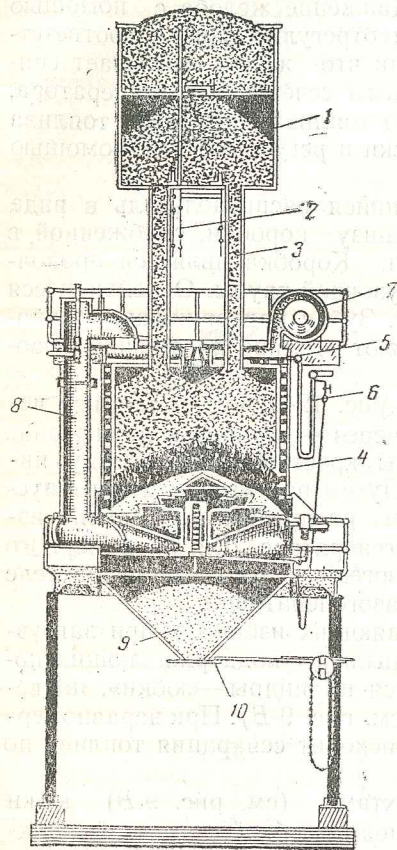


Рис. 13. Газогенератор с распределительными трубами: 1 — бункер с горизонтальной перегородкой; 2 — штанга, указывающая уровень топлива в бункере; 3 — труба, соединяющая бункер с газогенератором; 4 — охлаждающий кожух; 5 — охлаждаемая водой крышка; 6 — сливная труба; 7 — воздушный вентилятор; 8 — воздухопровод к решетке; 9 — зольный бункер; 10 — клапан бункера.

рение швельшахты (см. рис. 9-Г) должно устранить засорение газового пространства у юбки и позволить использовать ее преимущественно.

Путем загрузки топлива через несколько труб небольшого диаметра возможно осуществить равномерное распределение мелкого топлива по сечению и в то же время избежать значительных колебаний высоты слоя в газогенераторе большого диаметра, а также пыления при загрузке. На рис. 13 показан газогенератор диаметром до 4,5 м, используемый для газификации мелких сортов топлива (антрацит с размером кусков 5—15 мм и коксовая мелочь). Газогенератор снабжен бункером, разделенным горизонтальной перегородкой. Нижняя часть бункера сообщается с газогенератором четырьмя стальными трубами, по которым топливо по мере его газификации опускается в газогенератор. Между верхним и нижним отделениями бункера имеется газонепроницаемая дверца.

Подобными же дверцами прикрывают сверху каждую трубу при загрузке топлива в нижнее отделение бункера. Дверцы труб и перегородки заблокированы так, что они не могут быть открыты одновременно. Топливо опускается в газогенератор непрерывно. Высота слоя топлива постоянна и равномерна. Унос пыли мал, сепарации топлива не происхо-

дит. Газогенератор имеет охлаждающую рубашку во всю высоту шахты и соединенную с охлаждаемой водой крышкой, и вращающуюся решетку больших размеров с сухим золоудалением. Под решеткой находится зольный бункер, снабженный клапаном.

На рис. 14-а показан газогенератор с внутренними вставками, примененный автором и С. И. Березовским [40] при необходимости перехода с торфяного на угольные сорта топлива¹. Внутрен-

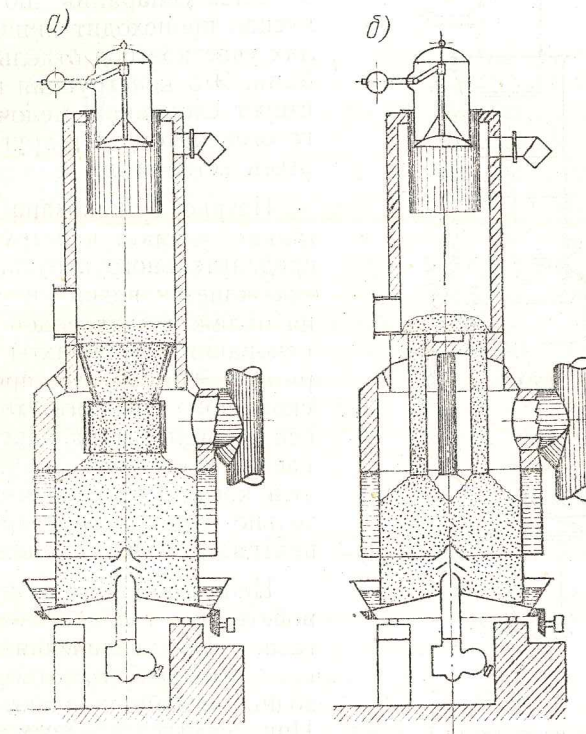


Рис. 14. Газогенератор с внутренними вставками: а — конусом; б — распределительными трубами.

няя вставка в газогенераторе служит для поддержания определенной высоты слоя топлива и распределения топлива по сечению газогенератора. Она полностью отделяет швельшахту от основной шахты, в которой предусмотрен самостоятельный отвод газа. Внутренняя вставка может быть наращена при необходимости изменения высоты слоя топлива.

¹ Впервые подбные вставки в виде очень высокой юбки были применены Энергетическим институтом Академии наук СССР (В. С. Альтшудер и М. П. Родионов) [37].

На рис. 14-б представлен предложенный автором газогенератор с распределительными трубами. Конструкция газогенератора («универсального» по топливу) допускает возможность работы на торфе или древесине с заполненной швельшахтой без распределительных труб, а на углях — с незаполненной швельшахтой и с распределительными трубами. Они препятствуют откатыванию

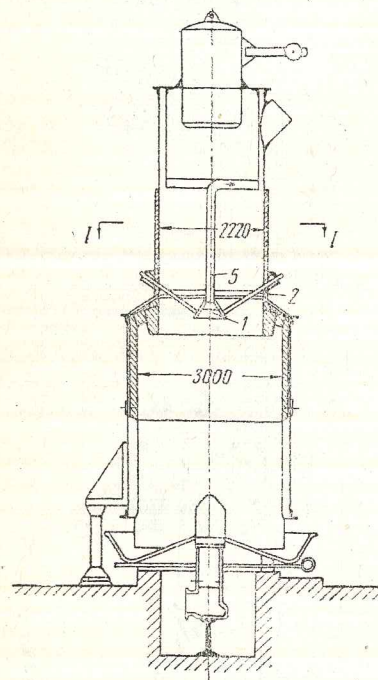


Рис. 15. Газогенератор с распределительным конусом: 1 — конус; 2 — подвески (водопроводные трубы); 3 — подвод воды; 4 — отвод воды; 5 — отвод газа по оси газогенератора.

крупных кусков к периферии и скоплению мелочи по оси. Небольшая сепарация по размеру кусков происходит лишь в пределах участков под отдельными трубами. Эта конструкция не способствует скоплению мелочи по оси газогенератора как другие — с осевыми вставками.

На рис. 15 показана разработанная автором конструкция распределительного конуса, который охлаждается водой и подвешен на охлаждаемых водой трубах у основания швельшахты газогенератора. Этот конус препятствует скоплению мелкого топлива на оси газогенератора. Предусматривается частичный отвод газа по оси конуса, что должно дополнительно уменьшить сопротивление центральной части слоя.

Неплотность загрузочных устройств имеет следствием утечку газа. Для увеличения плотности иногда верхний затвор в загрузочных коробках делают водяным. При самых плотных коробках возможно попадание газа в помещение при открывании верхних клапанов для загрузки топлива, так как при спуске топлива в газогенератор коробка заполняется газом. Обычно для избежания выделения газа подводят пар к загрузочным коробкам в двух местах: под конус и в самую коробку. Во время загрузки топлива из бункера в коробку, т. е. когда открыт верхний затвор, пар пускают под конус коробки и он преду-

преждает поступление газа из газогенератора в коробку. После заполнения коробки топливом и закрытия верхнего клапана выключают подачу пара под конус. Перед загрузкой топлива в газогенератор пускают пар в коробку. Пар заполняет коробку и предупреждает выделение из нее газа при открывании верхнего клапана.

В некоторых питателях смачивают уголь водой: слипание пыли и мелких кусков и прилипание их к крупным кускам уменьшает вынос пыли и сепарацию топлива.

В больших установках водяного газа применяют промежуточный бункер значительной емкости, автоматически питающий газогенератор. В этот бункер топливо из основного бункера загружают каждые 1,5—2 часа. При загрузке он отключается от газогенератора.

Небольшие газогенераторы водяного газа снабжают простым одинарным клапаном. При загрузке, которую производят через каждые час—полтора, газогенератор выключается.

Многие кирпичные газогенераторы прямоугольной формы, работающие на дровах и торфе, снабжены загрузочными коробками, не обеспечивающими плотности. Через них при загрузке топлива, когда верхний клапан открыт, а нижний клапан (языки) закрыт, выделяется много газа в атмосферу. Аналогичные недостатки наблюдаются и при загрузочных коробках с одним клапаном, когда при загрузке газогенератор оказывается совершенно открытым.

Такие загрузочные коробки не должны применяться.

Загрузочная коробка¹ с двойным гидравлическим затвором показана на рис. 16. Стальная, сварная конструкция легко может быть выполнена механическим цехом крупного завода. Она состоит из бункера 1, крышки его 2, замыкающей верхней гидравлический затвор, языка бункера 3, на который загружается топливо при открытом верхнем клапане, и корыта нижнего гидравлического затвора 4 с крышкой 5. Обычно крышка замыкает нижний гидравлический затвор и газогенератор герметично отключен от атмосферы. Рычаг 9 поднимает крышку 2 бункера 1 и в него загружается топливо на язык 3. К языку с боков приварены листы 6, препятствующие просыпанию топливной мелочи с боков. При необходимости загрузки топлива в газогенератор бункер 1 закрывается крышкой 2 и с помощью рычага 7 поднимается крышка нижнего гидравлического затвора. Эта крышка висит на осях роликов 8 и с помощью рычага 7 передвигается в сторону, освобождая место для опускания языка 3 с помощью рычага 10. Усилие, требуемое для передвижения крышки, очень мало. Топливо загружается в газогенератор.

¹ Подобная коробка была впервые разработана И. М. Смирновым и затем усовершенствована С. А. Назаровым, В. Д. Дубнинным и др.

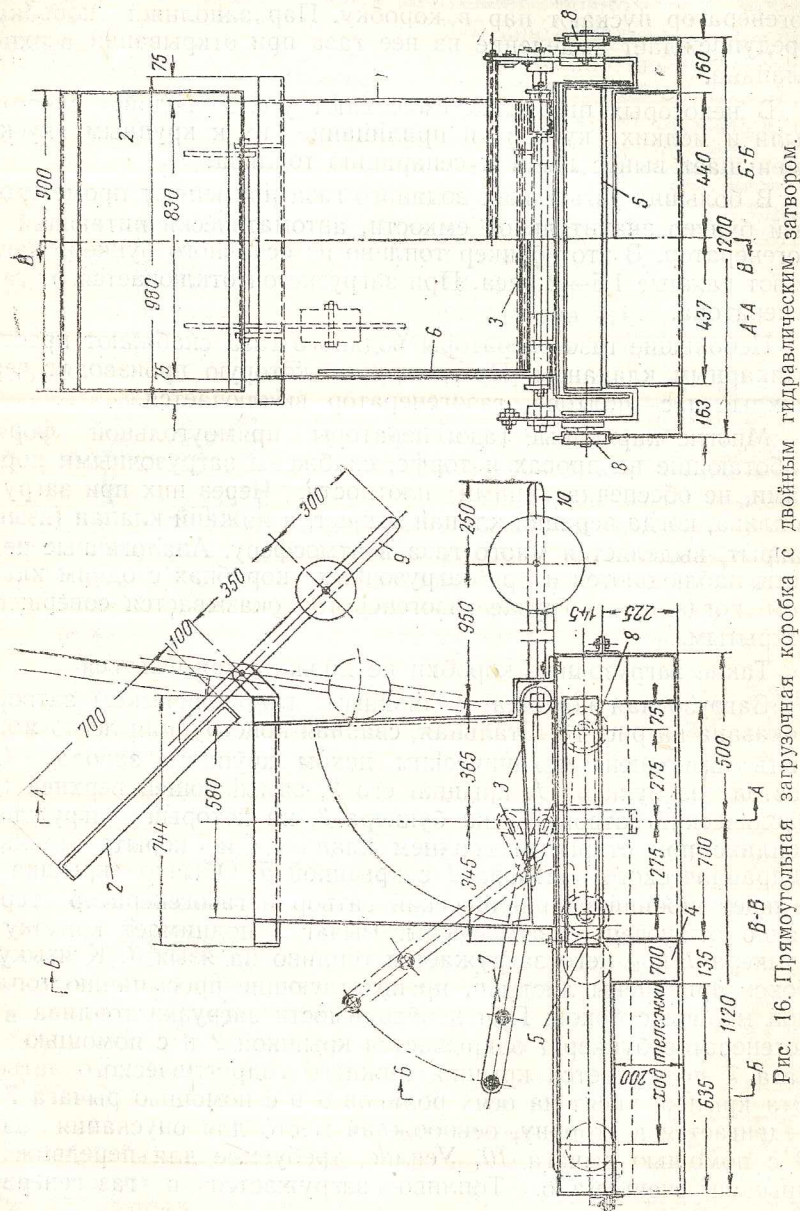


Рис. 16. Прямоугольная загрузочная коробка с двойным гидравлическим затвором.

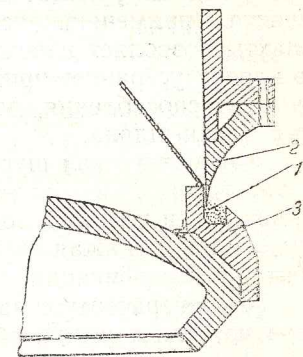


Рис. 17. Схема уплотнения нижнего конуса загрузочной коробки: 1 — гнездо с торфяной крошкой и пылью; 2 — надставная часть корпуса коробки (разъемное кольцо); 3 — надставная часть тарелки (разъемное кольцо).

После загрузки топлива язык поднимается и крышка нижнего гидравлического затвора становится на место. Затем вновь открывается крышка бункера. При этом в атмосферу выделяется газ в объеме одного бункера. Вес коробки со всеми деталями 735 кг.

Конструкция и условия эксплуатации нижнего конусного затвора загрузочных коробок торфяных газогенераторов не обеспечивают равномерного уплотнения, потому что торфяная крошка и смола налипают на рабочую поверхность затвора и образуют неравномерную по толщине корочку. Кроме того, поверхности сравнительно быстро срабатываются и уплотнение нарушается: щель для выпуска пара быстро засоряется и выпуск пара прекращается, даже в случае кратковременного перерыва в подаче пара.

А. П. Александров и Л. Э. Гуревич [91] удачно изменили конструкцию нижнего затвора загрузочной коробки с нижним конусом (рис. 17) торфяного газогенератора. На клапане-тарелке предусмотрено гнездо-паз для укладки «мягкой набивки» из мельчайшей торфокрошки, которая неизбежно будет засыпаться и заполнять гнездо при опускании нижнего затвора с торфом. Нижняя часть загрузочной коробки делается острой. Угол сброса торфа с конуса увеличивается с $40-45^\circ$ до $53-55^\circ$. При подтягивании нижнего затвора в гнездо с «мягкой набивкой» врезается острие корпуса загрузочной коробки и плотно отделяет шахту газогенератора от загрузочной коробки.

При использовании этой конструкции отпадает необходимость в применении нижнего парового отбоя, требуется лишь периодический ввод пара в загрузочную коробку (перед открытием верхнего затвора) для вытеснения остающегося в ней газа. Применение указанной конструкции позволяет сократить время, необходимое на ремонт затвора, устраняет трудоемкую операцию припиловки нижнего затвора и значительно снижает потери газа через загрузочную коробку.

Для направления топлива в определенные участки газогенератора в загрузочные коробки иногда вкладывают специальные направляющие щитки.

Механические шуровочные приспособления

При газификации низкосортного топлива одной из самых тяжелых работ является ручная шуровка, которая создает благоприятные условия для равномерного распределения газов: устраняет прогары, разрушает комья спекшегося топлива и шлака и разравнивает топливо. Ручную шуровку заменяют механической.

Для предупреждения выбивания газов при шуровке применяют паровые или воздушные затворы.

Дробление шлаков осуществляют как вручную, так и с помощью вращающихся решеток. Его можно также производить механическими приспособлениями, управляемыми вручную.

Разрушение спекшихся кусков топлива, разравнивание слоя и заделывание прогаров в верхней части слоя производится с помощью автоматических шуровочных приспособлений—ломов и мешалок. Шурующее действие оказывает также вращающаяся шахта, применяющаяся в некоторых конструкциях. Вращение шахты позволяет избежать образования прогаров у стен. Трение о кладку устраняет приваривание к ней золы и шлака. Шуровочные приспособления, достигающие зоны шлака, разрушают также комья шлака.

Автоматическая шуровка имеет также то значение, что благодаря трению, возникающему между кусками топлива и между топливом и кладкой, зола, образующаяся на поверхности кусков, удаляется, обнажая свежую поверхность, что способствует более быстрой газификации.

Газогенераторы с автоматической шуровкой слоя используют при каменных углях, обладающих способностью спекаться.

Механическая шуровка с помощью штанг, управляемых вручную, дает возможность вести шуровку в любой части слоя топлива и применяется при всех видах топлива. Подобные приспособления имеют особенное значение в газогенераторах больших размеров. Обычно шуровочная штанга приводится в движение сжатым воздухом.

Приспособления для удаления остатков и подачи дутья

Как уже отмечалось, в газогенераторах обычного типа должна применяться вращающаяся решетка, механически ломающая и удаляющая остатки и обеспечивающая равномерный ход газогенератора.

Конструкция вращающейся решетки имеет большое значение. Из распространенных конструкций можно отметить следующие: с чешуеобразными колосниками (см. рис. 9А), с секционной подачей дутья (отдельно по оси и отдельно к периферии газогенератора), и фрезерного типа с центральной подачей дутья (см. рис. 9В).

Ломающее действие решетки с чешуеобразными колосниками более сильное, чем других, однако она подает дутье рассредото-

чно и поэтому при большой интенсивности работы не обеспечивает требуемого распределения дутья по сечению газогенератора, вследствие чего наблюдаются периферийные прогары. Для устранения их два-три нижние колосника заменяют одним глухим, не подающим дутья. Вообще же газогенераторы с такой решеткой могут успешно работать только с относительно пониженной интенсивностью по периферии газогенератора, что может быть достигнуто за счет увеличения сопротивления слоя топлива на периферии.

Секционная решетка позволяет регулировать давление дутья и добавку пара к нему как в центре, так и на периферии газогенератора. Головка решетки расположена эксцентрически по отношению к оси газогенератора, что способствует разрушению шлака при вращении решетки. Большие куски шлака, опустившиеся вниз, раздавливаются основанием решетки, прижимающим их к фартуку.

Во многих случаях подвод дутья по всему сечению газогенератора является нежелательным. Наибольшее сопротивление движению газов наблюдается по оси газогенератора, следовательно, при подаче дутья в центре газогенератора (центральные решетки) оно распределяется по сечению надлежащим образом. При мелком топливе и большом диаметре газогенератора решетки должны иметь достаточно большие размеры для того, чтобы дутье могло поступать и к периферийной части слоя, также имеющей в этом случае большое сопротивление. При центральной подаче дутья отношение диаметров решетки и шахты газогенератора обычно меньше 0,25.

Преимущества центральной решетки над другими конструкциями решеток установлены для газогенераторов диаметром 3 м, работающих на торфе и древесине, а для газогенераторов диаметром 2,6 м—для всякого топлива. Обычно центральная фрезерная решетка состоит из 5 колосников, что вызывает необходимость в высоком уровне шлаковой подушки (высота колосниковой решетки 700—800 мм). При этом наблюдается сход шлака с чепца и его оплавление с последующим разрушением всей колосниковой решетки. По предложению А. И. Блохина [91] вместо 5 устанавливают 2—3 кольца с общей высотой 500—600 мм. Снижение высоты колосниковой решетки позволяет увеличить полезный объем шахты газогенератора за счет снижения высоты шлаковой подушки и в то же время обеспечивает надежную защиту верхнего колосника от воздействия высоких температур. Срок службы колосниковой решетки увеличивается.

Изменение конструкции среднего колосника дает возможность усиливать подачу воздуха по оси шахты газогенератора и выравнивать зону максимальной температуры.

Существуют и другие колосниковые решетки, также заслуживающие внимания, так как они имеют некоторые более совершенные элементы.

В газогенераторах с автоматическим шнурящим топливо до- мсм и вращающейся шахтой решетка периодически включается и выключается, что способствует поддержанию шлака в разрых- ленном и легко пронизываемом газами состоянии.

Некоторые решетки (рис. 18) допускают изменение на хоу раскрытия дутьевой щели, что является очень важным элементом

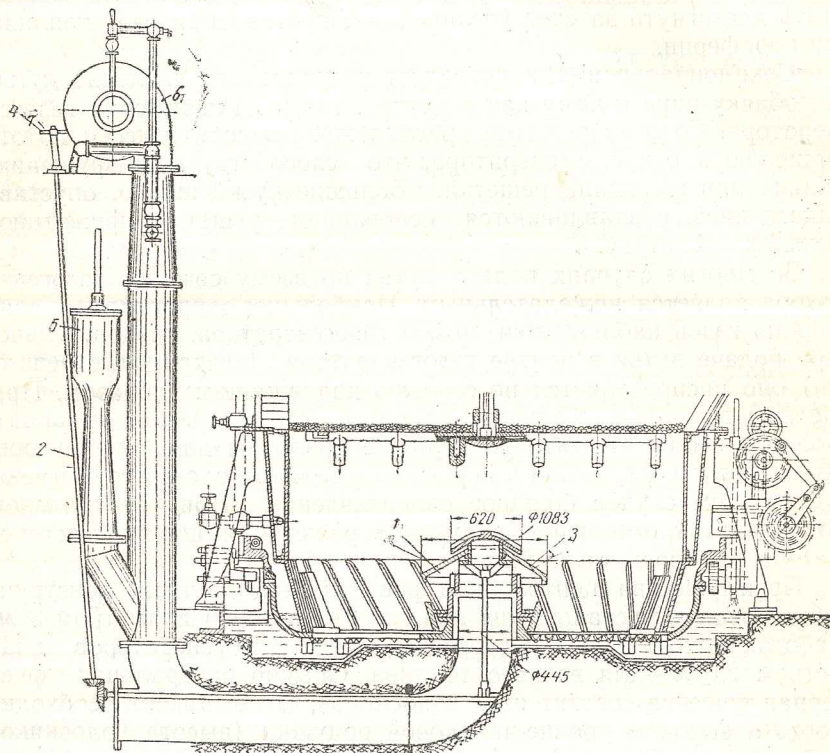


Рис. 18. Колосниковая решетка с регулируемой межколосниковой щелью: 1—регулируемая щель; 2—штоки для изменения положения колосника 3; 3—верхний колосник; 4—штурвал для изменения положения колос- ника 3; 5—паровой инжектор 6—воздушный вентилятор.

регулирования распределения дутья. Предложены решетки, ко- торые позволяют регулировать удаление шлака по сечению газо- генератора.

В решетках высокого давления дутье распределяется по сече- нию газогенератора многочисленными мелкими отверстиями диа- метром 6 и 10 мм. Чем больше сопротивление распределительных отверстий по сравнению с сопротивлением слоя топлива, тем рав- номернее распределяются газы, т. е. чем больше сопротивление решетки, тем меньшее значение имеет неравномерность сопротив- ления слоя топлива в отдельных частях. Применение таких ре-

шеток в сочетании со специальными устройствами для распреде- ления топлива по сечению газогенератора может дать значитель- ный эффект при газификации мелких топлив с большим содержа- нием пыли. Давление дутья при таких решетках должно быть высоким.

В существующих конструкциях иногда применяют колоснико- вую решетку, состоящую из двух частей: нижней конической коробки и головки-звездочки. Решетка расположена центрально. Воздух поступает в газо- генератор через большую горизонтальную щель меж- ду колосниками. По ис- следованиям Н. Н. Доброхотова при этих ре- шетках воздух устрем- ляется преимущественно к стенкам, поднимая у последних уровень раска- ленной зоны, сниженной над головкой. Распреде- ление дутья в этих решет- ках было улучшено Н. Н. Доброхотовым путем до- полнительной установки центрального колосника малого диаметра (см. рис. 9-Ж).

При значительном уве- личении производи- тельности газогене- раторов или пере- ходе на более мел- кое топливо требу- ется повышение да- вления дутья вы- ше пределов, до- пускаемых чашей вращающихся ре- шеток [40]. В таких слу- чаях наращивают нижние колосники ре- шетки, чтобы предупредить утечку воды.

По мере работы газогене- ратора внутренняя по- верхность шлаковой чаши отшлифовывается, при этом шлак вследствие значительного уменьшения коэффициента трения часто переваливается за борт чаши, не доходя до ножа. Для улучшения подачи шлака к ножу на внутренней поверхности шла-

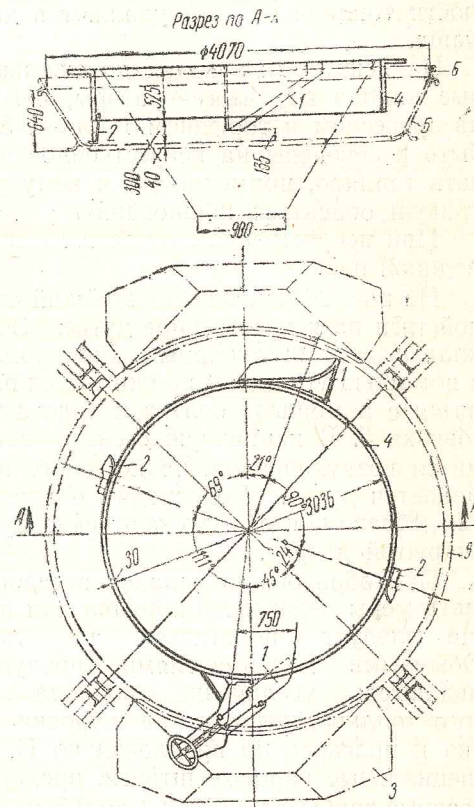


Рис. 19. Элементы для удаления остатков: 1—ножи золоудаления; 2—подрезные но- жи; 3—копильник; 4—фартук; 5—ча- ша; 6—уголок для повышения уровня воды.

ковой чаши приваривают [45] стальные пластины толщиной 20 мм и шириной 250 мм, расположенные на равном расстоянии, причем на поверхности пластин наплавляют под углом ребра высотой 10—15 мм.

Целесообразно устанавливать у вращающихся чаш «копильники», в которые поступают зола и шлак при вращении чаш. Зола и шлак в любой момент могут быть полностью спущены из копильника в транспортное приспособление для их удаления. При большой производительности газогенератора или большой зольности топлива остатки удаляют в двух и даже трех участках чаши.

На некоторых заводах до сих пор сохранились прямоугольные кирпичные газогенераторы, работающие с естественной тягой на древесном и торфяном топливе. Эти газогенераторы должны быть переведены на искусственное дутье, что позволит измельчать топливо, примешивать к нему уголь, а также в меньшей степени опасаться шлакования.

При искусственном дутье в газогенератор может вводиться и водяной пар.

На рис. 20 показан простейший способ перехода с естественной тяги на искусственное дутье. Зольник 1 газогенератора закладывается огнеупорным кирпичом. К образующейся стенке с помощью уголков 4 прижимается плита дверки 3. Уголки 4 крепятся с помощью болтов к полосам, приваренным к стойкам обвязки 5. В кирпичную стенку, закрывающую зольник, вводится воздухопровод, по которому в зольниковое пространство подается дутье. Колосники расположены в газогенераторе таким образом, что допускают сквозную очистку от шлака при открытой дверце.

При образовании шлаков в газогенераторах следует принимать меры режимного порядка для предупреждения шлакования. Не следует полагаться на ломку шлака решетками. Обычными мероприятиями, предупреждающими шлакование, являются: увеличение подвода пара, добавление влажного топлива, интенсивная шуровка. Для ликвидации шлакования и прогаров по предложению П. А. Орлова [91] применены специальные паровые штанги, представляющие собой обычные газовые трубы длиной от 4 до 2,5 м, диаметром 12—18 мм, с отверстием в 4—5 мм в нижней части. Паровая штанга ставится через шуровочное отверстие непосредственно в очаг шлакования.

Применение паровых штанг в процессе эксплуатации генераторов позволяет быстро разрушить очаги шлакообразования в начальной стадии, легко ликвидировать местные прогары и перекос зон и является также незаменимым средством предотвращения схватывания шлака с футеровкой выше водяной рубашки.

При отсутствии парового котла в газогенератор можно вводить дымовые газы печей, например, стекловаренных. Эти газы забираются вентилятором из борова. Такой метод с успехом при-

меняется по предложению Н. Н. Доброхотова на Бучанском стекольном заводе [92] при газификации торфа с легкоплавкой золой. Дымовые газы с температурой 280° дымососом подаются в канал, где испаряют воду, поступающую в стальные корыта. Дутьевой вентилятор засасывает увлажненные газы с темпера-

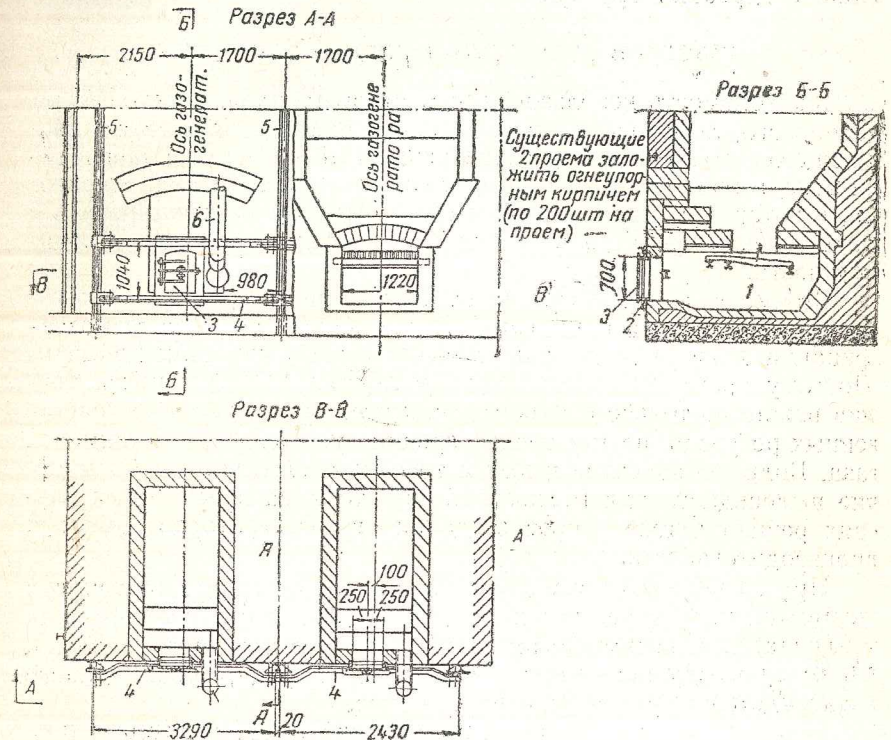


Рис. 20. Схема уплотнения зольника газогенератора с естественной тягой: 1 — зольник; 2 — плита дверки; 3 — дверка; 4 — упорный уголок; 5 — стойка обвязки.

турой в 100°, и воздух подает смесь этих газов (температура 30°) в газогенератор.

Распределение дутья и сход шлака часто изучают при «холодном» испытании, засыпав на решетку слой шлака или кирпичного щебня и угля. Изменение интенсивности работы газогенераторов при постоянных свойствах слоя не сказывается на распределении дутья [93], что подтверждается исследованиями Б. В. Канторовича и О. А. Цухановой.

Увеличение толщины шлаковой подушки практически не улучшает распределения дутья, несмотря на увеличение сопротивления распределяющего дутья слоя. Это объясняется неравномерностью толщины шлаковой подушки у колосниковой решетки и размеров кусков шлака. Большое значение имеет форма шла-

ковой подушки—предпочтительнее выпуклая. Неравномерность толщины слоя шлака отчасти связана с накоплением шлака у выгребного ножа. Установка помимо выгребных ножей также и отгребających (см. рис. 19) способствует равномерному расположению шлакового слоя. В случае сильного роста шлака у стен, шлак подгребают вручную.

ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ МЕЛКОГО ТОПЛИВА

Необходимость использования местного топлива, часто весьма непрочного, легко выветривающегося и распадающегося, а также дающего после сухой перегонки непрочный, легко распадающийся кокс, выдвинула проблему создания такого типа газогенератора, в котором мелкое топливо можно было бы газифицировать с достаточным эффектом в отношении качества газа и производительности.

Стоимость топлива составляет весьма значительную часть себестоимости газа, и применение менее ценного топлива для газификации должно дать значительный экономический эффект. Поэтому проблема использования мелких распадающихся топлив важна не только с точки зрения увеличения народнохозяйственных ресурсов, но и с точки зрения удешевления стоимости газа. Большое значение имеет и то обстоятельство, что применение пылевидного или мелкозернистого топлива в некоторых случаях решает также вопрос создания газогенераторов высокой производительности.

При газификации пылевидного или мелкозернистого топлива возможно получение тех же видов газов, что и при обычных топливах, т. е. возможна их газификация с помощью воздуха, пара, паровоздушной смеси, чистого кислорода, обогащенного кислородом воздуха и углекислого газа.

Газификация мелкозернистого топлива имеет некоторые преимущества по сравнению с газификацией пылевидного. Мелкозернистое топливо позволяет, без опасения уноса частиц топлива газами, применять более высокую интенсивность дутья: увеличивается путь и продолжительность движения более мелких частиц топлива, уносимых газом. Возможно использование отбросных топлив без их дополнительного размола, являющегося дорогостоящей операцией.

Из газогенераторов для газификации мелкозернистого топлива наибольшее распространение получили газогенераторы «с кипящим» слоем. В них дутье подается со значительной интенсивностью снизу через большое количество мелких отверстий, распределяется равномерно по сечению газогенератора и приводит весь слой топлива высотой 0,3—1,5 м в движение, напоминающее движение кипящей жидкости. Кусочки угля интенсивно выделяют газы и омываются газовой средой; они легко перемешиваются и то выбрасываются вверх, то падают вниз, способствуя выравни-

ванию температуры слоя. Для газификации применяют топливо с размером зерна до 10 мм (см. главу I).

В кипящем слое зоны подсушки, сухой перегонки и газификации совмещены. Каждая частица свежего топлива попадает сразу в раскаленный слой. Поэтому высокая влажность топлива неблагоприятно отражается на процессе; влажность не должна превышать 10—15%. При использовании топлива с более высоким содержанием влаги требуется его искусственная сушка.

Выделяющиеся при температуре слоя 900—1000° летучие вещества полностью разлагаются. Вследствие необходимости газификации пыли, уносимой в большом количестве, шахта газогенератора в верхней части имеет большое сечение и большую высоту и туда подводится вторичное дутье.

Для газификации в кипящем слое наиболее пригодны молодые активные виды топлива (особенно бурые угли).

К. п. д. газогенератора с кипящим слоем на 15—20% превышает к. п. д. газогенератора водяного газа.

Производительность газогенератора с кипящим слоем может быть практически любая.

Большие перспективы сулит разработанная и испытанная в СССР конструкция газогенератора для газификации топлива во взвешенном состоянии, допускающая использование топлива с высоким содержанием влаги.

В этих газогенераторах топливо с размером частиц 0—6 мм газифицируется в основном в конической части шахты, в которой оно находится во взвешенном состоянии. В зависимости от размера частиц это состояние устанавливается в различных горизонтах конической шахты. Очень малые частицы газифицируются в цилиндрической части шахты, расположенной над конической частью. Топливо поступает в газогенератор через тарельчатое сушильное устройство, расположенное в верхней части шахты.

Летучие вещества, выделяющиеся из топлива в большом количестве, в основном разлагаются. При паровоздушном или воздушном дутье получается газ с пониженной теплотворной способностью—1000—1200 ккал/м³. Нагрев дутья позволяет улучшить качество газа.

К. п. д. газификации во взвешенном слое 55—65%. Стоимость газа и величина капиталовложений меньше, чем при газостанциях, работающих на кусковом топливе.

Имеются практически опробованные предложения по газификации пылевидного топлива в пылегазовом потоке. Топливо перед этим подвергается подсушке за счет тепла нагрева генераторного газа.

Газогенератор с кипящим слоем

Схема установки газогенератора с кипящим слоем [2, 96] показана на рис. 21. Он работает на подсушенной бурогоугольной ме-

лочи с влажностью 10—15% или на буроугольном коксе. Топливо с размером кусков 0—3 или 0—5 мм пневматическим транспортером подается в бункер. Над крышкой бункера расположе-

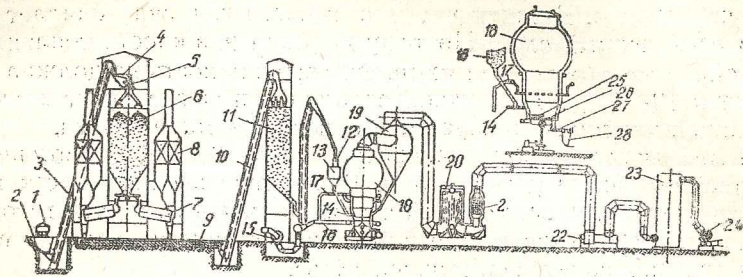


Рис. 21. Газогенераторная установка с кипящим слоем; 1 — железнодорожный вагон с топливом; 2 — приемный бункер; 3 — элеватор; 4 — грохот; 5 — дробилка; 6 — бункер для сырого бурого угля; 7 — барабанная сушилка; 8 — фильтр; 9 — транспортный шнек; 10 — элеватор; 11 — бункер для сухого бурого угля; 12 — весы; 13 — вспомогательный бункер; 14 — шнек для подачи топлива в газогенератор; 15 — воздушный вентилятор; 16 — подвод воздуха в нижнюю часть газогенератора; 17 — подвод воздуха в верхнюю часть газогенератора; 18 — газогенератор; 19 — пылеуловитель; 20 — котел-утилизатор; 21 — экономайзер; 22 — гидравлический затвор; 23 — холодильник; 24 — дезинтегратор; 25 — брус-золуудалитель; 26 — неподвижная горизонтальная решетка; 27 — шнек для удаления золы и шлака; 28 — зольный карман.

ны циклонные пылеуловители, из которых транспортирующая уголь газовая среда после отделения пыли удаляется в атмосферу.

Из бункера топливо шнеками подается в газогенератор, который в верхней части имеет шаровую или цилиндрическую форму и больший диаметр, чем в нижней, что способствует выделению из газа пыли. Нижняя часть шахты также цилиндрическая, но меньшего диаметра, и у колосниковой решетки имеет вид конуса. Шахта выполнена из листовой стали толщиной 10 мм и снабжена огнеупорной футеровкой и теплоизоляционным слоем, общей толщиной в 440 мм.

Колосниковая решетка газогенератора состоит из плоских колосников — пластин толщиной 70 или 105 мм, поставленных на ребро. Ширина прозора между пластинами 5 мм, т. е. живое сечение решетки составляет 5—6%.

Дутье в нижнюю часть газогенератора подводится через камеру, расположенную под колосниками. Давление дутья 2000—2300 мм вод. ст. Скорость его, считая на полное сечение нижней части шахты, составляет 2—3 м/сек. При этом наступает состояние «кипения». Толщина слоя угля в состоянии покоя 0,5 м, а при кипении доходит до 1 м.

Уносимая из слоя пыль газифицируется в верхней части за счет вторичного дутья, подаваемого через сопла на высоте 5—

5,5 м от колосников. Количество вторичного дутья составляет 15—25% суммарного.

С газом из газогенератора выносятся некоторое количество угольной пыли и основная часть золы. Они выделяются в циклонном пылеуловителе и возвращаются в газогенератор или удаляются в специальный приемник. Осевшая на колосниках зола сбрасывается вращающимся брусом в зольные карманы и из них шнеками подается в периодически опоражниваемые зольные бункеры.

Производительность газогенератора очень высока и составляет при диаметре колосниковой решетки 3,6 м на чисто воздушном дутье более 60 000 и на паровоздушном — 40 000 м³/час.

Вследствие перемешивания слоя температура его по высоте равномерна и невысока — 900—1000°. Шлакования не наблюдается и, следовательно, нет нарушения равномерности распределения дутья — основного фактора, влияющего на состояние слоя.

Получаемый газ не содержит смол и тяжелых углеводородов. Количество тепла, уносимого из газогенератора газами, велико вследствие их высокой температуры — 850—950°. По указанным причинам теплотворная способность получаемого воздушного газа является низкой и составляет около 1000 ккал/м³. При парокислородном дутье теплотворная способность газа составляет 2000—2100 ккал/м³.

Значительное количество пыли уносится с газами из пылеуловителя. Баланс углерода при газификации буроугольного кокса следующей: переходит в газ 70—76%, с уносом — 22—28%, с остатками 1—4%. При зольности полукокса 25% зольность уноса составляет 55—60%. С газом уносится 94—95% всей золы. Для уменьшения уноса пыль из топлива следует предварительно отсеивать.

Из пылеуловителя генераторный газ, содержащий значительное количество пыли, поступает в котел-утилизатор и далее в водяной экономайзер, где используется его тепло нагрева. Износ котла и экономайзера очень велик вследствие истирания их пылью, содержащейся в газе. Газ по выходе из экономайзера с температурой 170—180° поступает в мультициклон и далее через гидравлический затвор в скруббер, а затем дезинтегратором, очищаящим его до содержания пыли в 0,004—0,005 г/м³, через каплеуловитель подается в газгольдер. Пыль, выделенная в мультициклоне, подается в котельную и сжигается в топках паровых котлов. В котле-утилизаторе получается пар с давлением более 20 ат. Он перегревается до 260°. Производительность котла 0,6—0,7 т пара на 1000 м³ получаемого газа.

Газ используется в двигателях внутреннего сгорания или для нужд обогрева.

В табл. 16 приведены некоторые данные по газификации подмосковного угля в кипящем слое согласно опытам Института азо-

Показатели работы газогенераторов с кипящим слоем

Наименование показателей	Единица измерения	Подмосковный уголь	Буроугольный полукокс	
Топливо:				
влажность (W^p)	%	10,5	2	
зольность (A^p)	%	25,6	24,4	
теплотворная способность (Q_d)	ккал/кг	—	6000	
размер кусков	мм	0—10	0—3	
Интенсивность газификации:				
по решетке	кг/м ² час	—	3000	
по шахте	н.м ³ /м ³ час	—	100—130	
Кислорода в сухом дутье	%	59,8	98	21
Расход пара	кг/кг	0,39	0,5	—
Расход кислорода	н.м ³ /кг	—	0,37	—
Выход сухого газа	н.м ³ /кг	1,37	1,74	3,2
Влажность газа	г/н.м ³	318	—	—
Температура газа	град.	1000	900	900
Состав газа:				
CO ₂	%	20,80	25,2	9,0
H ₂ S	%	0,80	0,7	0,15
O ₂	%	0,10	—	—
CO	%	29,35	29,1	24,0
H ₂	%	30,00	43,7	10,0
CH ₄	%	0,15	0,9	0,3
N ₂	%	18,80	0,4	56,55
Нижняя теплотворная способность газа	ккал/н.м ³	1753	2085	1017

та [4]. Уголь подсушивался. Унос не возвращался в газогенератор.

Содержание углерода в провале составляло 6,3% и в уносе 28,9%, количество уноса 117 г на 1 н.м³ влажного газа. 15—18% дутья подавалось в верхнюю часть шахты. Расходные статьи теплового баланса: потенциальное тепло газа—60,5%; теплота нагрева газа 18,9%; потеря в провале и уносе 16,45%; потеря в окружающей среде 4,15%.

По газификации буроугольного полукокса на парокислородном дутье (см. табл. 16) имеются дополнительные данные [2,94]. Выход уноса 37,8%; содержание в уносе углерода 39,3%; выход остатков 2,1%; содержание в остатках углерода 38,5%. Тепловой баланс газогенератора в расчете по верхнему пределу: потенциальное тепло топлива 88,2%; теплота нагрева дутья 11,8%, потенциальное тепло газа 58,8%; теплота нагрева сухого газа 9,2% и влаги уноса 17,9%; потенциальное тепло остатков 1,0%; потери в окружающую среду 3,1%; к. п. д. газификации 67%.

Следует отметить успешную опытную газификацию в газогенераторе с кипящим слоем лисичанских углей.

Газогенераторы с кипящим слоем могут быть использованы также в качестве топок для антрацитовых штыбов. В этом случае не требуется помола штыба [123].

Газогенератор со взвешенным слоем

Институтом газа и жидкого топлива (ВНИГИ) разработана [1, 95] конструкция газогенератора для газификации мелкозернистого топлива во взвешенном слое, совмещенным с углегазовым (авторы—П. Х. Куринов, А. Я. Красный, А. П. Михеев, С. А. Шашкин).

Газогенератор (рис. 22) представляет собой шахту, вверху имеющую вид цилиндра, а внизу — усеченного конуса, обращенного меньшим основанием вниз. Газогенератор выложен из огнеупорного кирпича и заключен в металлический кожух. В верхней части шахты находится тарельчатый аппарат для подсушки топлива, в который подается топливо с размером зерен 0—10 мм. Топливо в этом аппарате попеременно перемещается к центру и периферии тарелок, к отверстиям, через которые оно падает с одной тарелки на другую. Перемещение топлива происходит с помощью гребков с косо насаженными зубьями. Такие гребки вращаются от общего вертикального вала с водяным охлаждением. Нижние тарелки и гребки выполняются из жароупорной стали. К нижней части шахты присоединена дутьевая камера с поддоном, охлаждаемым водой. Для плавного подвода воздуха в шахту газогенератора внутри дутьевой камеры смонтирован диффузор, в который воздух поступает через кольцевую щель. На поддон дутьевой камеры через нижнее отверстие шахты поступают зола и шлак. Охлаждение

Поддона способствует затвердеванию шлака. С поддона он удаляется в гидравлический затвор вращающимися гребками, насаженными на патрубок, закрепленный на вращающемся столе. Внутри патрубка смонтирована штанга, имеющая возвратно-поступательное движение и вращающаяся со столом. Эта штанга служит для удаления золы и шлаков, налипших на стены конической шахты газогенератора. Ход штанги от устья шахты до верхней точки равен 1,2 м.

Частицы топлива падают из загрузочного приспособления в шахту. Крупные частицы, чья скорость витания больше скорости газового потока, из цилиндрической шахты падают в нижнюю коническую. Здесь скорость газового потока все повышается и в какой-то области падающие частицы оказываются взвешенными.

Мельчайшие частицы золы, оставшиеся после газификации, слипаются друг с другом, образуя более крупные частицы, выпадающие из потока.

Мелкие частицы топлива, подхватываемые газовым потоком в цилиндрической части шахты, а также частицы, уносимые газом в стадии газификации и унесенные мелкие частицы золы, улавливаются в циклонном пылеуловителе, в котором продолжают подсушка и подогрев топлива. Из него топливо и остатки возвращаются с помощью шнека в нижнюю коническую часть шахты.

Таким образом особенностями газогенератора ВНИГИ являются создание концентрированного взвешенного слоя, совмещенного с углегазовым, применение приспособления для подсушки и сепарации по размеру кусков топлива в верхней части газогенератора и циркуляция угольного слоя. В схеме установки ВНИГИ (рис. 23) топливо подается на магнитный сепаратор для удаления метал-

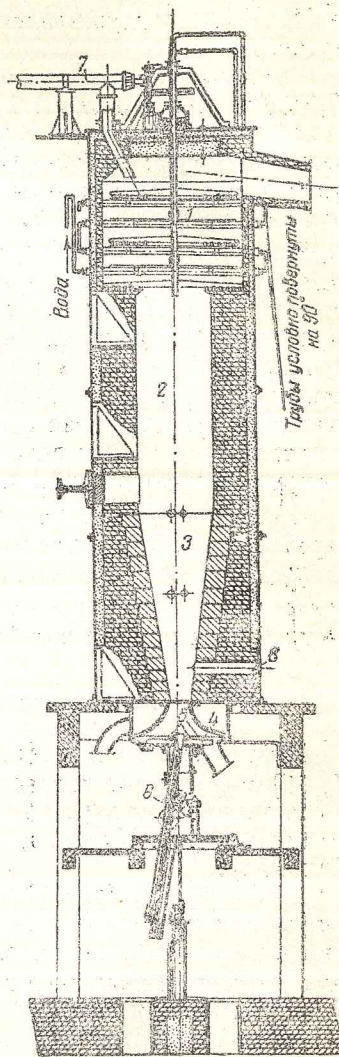


Рис. 22. Газогенератор со взвешенным слоем: 1 — устройство для подсушки топлива; 2 — цилиндрическая часть шахты; 3 — конус; 4 — поддон; 5 — лопасти; 6 — штанга для очистки стенок шахты; 7 — шнек для подачи топлива; 8 — отверстие для возврата уноса.

лических частиц, далее поступает на дробилку, а затем на вибрационный грохот. Просеянное топливо подается в бункер.

Показатели по составу газа улучшаются при использовании подогретого дутья. Подогрев до 200—400° позволяет повысить теплотворную способность газа на 100—200 ккал/нм³.

В получаемом газе содержатся очень малые количества смолистых веществ.

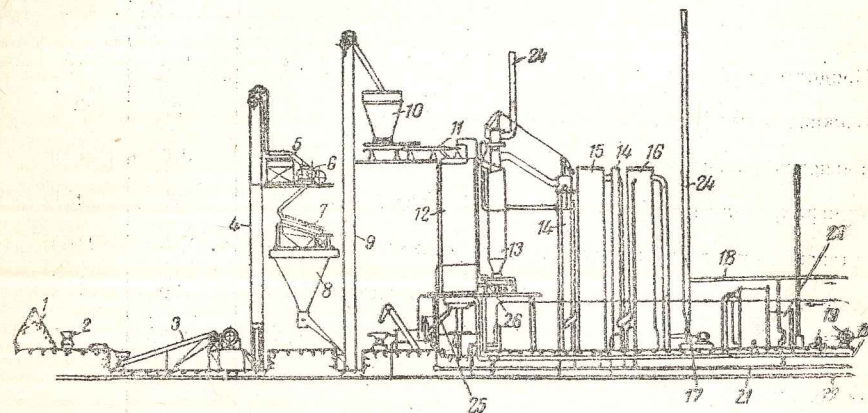


Рис. 23. Схема установки газогенератора для газификации топлива во взвешенном слое: 1 — штабель топлива; 2 — вагонетка для транспорта топлива; 3 — ленточный транспортер; 4 — элеватор; 5 — магнитный сепаратор; 6 — дробилка; 7 — грохот; 8 — бункер; 9 — элеватор; 10 — бункер; 11 — шнек; 12 — газогенератор; 13 — циклонный пылеуловитель; 14 — стояк; 15 и 16 — скрубберы; 17 — газодувка; 18 — газопровод к потребителю; 19 — воздуходувка; 20 — воздухопровод; 21 — водопровод; 22 — канализационный сток; 23 — калорифер для подогрева дутьевого воздуха; 24 — свечи для выпуска газа в атмосферу; 25 — спуск золы и шлака; 26 — возврат уноса в газогенератор.

Условия образования шлаков и их физические свойства при газификации во взвешенном состоянии несколько необычны. Основная масса шлака выпадает в виде размягченных округленных кусочков диаметром 6—8 мм. Форма кусочков объясняется аэродинамическими условиями в шахте газогенератора. Поток дутья поддерживает частицы золы во взвешенном состоянии, пока отдельные частицы золы, витающие в полурасплавленном состоянии, не укрупнятся. Отдельные оплавленные частицы оседают на стенках шахты и прилипают к футеровке. Специальный шлакоудаляющий механизм очищает нижнюю часть шахты и не допускает образования настывей. Охлажденный шлак удаляется из гидравлического затвора с помощью механической лопаты.

В табл. 17 и 18 приведены показатели газификации фрезерного торфа, подмосковного и челябинского угля в газогенераторе ВНИГИ.

При газификации гдовского сланца с содержанием золы (А^с) 46% и влаги 5% на холодном дутье шлакования не наблюдалось.

Таблица 17

Показатели газификации фрезерного торфа во взвешенном слое
(частицы размером 0—6 мм; 50% частиц размером меньше 1 мм)

Показатели	Единица измерения	Показатели		
		I	II	III
Продолжительность опыта	час.	84	143	70
Влажность торфа	%	41	37	36
Зольность рабочего торфа	%	6,2	9,0	9,1
Температура дутья	град.	20	27	181
Интенсивность газификации	кг/м ² час	990	1220	1160
Сопротивление шахты	мм вод.ст.	5	20	29
Выход газа	н.м ³ /кг	1,53	1,46	1,59
Состав газа				
CO ₂	%	10,50	9,70	8,20
H ₂ S	%	0,06	0,07	0,07
C _m H _n	%	0,79	0,74	0,61
O ₂	%	0,15	0,20	0,20
CO	%	19,36	20,32	23,57
H ₂	%	12,20	10,88	12,97
CH ₄	%	1,53	1,88	1,67
N ₂	%	55,41	56,21	52,71
Низшая теплотворная способность газа	ккал/н.м ³	1145	1164	1281
Температура газа:				
под сушильным приспособлением	град.	903	914	913
на выходе	»	374	384	—
Выход уноса	%	4,9	5,9	6,3
Содержание горючего в шлаке	%	14,4	27,7	12,5
К. п. д. газификации	%	63,5	56,0	65,0
Выход смолы, фенолов и пр.	%	0,2	0,3	0,4

Таблица 18

Показатели газификации подмосковного и челябинского угля во взвешенном слое (частицы размером 0,3 мм)

Показатели	Единица измерения	Подмосковный			Челябинский	
		I	II	III	I	II
Продолжительность опыта	час.	55	134	7,4	87	36
Влажность угля	%	27	32	32	20,2	19,4
Теплотворная способность топлива	ккал/кг	3255	3034	3050	4067	4020
Зольность рабочего угля	%	18	18	18	—	—
Температура дутья	град.	9	203	308	холод.	нагрет.
Напряжение поперечного сечения шахты	кг/м ² час	789	748	748	669	—
Сопротивление шахты	мм вод.ст.	31	43	60	—	—
Выход газа	н.м ³ /кг	1,98	1,85	1,85	2,33	3,28
Состав газа:						
CO ₂	%	6,90	8,01	6,85	5,88	6,02
H ₂ S	%	0,37	0,37	0,37	0,12	0,18
C ₂ H ₄	%	0,39	0,40	0,43	0,32	0,43
O ₂	%	0,20	0,20	0,20	0,19	0,20
CO	%	21,71	20,76	22,73	23,96	24,73
H ₂	%	7,14	8,31	7,87	6,01	9,53
CH ₄	%	1,09	1,40	1,61	1,77	1,79
N ₂	%	62,20	60,55	59,94	61,75	57,02
Низшая теплотворная способность газа	ккал/н.м ³	1016	1044	1115	1083	1213
Температура газа:						
под сушильным приспособлением	град.	961	902	885	—	—
на выходе	»	437	490	472	—	—
Выход уноса	%	4,13	3,86	3,85	—	—
Содержание горючих в шлаке	%	23,6	13,1	12,5	—	—
К. п. д. газификации	%	61,07	63,82	67,64	61,99	67,01
Выход смолы, фенолов и пр.	%	0,28	0,27	0,27	—	—

Таблица 19

Проектные показатели при газификации во взвешенном состоянии

Наименование показателя	Вид топлива		
	фрезерный торф	подмосковный уголь	челябинский уголь
Интенсивность газификации, $кг/м^2 \text{ час}$.	1200	800—1000	650—700
Теплотворная способность сухого газа, $ккал/нм^3$:			
на холодном дутье	1200	1050	1100
на подогретом дутье	1300	1550	1200
Химический к. п. д., %	70—75	60—64	60—67

При использовании подогретого дутья с температурой 140—200° шлакование в верхней части шахты не позволяло вести процесс дольше 6—10 часов. Интенсивность газификации составляла 800—1100 $кг/м^2 \text{ час}$ и теплотворная способность газа при холодном дутье 628 $ккал/нм^3$ и при подогретом — 700—900 $ккал/нм^3$.

Рассмотрение данных по газификации мелкого топлива в газогенераторе ВНИГИ позволяет заключить, что газификация фрезерного торфа и подмосковных углей возможна при их натуральной влажности. Процесс газификации протекает устойчиво и является легко управляемым. Потери с уносом могут быть уменьшены при установке дополнительных пылеулавливающих приспособлений.

При проектировании промышленных газогенераторных станций для газификации мелкозернистого топлива во взвешенном состоянии могут быть приняты показатели, приведенные в табл. 19.

Технико-экономические расчеты показывают, что газогенератор на фрезерном торфе с диаметром шахты в 2,5 м по количеству производимого тепла в газе в 2—3 раза мощнее стандартного газогенератора для кускового торфа с диаметром шахты 3 м; экономия в капиталовложениях при газификации фрезерного торфа достигает 8 руб. на 1 мегаккал в год; стоимость газа на 45—50% ниже¹. Годовая экономия эксплуатационных расходов составляет 92%.

Вместе с тем необходимо отметить, что теплотворная способность газа, получаемого при газификации в газогенераторе с ки-

¹ На больших газостанциях можно хорошо использовать улавливаемые продукты сухой перегонки и удешевить стоимость газа из торфа на 20—30%. При сухой очистке стоимость газа снижается на 15—25%.

пящим слоем, значительно ниже, чем в газогенераторах на кусковом топливе. Кроме того, отпадает возможность улавливания смолы.

Как видно из рис. 23, схема очистки газа проще обычной для смолистого топлива: отпадают смолоочистительные аппараты, резервуары для смолы и прочее смоляное хозяйство.

При использовании газа для отопления печей, требующих очищенного газа, например туннельных печей, предназначенных для низкотемпературного обжига, эта схема может быть упрощена за счет применения механического очистителя, представляющего собой одновременно газодувку, и отказа от осушки газа. При этом потребителю подается газ, очищенный от взвешенных частиц, но содержащий при влажных топливах повышенное количество влаги, допустимое в связи с низкой температурой обжига. В такой установке нет необходимости в применении скрубберов, и водяное хозяйство максимально упрощается. Количество конденсата в газопроводах и в затворах невелико и, следовательно не возникают трудности, связанные со спуском и очисткой сточных фенольных вод.

При большом расходе топлива в целях экономии электроэнергии механический очиститель может быть заменен электрофильтром и газодувкой.

ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА

Из газогенераторов, подвергнутых опытной проверке, ниже рассматриваются два типа:

Газогенератор с циркулирующим потоком газа

Схема установки для газификации влажной буроугольной пыли размером менее 6 мм с вводом циркулирующего газа представлена на рис. 24. Буроугольная пыль с $W^p=55\%$ из бункера 4 подается шнеком в трубу-сушилку 9, где подсушивается нагретым до 800° газом, выходящим из газогенератора 8. Пыль поддерживается во взвешенном состоянии. Горячий газ нагревает топливо до 150° и влажность уменьшается до 3—5%. Вследствие резкого повышения температуры уголь в сушильной трубе дополнительно измельчается. Подсушенное топливо выделяется в пылеуловителе 10 и сепаратором разделяется на две фракции: крупная измельчается в шаровой мельнице 7 и вместе с сырым углем поступает в трубу-сушилку 9, а мелкая подается в бункер для пыли, откуда направляется частично в котельную и частично—в газогенератор.

Газ из пылеуловителей 10 поступает в скруббер, где выделяются тонкие частицы золы. Поток очищенного газа разделяется на две части: большая поступает во второй скруббер 11 и затем к потребителю, а меньшая нагнетается газодувкой 14 в регенератор 16. Эта меньшая часть, состоящая из циркулирующего газа и водяного пара, необходимого для получения водяного газа, подогре-

вается в регенераторе до 1200° . Регенераторы переключаются через каждые 10 мин. В то время как в одном регенераторе происходит подогрев газа, второй разогревается за счет сжигания поступающего в него газа. Между газогенератором и регенераторами нет устройства, разобщающего эти аппараты в момент разогрева регенератора. Во избежание перетекания газа, в переходном шту-

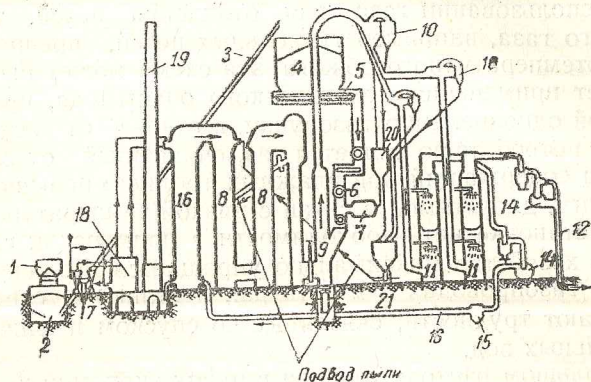


Рис. 24. Схема установки для газификации пылевидного топлива с циркулирующим потоком газов: 1 — вагонетка; 2 — нижний бункер; 3 — транспортер; 4 — верхний бункер; 5 — транспортер; 6 — регулятор подачи угля; 7 — шаровая мельница; 8 — газогенераторы; 9 — сушильная труба; 10 — пылеуловители; 11 — скрубберы; 12 — газопровод к потребителю; 13 — циркуляционный газопровод; 14 — газодувки; 15 — каплеуловитель; 16 — регенератор; 17 — вентиляторы для подвода газа и воздуха в регенераторы; 18 — подогреватели газа и воздуха, подводимых в регенераторы; 19 — дымовая труба; 20 — сепаратор угольной мелочи; 21 — бункер для пыли.

нере между газогенератором и регенераторами предусмотрена паровая завеса. Давление в регенераторе с помощью регулятора давления поддерживают на 10 мм вод. ст. выше, чем в газогенераторе.

Для отопления регенератора служит газ, получаемый в специальной установке. Газ и воздух подогревают в чугунных игольчатых рекуператорах до 400° и они поступают в шесть горелок, расположенных в своде регенератора. Отходящие газы отводятся дымовой трубой 19.

По работе установки [94] имеются следующие данные. Влажность топлива W^p — 55,9%, зольность A^p — 2,9%, теплотворная способность 2620 ккал/кг, гранулометрический состав: >6 мм — 25%, 4—6 мм — 15%, 2—4 мм — 20%, 1—2 мм — 23%, <1 мм — 16%. Получаемый газ имеет следующий состав: CO_2 — 15,4%; H_2 — 53,8%; CO — 26,2%; CH_4 — 2,2%; N_2 — 2,4%; Q_k — 2370 ккал/нм³. Производительность газогенератора — 27 т топли-

ва — 15000 нм³ газа в час. Интенсивность газификации — 2150 кг/м² час — 1190 нм³/м² час. Выход газа — 0,577 нм³/кг топлива. Количество уноса составляет 7,5% веса рабочего топлива, очаговых остатков — 14,9%. Содержание углерода в остатках равняется 67%. На 1000 нм³ газа расходуется 1,795 т рабочего топлива и 0,236 т пара.

Установка не является полностью освоенной.

Газогенератор без ввода циркулирующего газа

По методу Института торфа [30,115] газифицируют в пылегазовом потоке пылевидный торф, полученный путем подсушки и размола фрезерного торфа. Вследствие постоянства влажности торфяной пыли процесс газификации устойчив и колебания влажности фрезерного торфа на него не влияют. Развитая поверхность пылевидного торфа создает весьма благоприятные условия для газификации и позволяет достигать чрезвычайно высокой интенсивности газификации.

Газификация пылевидного торфа изучалась Институтом торфа на двух установках. В первой — меньшей — газогенератор представлял собой вертикальную огнеупорную трубу длиной 2,6 м и внутренним диаметром 40 мм, которая была заключена в металлический кожух и изолирована асбозуритом. В нижнюю часть газогенератора вставляли горелку, в которую подавали торфяную пыль и сжатый воздух. Газогенератор разогревали до 450° , затем включали подачу пыли, и температура в шахте быстро поднималась. Газифицировали древесно-осоковый средней степени разложения торф Редкинского болота. Интенсивность газификации при температуре в зоне максимума 1100 — 1300° составляла 2020 кг/м² час. Теплотворная способность газа равнялась 480—1135 ккал/нм³. Значительная часть золы уносилась газами.

Большая установка Института торфа, производительностью до 25 т/сутки, показана на рис. 25. Газогенератор 1 представляет собой шамотную цилиндрическую шахту высотой 11 м и диаметром 500 мм. Вверху она соединяется с футерованным газопроводом, по которому газ поступает в скруббер 2. В нижней части шахты снабжена гидравлическим затвором 3. Там же по оси газогенератора расположена горелка 4. Для разогрева газогенератора перед пуском служит нефтяная форсунка 5. Схема работы установки следующая. Из пылеприготовительной установки пыль пневматически подается в бункер 6, откуда периодически с помощью шнека 7 поступает в коробку весов 8 и далее в небольшой бункер 9. Из него пыль непрерывно подается шнековым питателем 10 в смеситель 11, где смешивается с воздухом, нагнетаемым воздушной 12. Аэрозоль по трубопроводу 13 подается в горелку 4. Для подогрева воздуха, идущего на газификацию, служит воздухоподогреватель 14. Подогретый воздух смешивается с аэрозолью

перед горелкой. Газ из верхней части газогенератора поступает для очистки в скруббер, где выпадают зола и остатки.

Показатели процесса газификации в значительной степени зависят от влажности топлива и от режима газификации (расхода воздуха, интенсивности газификации и температуры дутья). При повышении влажности выше 15% резко ухудшаются качество газа и к. п. д. газификации. Оптимальный удельный расход воздуха составляет примерно 30% от количества, теоретически необходи-

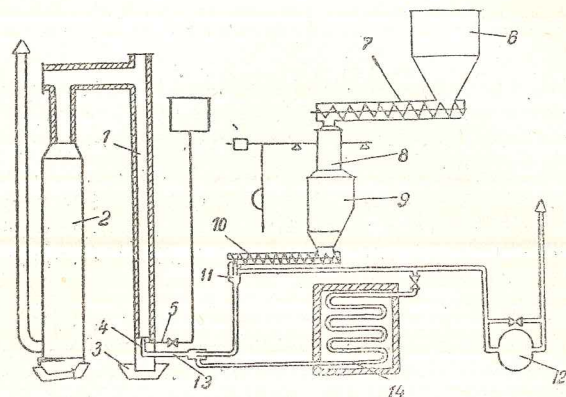


Рис. 25. Схема установки для газификации торфяной пыли.

мого для полного сгорания. При повышенных расходах воздуха наблюдается шлакование газогенератора. Чем выше влажность пыли, тем больше предельный расход воздуха. Влажность пыли порядка 15% следует считать оптимальной, так как она обеспечивает отсутствие шлакования. Улучшение показателей процесса газификации при меньшей влажности пыли не оправдывает усложнения процесса вследствие шлакования.

При понижении влажности пыли интенсивность газификации возрастает. Подогрев дутья приводит к значительному улучшению показателей процесса (табл. 20).

Процесс газификации протекает устойчиво при интенсивности газификации, достигающей $5000 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$.

Вследствие того, что унос углерода высок, его необходимо использовать. Температура газа достигает в среднем 800° и тепло нагрева газа может быть использовано, например, для подсушки торфа. На стоимости газа должны неблагоприятно отражаться повышенные расходы, связанные с необходимостью тонкого измельчения пыли.

ГАЗОГЕНЕРАТОР ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Как было показано в главе 1 при газификации под высоким давлением может быть получен газ высокой теплотворной способности, содержащий большие количества CH_4 и CO_2 .

Таблица 20

Показатели газификации пылевидного торфа

Режим	1	3	5	6	7
Характеристика топлива:					
влажность, %	20,7	14,3	7,2	3,6	6,0
зольность на сухое вещество, %	13,6	15,0	9,4	8,8	10,9
высшая теплотворная способность, ккал/кг	3640	4045	4900	5080	4640
остаток на сите 4900 отв/см^2	42,5	45,0	51,3	58,2	45,5
Интенсивность газификации, $\text{кг/м}^2 \text{ час}$	1525	1330	5080	1230	268
Удельный расход воздуха, $\text{нм}^3/\text{кг}$	1,45	1,63	1,32	2,18	1,3
Температура дутья, град.	дутье не подогревалось				295
Характеристика газа:					
выход, $\text{нм}^3/\text{кг}$	1,89	2,27	1,85	2,99	2,19
состав, %					
CO_2	12,0	10,0	11,0	10,5	10,5
C_mH_n	0,6	0,6	0,5	0,1	0,2
O_2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3
CO	16,7	17,5	16,5	16,8	20,6
H_2	11,5	14,0	13,1	12,5	17,4
CH_4	1,6	1,0	2,6	2,3	2,4
N_2	57,6	56,9	56,1	57,6	48,6
Высшая теплотворная способность, ккал/ нм^3	1095	1145	1225	1130	1415
Температура, град.	790	825	770	815	690
К. п. д. по высшей теплотворной способности, %	56,9	64,0	46,5	66,5	66,9
Количество неразложившегося пара, г/кг топлива	327	281	255	209	111
Количество непрореагировавшего углерода, % углерода топлива	19,2	13,5	38,6	7,9	16,8

Примечание. Опыты 1 и 3 проведены на малой модели, 5—7 на большой.

Хотя CO_2 и является балластом, однако его можно легко удалить путем промывки водой газа, находящегося под высоким давлением.

Сжатие газа и уменьшение скоростей в слое обуславливает увеличение производительности газогенератора и малое сопротивление слоя топлива. Изменение этих факторов позволяет работать при максимальных температурах $900 - 1000^\circ$ и уменьшить шлакование. Особенно пригодным для газификации под высоким давлением и при сравнительно низких температурах является мелкое топливо, обладающее высокой реакционной способностью, как-то: древесный уголь, бурый уголь, буроугольный кокс, фрезерный торф и т. д. Даже большая зольность топлива (до 25—30%) не оказывает обычно значительного влияния. Неблагоприятно отражается способность топлива спекаться. Следует отметить, что в отношении спекания при газификации под высоким давлением топливо ведет себя иначе, чем при нормальном давлении, а именно неспекающееся топливо может выявлять способность спекаться. Чем уже пределы размеров кусков, загружаемых в газогенераторы высокого давления, тем лучше они работают. Интенсивность газификации очень велика ($1000 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$, считая на бурый уголь с влажностью 20—25%). Вследствие высокого давления уменьшаются объем газа, выходящего из газогенератора, и потери с уносом.

При газификации выявляется влияние экзотермической реакции получения метана из окиси углерода. С повышением давления снижается расход кислорода на газификацию. При давлении в 20 *ати* расход кислорода в 2—3 раза меньше, чем при атмосферном давлении. Изменяя давление, концентрацию кислорода и расход пара, можно получать газ разнообразного качества. Выход ценных жидких продуктов такой же, как и при полукоксовании, а бензина даже значительно больше.

Давление газа можно использовать для передачи его на расстояние. Давление в 20 *ати* достаточно для подачи газа на 200—300 км. При газификации сжатию подвергаются только кислород, составляющий 14—15% объема получаемого газа, а из газогенератора выходит сжатым весь газ. Таким образом получается большая экономия затрат на транспортировку газа. Это дает возможность располагать газогенераторные станции в местах добычи топлива и расширить энергетическое использование газа. Установка компактна и обслуживание газогенераторов облегчается.

Недостатком способа газификации под высоким давлением является необходимость применения дорогой аппаратуры, работающей под высоким давлением.

Установка для газификации под высоким давлением состоит из следующих элементов:

- 1) парового котла с пароперегревателем для получения пара с давлением 25—30 *ати* и температурой $450 - 500^\circ$;
- 2) кислородной установки с компрессором на 25—30 *ати*;

- 3) газогенератора высокого давления;
- 4) двух или трех ступеней трубчатых холодильников;
- 5) адсорбционно-десорбционной системы для улавливания газового бензина;

6) скрубберов высокого давления с орошением водой для охлаждения газа и удаления из него CO_2 и H_2S ;

7) аппаратов для очистки газов от остатков H_2S ;

8) турбинной установки для использования энергии сжатой воды, вытекающей из скрубберов;

9) установки для дегазации и охлаждения скрубберной воды;

10) смоло-водяного хозяйства.

Все элементы установки, работающие под давлением, должны быть абсолютной герметичны и достаточно прочны.

Газогенератор высокого давления (рис. 26 и 27) представляет собой стальной толстостенный цилиндр 1 с пароводяной рубашкой 2, которая соединена с паросборником 3. Шахта газогенератора соединена при помощи трубы 4 с паровым пространством паросборника. Верхняя часть рубашки футерована. Загрузка топлива производится при помощи загрузочной коробки 5 с двумя затворами — нижним конусообразным и верхним плоским, или также конусообразным. Уплотнением для верхнего затвора служит твердая резина, а для нижнего — мягкий металл.

Загрузка топлива осуществляется следующим образом (рис. 26). Загрузочная коробка соединена двумя газопроводами с газгольдером низкого давления и газопроводом высокого давления. Перед загрузкой топлива открывают вентиль на первом газопроводе и в газогенераторе устанавливается давление, близкое к атмосферному. При этом нижний колокол загрузочной коробки плотно прижимается к седлу давлением изнутри газогенератора. Затем закрывают вентиль на первом газопроводе, открывают верхний затвор коробки, загружают в нее топливо, закрывают

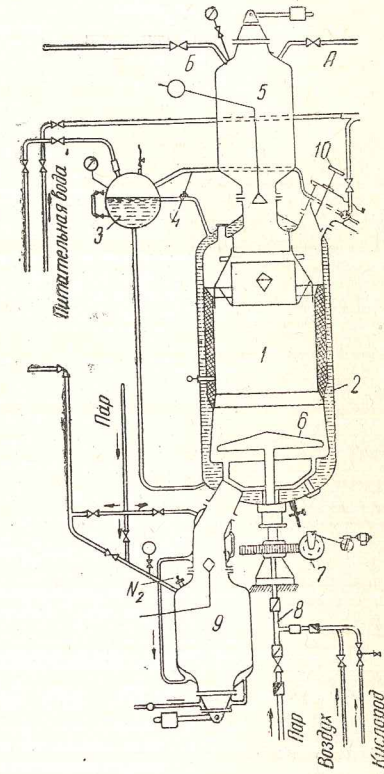


Рис. 26. Газогенератор высокого давления.

коробку, открывают вентиль на втором газопроводе и опускают конус.

В нижней части шахты расположена вращающаяся колосниковая решетка 6, приводимая во вращение посредством привода 7. Кислород и пар подаются в газогенератор через полый вал 8, посредством которого решетка приводится во вращение. Зола и

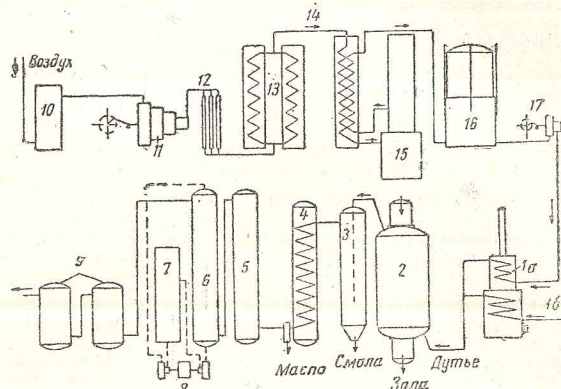


Рис. 27. Схема установки для газификации топлива под высоким давлением: 1 — подогреватель; 2 — газогенератор высокого давления; 3 — первый охладитель; 4 — второй охладитель; 5 — скруббер для улавливания бензина; 6—7—водяные промыватели для удаления CO_2 и H_2O ; 8 — насос; 9 — ящики для сухой сероочистки; 10 — фильтр; 11 — компрессор высокого давления; 12 — сушильная батарея; 13 — аммиачный холодильник; 14 — теплообменник; 15 — разделительный аппарат; 16 — сборник кислорода; 17 — кислородный компрессор.

шлак поступают из газогенератора в зольный карман 9 с двумя затворами. Для создания давления в зольном кармане используют пар или азот. Процесс удаления золы аналогичен загрузке топлива. Газ из газогенератора отводится через штуцер с клапаном 10. Внутренняя стенка рубашки 2 всегда находится под тем же давлением, что и газогенератор. Таким путем предупреждается возможность ее деформации.

Одна из действующих установок оборудована двумя газогенераторами диаметром 1,25 м. Производительность каждого газогенератора 800—1000 $\text{нм}^3/\text{час}$ газа с теплотворной способностью 4000—4200 $\text{ккал}/\text{нм}^3$. Имеются газогенераторы диаметром 2,5 м и производительностью 2500—3000 $\text{нм}^3/\text{час}$. Газ подается по газопроводам на 8—40 км [2,96].

Топливом служит низкосортный бурый уголь с влажностью 40—50%, который перед поступлением в бункеры газогенераторной станции подсушивается до содержания влаги 20—30%. Размер кусков топлива 2—20 мм.

Легко осваивается газификация бурых углей СССР [2,96, 113]: богословских, черновских, гусиноозерских и других, газификация которых в газогенераторах обычной конструкции является затруднительной вследствие их распада. Также легко может быть освоена газификация углей челябинских, канских, сулюктинских, райчихинских и других. Большие перспективы имеет газификация фрезерного торфа.

Для стоимости газа основным фактором является стоимость топлива; стоимость кислорода — на 2—3-м месте.

Опыты газификации подмосковного и богословского угля [2, 96] под высоким давлением в шахте диаметром 1,25 м дали вполне удовлетворительные результаты (табл. 21).

При газификации подмосковного угля [2, 96] газогенераторы работали нормально, и шлакование отсутствовало. Выгреб состоял из мелкозернистой, сильно пылящей золы, в которой содержались кусочки сплавленного или спекшегося шлака. Изменение влажности топлива с 18 до 30% практически не влияло на ход процесса, качество газа и удельный расход кислорода. Теплотворная способность газа (4100—4200 $\text{ккал}/\text{нм}^3$) оказалась выше, чем у газа из многих других бурых углей.

К. п. д. газификации по чистому газу составляет 69—72% и почти не отличается от к. п. д. при газификации того же угля на парокислородном дутье при атмосферном давлении. При промывании неочищенного газа в скруббере под давлением 18—20 атм отмывается 32—34% газа, содержащего горючие компоненты. Состав отмытого газа следующий: CO_2 —85—87%, H_2S —6,2—6,3%, C_mH_n —0,1%, CO —1,7—2,1%, H_2 —3,8—4,4%, CH_4 —1,9—2,0%, N_2 —0,1—0,2%, Q_n —670—720 $\text{ккал}/\text{нм}^3$. Выход смолы составляет 8—9%, считая на горючую массу топлива. С учетом потенциального тепла смолы к. п. д. газификации повышается до 85—88%.

ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ С ВЫПУСКОМ ЖИДКОГО ШЛАКА

Газогенераторы с выпуском жидкого шлака используются для газификации топлив с легкоплавкой золой, а также в целях улавливания побочных продуктов, получаемых вместе со шлаком или в результате сухой перегонки или возгонки из материалов, добавляемых к топливу.

Между газогенераторами с выпуском жидкого шлака и доменами существует сходство, обусловленное общностью процессов, протекающих в зоне горна в доменной печи и соответствующей зоне газогенератора, работающего с жидким шлакоудалением. В этих газогенераторах соединения железа, содержащегося в золе топлива и в добавках, примешиваемых к топливу, восстанавливаются до металла углеродом топлива. Кремний, марганец и фосфор также восстанавливаются из соответствующих кислородных соединений и образуют сплав с железом.

В качестве флюсов в газогенераторах с выпуском жидкого шлаков применяются доменные шлаки, известняк и бедные

Показатели газификации подмосковного угля на парокислородном дутье под высоким давлением

Наименование показателей	Единица измерения	I	II
I. Топливо			
Влажность (WP)	%	18,2	29,7
Зольность (AP)	%	30,6	30,0
Крупность угля (класс)	мм	2—18	2—18
II. Дутье			
Концентрация O ₂ в техническом O ₂	%	91,9	93,5
Расход 100%-ного O ₂ :			
а) на горючую массу угля	н.м. ³ /кг	0,19	0,21
б) на 1 н.м. ³ чистого газа	н.м. ³ /н.м. ³	0,17	0,18
Расход пара:			
а) на горючую массу угля	кг/кг	1,72	1,86
б) на 1 н.м. ³ чистого газа	кг/н.м. ³	1,53	1,63
Температура пара	град.	500	493
Степень разложения пара	%	36	34
Состав дутья:			
а) кислород	%	8,3	8,3
б) азот	%	0,7	0,6
в) водяной пар	%	91,0	91,1
III. Производительность			
Интенсивность газификации	кг/м ² час	988	1075
Часовая производительность:			
а) по неочищенному газу	н.м. ³ /час	1160	1129
б) по чистому газу	"	774	742
IV. Газ			
Выход неочищенного газа на рабочее топливо	н.м. ³ /кг	0,95	0,85
Состав неочищенного газа:			
CO ₂	%	31,8	31,1
H ₂ S	%	1,7	1,6
C _m H _n	%	0,7	0,7
O ₂	%	0,3	0,3
CO	%	14,4	15,0
H ₂	%	39,8	39,9
CH ₄	%	6,8	7,3
C ₂ H ₆	%	3,0	2,4
N ₂	%	1,5	1,7
Теплотворная способность неочищенного газа:			
а) высшая	ккал/н.м. ³	3019	2985
б) низшая	"	2707	2635
Влагосодержание неочищенного газа	г/н.м. ³	895	1120

Наименование показателей	Единица измерения	I	II
Температура неочищенного газа	град.	205	180
Давление неочищенного газа	ат	18,3	18,3
Выход чистого газа на рабочее топливо	н.м. ³ /кг	0,64	0,56
Состав чистого газа:			
CO ₂	%	1,9	2,1
C _m H _n	%	1,0	1,0
O ₂	%	0,2	0,3
CO	%	21,2	21,8
H ₂	%	59,1	58,5
CH ₄	%	9,9	10,5
C ₂ H ₆	%	4,4	3,3
N ₂	%	2,3	2,5
Теплотворная способность чистого газа:			
а) высшая	ккал/н.м. ³	4250	4150
б) низшая	"	3780	3700
V. Шлак			
Содержание горючих в шлаке	%	5,5	3,5
VI. Тепловой баланс (по верхнему пределу)			
Приход			
Теплотворная способность угля	%	82,4	81,4
Физическое тепло кислорода	%	0,2	0,2
Физическое тепло пара	%	17,4	18,4
Всего		100,0	100,0
VI. Расход			
Теплотворная способность неочищенного газа	%	61,8	62,0
Физическое тепло газа	%	1,5	1,3
Физическое тепло влаги газа	%	13,0	15,7
Теплотворная способность и физическое тепло смолы	%	13,0	13,4
Теплотворная способность уноса	%	0,8	0,8
Теплотворная способность выгреба	%	2,9	2,1
Теплотворная способность воднорастворимых соединений	%	1,3	1,4
Потери в окружающую среду и пр.	%	5,7	3,3
Всего		100,0	100,0
VII. К. п. д.			
Термический к. п. д.:			
а) по неочищенному газу	%	62	62
б) по неочищенному газу и смоле	%	75	75
К. п. д. газификации:			
а) по неочищенному газу	%	75	76
б) по чистому газу	%	70	70
в) по неочищенному газу + смола	%	91	92
г) по чистому газу + смола	%	86	86

Показатели газификации торфа в газогенераторах с жидким шлакоудалением

непригодные для доменных печей железные руды. Эти газогенераторы могут быть также использованы для переработки отходов металлургических процессов и бедных руд (свинцовых, медных, оловянных и т. д.). Для бесперебойной работы газогенератора с выпуском жидкого шлака требуется, чтобы получаемый шлак был достаточно подвижным и легкоплавким. Слишком густой шлак засоряет зону газификации, а слишком жидкий—сильно разъедает футеровку газогенератора.

Имеются данные о значительном улучшении режима газификации при непрерывном удалении шлака [121].

В СССР производили исследования комбинированных процессов газификации торфа и получения доменного шлака на воздушном дутье и на дутье, обогащенном кислородом [4, 118, 119]. При достаточной прочности торфа и невысокой влажности получались хорошие результаты.

Оказалось возможным использовать огарки-отходы при обжиге содержащих медь пиритов. При этом получалось значительное количество железа и меди. Состав получаемого газа приведен в табл. 22.

На основе проведенных опытов сделаны следующие заключения. Для доменной плавки должен быть использован торф со степенью разложения не менее 35% и содержащий не более 30% влаги. Максимальный размер торфяного кирпича должен быть равен половине обычной длины при нормальном поперечном сечении. Торф должен быть прочным. Температура дутья должна быть близка к возможному максимуму (750—800° и выше), так как такой нагрев является единственным средством концентрировать достаточный жар в горне для работы на основных шлаках. Шлак должен содержать 46—48% окиси кальция. Интенсивность газификации 1000 кг/м² час.

Отрицательным явлением при работе на торфе является постепенное или периодическое засорение горна, в результате чего прекращается спуск шлака через шлаковую лентку. Шлак появляется на фурмах и прерывает их работу.

При опытах с дутьем, обогащенным кислородом, содержание кислорода в дутье колебалось в пределах 30—60%. Влажность дутья составляла до 1%. При налаживании работы наиболее трудным было согласовать процесс коксования торфа с металлургическим процессом. Увеличение скорости схода калов вызвало повышение содержания закиси железа в шлаке и, как следствие этого,—повышение содержания серы в чугуне. Печь работала ровно и без зависаний даже при резких колебаниях в содержании кислорода (до 10% и выше). Случаев засорения горна не наблюдалось. Кокс применяли прочный крупнокусковой.

После изучения процесса удалось получить чугуны, отвечающие требованиям стандартов.

При переходе на торф с влажностью до 60% температуры

Наименование показателя	Единица измерения	Показатель			
I. Топливо:					
влажность (W ^p)	%	16,9	20,6	14—33	
зольность (A ^p)	%	4,9	4,1	4,1—9,8	
II. Дутье:					
содержание кислорода	%	21	21	40	58,5
температура	град.	600		45	
III. Размеры газогенератора—печи:					
диаметр горна	м	3,4		1,5	
полезная высота	м	20,8		11,14	
полезный объем	м ³	348		24	
IV. Генераторный газ:					
состав: CO ₂	%	9,9	9,9	12,9	13,1
C ₂ H ₄	%	0,6	0,2	1,1	0,9
O ₂	%	0,2	0,5	0,2	—
CO	%	29,2	28,6	44,3	51,0
H ₂	%	9,1	10,4	11,6	14,5
CH ₄	%	2,2	2,5	3,9	4,5
N ₂	%	48,8	47,9	26,0	16,0
Теплотворная способность (Q _н ^c)	ккал/нм ³	1386	1375	2125	2423
Температура	град.	80	120	—	—
Выход	нм ³ /кг	1,88	1,83	1,1	0,93
V. Интенсивность газификации (по горну)					
	кг/м ² час	1045	1960	780	
V. Выход смолы					
	%	5—5,5		7—8	

в распаре сильно понизились, что не отразилось на ходе коксования, но расстроило металлургическую часть процесса. Данные о составе газа приведены в табл. 22. Выход смолы составлял 10% веса абсолютно сухого торфа. Содержание пыли в смоле составляло 10% веса смолы.

Режим регулировали путем изменения содержания в дутье кислорода. Повышение содержания кислорода в дутье вызывало концентрацию высоких температур в небольшой по высоте зоне над фурмами. Торфяной кокс над фурмами был чист и свободен от капелек расплавленного шлака; распар имел температуру у стен 500—600°, что заставляет предполагать смеще-

ние шлакообразующей зоны в область горна. Окисление металла было ниже обычного. В процессе выплавки литейных чугунов были получены чугуны с содержанием до 9% кремния, т. е. бедные ферросилиции и при добавке марганцевой руды—бедные силикашпигели.

Опыты с выпуском жидких шлаков на парокислородном дутье при высокой форсировке процесса указали на возможность получения одновременно ценного газа и ферросплавов. При смолистых топливах, каковым является торф, получают дополнительно ценный продукт—смолу. Вполне возможна работа на одном торфе даже с повышенным содержанием золы.

На рис. 28 представлена установка с выпуском жидкого шлака, имеющаяся на одном из заводов [22]. Установка состоит из двух газогенераторов диаметром в верхней части 1 м и в нижней—0,45 м. Газогенератор снабжен 5 фурмами, расположенным по винтовой линии. Для спуска шлака имеются три летки высотой 220 мм, через которые поочередно спускают шлак. Шуровочные отверстия прикрыты клапанами. Воздух подается ротационным вентилятором (создает давление в 650 мм вод. ст., производительность 550 м³/час) в воздухоподогреватель, обогреваемый за счет теплоты нагрева генераторного газа. В воздухоподогревателе имеется люк для спуска пыли. Поверхность нагрева воздухоподогревателя, снабженного 19 изогнутыми воздушными трубами диаметром 70 мм,—14 м².

Топливом является каменноугольный кокс с примесью 10—15% древесного угля. Производительность газогенератора 200 кг/час, температура подогрева воздуха 150—160°, температура газа 800—900°, состав газа: CO₂—1,5—2%; CO—27—31%; H₂—1—1,5%, Q_н—950—1000 ккал/м³, выход сухого газа—5 м³/кг.

В газогенераторах с выпуском жидкого шлака при работе на подогретом дутье можно газифицировать сланцы. При этом получают побочные продукты в виде чугуна, шлака и смолы.

В СССР опыты по газификации сланцев с жидким шлакоудалением проводились [97] в 1933 г. ВИТГЭО (М. А. Полячкиным и Я. А. Ланда) в вагранке диаметром в 850 мм и в 1936—1939 гг. [98] ЛенВНИГИ (А. С. Синельниковым).

В первой серии опытов газифицировали гдовские сланцы и полукоксы из веймарского сланца. Давление дутья составляло до 400 мм вод. ст.; температура подогрева воздуха не превышала 130°.

Кашпирские сланцы газифицировали с добавкой антрацита.

Процесс протекал устойчиво даже при значительной форсировке. Высота слоя топлива составляла 2,5—3 м. Сильно разрушалась футеровка. Получался газ с довольно высокой теплотворной способностью и значительным содержанием сернистых соединений. Результаты испытаний приведены в табл. 23.

Газификация одного кашпирского сланца без добавки антрацита (как и веймарского) при опыте не была устойчива. В добавке флюсов не было необходимости. Высота слоя топлива, как и в других опытах, составляла 2,5—3 м. Снижение добавки

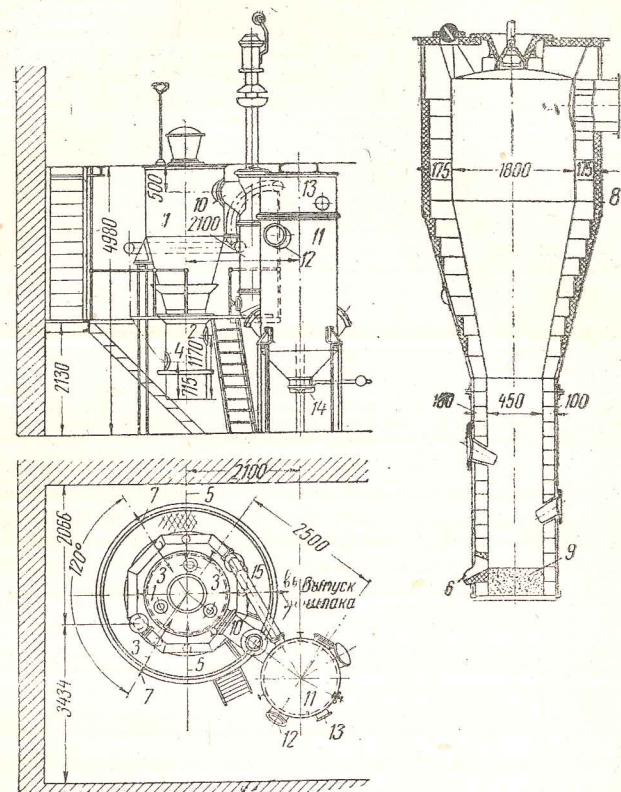


Рис. 28. Установка газогенераторов с выпуском жидкого шлака: 1—газогенератор; 2—верхняя фурма; 3—оси верхних фурм; 4—нижняя фурма; 5—оси нижних фурм; 6—шлаковая летка; 7—оси шлаковых леток; 8—шлаковая вата; 9—песок; 10—газопровод к воздухоподогревателю; 11—воздухоподогреватель; 12—штуцер для отвода газа; 13—штуцер для подвода дутья; 14—клапан для спуска пыли; 15—воздухопровод к газогенератору.

антрацита ниже 5%, повидимому, возможно лишь при достаточно высоком подогреве дутья или применении кислородного дутья.

Интенсивность газификации гдовского сланца составляла при добавке 10% антрацита—1190 кг/м² час и при 5%—1420 кг/м² час. Опыт газификации одного сланца пришлось

Показатели опытной газификации сланца и сланцевого полукокса с жидким шлакоудалением

Сланец (или полукокс)	Состав топлива в %		Давле- ние дуэты в мл вод. ст.	Темпера- тура дуэты в град.	Интен- сивность газифи- кации в кг/м ² час	Состав газа в %							Q _H ^c В ккал/м ³
	антра- цит	коксик к. у.				CO ₂	C ₂ H ₄	O ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂	
80 (кашпирский)	20	—	200	81	1160	7,3	0,3	0,45	24,2	3,1	4,8	59,85	1164
95 (кашпирский)	5	—	186	95	1590	10,9	0,6	0,2	18,9	3,2	6,0	60,2	1086
90 (гдовский)	10	—	—	—	1110	7,0	0,6	0,4	27,2	4,7	2,5	57,6	1387
95 (гдовский)	5	—	—	—	1420	8,2	0,7	0,4	20,9	5,6	2,1	62,1	1275
90 (веймарнский кокс)	10	—	357	112	1560	10,6	0,5	0,3	21,8	2,4	4,7	59,7	1065
95 (то же)	5	—	412	94	1200	10,5	—	0,5	21,0	1,9	5,65	60,45	950
65 (гдовский)	—	35	530	335	653	2,5	0,3	0,4	30,4	1,9	3,1	61,4	1212
31 (гдовский)	59	—	850	230	1443	0,64	H ₂ S 0,33	0,17	32,19	0,87	2,95	62,85	1132
64,1 (гдовский)	34,6	—	880	340	1320	1,81	H ₂ S 0,30 C ₂ H ₄ 0,23	0,18	34,54	1,23	3,64	58,02	1278
80 (гдовский)	—	50	560	15	440	2,5	—	0,3	31,0	0,5	2,5	63,2	1052

прекратить, так как к сланцу было примешано значительное количество неплавкой породы, образовавшей отложения на поду вагранки.

Опыты показали пригодность кашпирского и гдовского сланцев и полукокса веймарнского сланца для газификации с жидким шлакоудалением. В газогенераторах с жидким шлакоудалением режим может быть значительно форсирован по сравнению с газогенераторами с сухим золоудалением. Наилучшие результаты дали гдовские сланцы: процесс шел наиболее устойчиво, получался газ с высокой теплотворной способностью и разрушение футеровки печи было наименьшим.

Во второй серии опытов шахта газогенератора имела диаметр 0,734 м и горн—0,50 м. Первоначально газифицировали смесь гдовских сланцев и торфа. Использование непрочного рубленого торфа вызывало замусоривание горна и нарушение нормального хода.

При газификации гдовского сланца с добавкой в 35% антрацита (см. табл. 23) процесс газификации протекал устойчиво. Уменьшение добавки антрацита ниже 30% приводило к неудовлетворительным результатам. При работе с высоким слоем топлива требовалась большая добавка антрацита, вследствие почти полной отгонки летучих в шахте газогенератора.

Газификация сланцевого полукокса в смеси с 40—50% коксика велась успешно. При опытной газификации смесью сланца и коксика добавка коксика была равна 35—40%.

При газификации смесью антрацита и сланца интенсивность газификации была очень высокой и достигала 1000 кг/м² час. Особенно хорошие свойства показал антрацит шахты им. ОГПУ. Антрацит шахты им. Артема оказался менее прочным и термостойчивым. Данные исследования приведены в табл. 23.

На рис. 29 показана промышленная установка для газификации смеси сланца и низкосортного кокса производительностью 120 т шихты в сутки. Диаметр газогенератора—2,2 м, высота—7,8 м; изнутри он футерован огнеупорным кирпичом, снаружи охлаждается брызгалками. В поду находятся две лётки, расположенные одна против другой и ведущие в приемок для разделения чугуна и шлака. Давление, создаваемое воздуходувкой—3000 мм вод. ст. Подогрев дуэты возможен до 600°. Газ из газогенератора поступает в пылеуловитель и далее—в холодильники и механический очиститель. Сланец, кокс и известняк сбрасываются вагонетками в приемок подъемника, откуда в требуемых количествах после взвешивания транспортируются к рабочей площадке генератора. Загрузка производится каждые четверть часа [22].

Воздухоподогреватель, работающий по принципу противотока, состоит из трех отделений, расположенных последовательно. Третье отделение снабжено камерой для сжигания газа. Каждые полчаса шлак через лоток выпускают в яму с водой,

а чугун спускают в формы, потом охлаждают водой и складывают в штабеля. Гранулированный шлак из ямы подается грейфером на поверхность земли и далее поступает в воронку вертикальной сушилки с вращающимися полками, обогреваемой про-

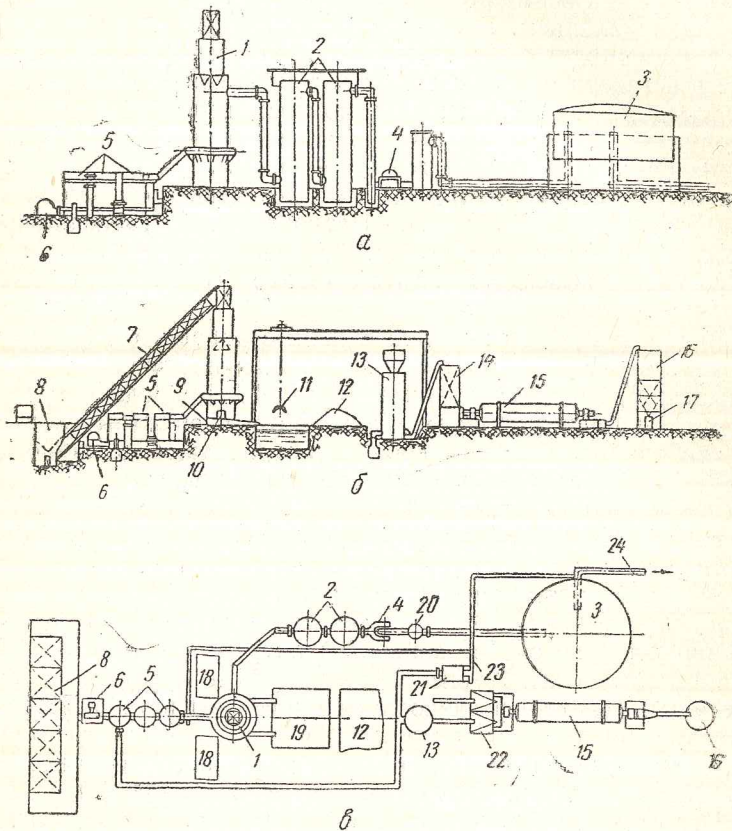


Рис. 29. Установка газогенераторов с выпуском жидкого шлака и использованием побочных продуктов: 1 — газогенератор; 2 — холодильник; 3 — газгольдер; 4 — дезинтегратор; 5 — воздухоподогреватель; 6 — воздуходувка; 7 — скиповый подъемник; 8 — бункер для топлива и флюсов; 9 — лоток для спуска чугуна и шлака; 10 — летки; 11 — грейфер; 12 — помещение для гранулированного шлака; 13 — вертикальная сушилка; 14 — бункер для шлака; 15 — трубчатая мельница; 16 — бункер для цемента; 17 — тара для упаковки; 18 — площадки для разлива чугуна; 19 — бассейн для шлака; 20 — каплеуловитель; 21 — топка сушилки; 22 — бункер для извести; 23 — подача газа для отопления воздухоподогревателя и сушилки; 24 — газопровод к потребителю.

дуктами горения воздухоподогревателя. Из нижней части сушилки шлак подается в одно из двух отделений бункера, питающего трубчатую мельницу. Во втором отделении бункера находят-

ся известь. Шлак и известь с помощью дозирующего устройства подаются в трубчатую мельницу. Из нее измельченная и смешанная масса подается в бункер и далее автоматически взвешивается и упаковывается в мешки в качестве товарного продукта — цемента. Очищенный газ поступает в газгольдер и подается на газовый завод.

Состав мытого сланца: W^p — 3%, A^c — 55%, летучих — 16% и нелетучего углерода — 29%. Состав золы сланца: SiO_2 — 36%, Al_2O_3 — 19%, CaO — 14%, MgO — 3% и FeO — 25%. Состав кокса: W^p 10%, A^c — 24%, летучих — 1% и нелетучего углерода — 75%. Состав золы кокса: SiO_2 — 50%, Al_2O_3 — 28%, CaO — 6%, MgO — 1% и FeO — 12%; в известняке — 54% CaO . Состав газа: CO_2 — 3,5%, CO — 32,5%, H_2 — 4%, CH_4 — 1% и N_2 — 59%; Q_H — 1180 ккал/м³. Состав чугуна: C — 2,7%, Si — 4,7%, S — 0,02 — 0,05% и P — 0,15%. Состав шлака: SiO_2 — 34%, Al_2O_3 — 22% и $CaO + MgO$ — 43%; $\frac{SiO_2}{CaO + MgO} = 0,79$. Температура воздушного дутья 450°.

Суточный расход материалов на газогенератор: сланца — 40,4 т, кокса — 37 т, известняка — 22,6 т и скрапа — 5 т. Валовой выход газа — 220 000 м³, чистый (за вычетом расхода на воздухоподогреватель и сушилку для шлака) — 185 000 м³; выход шлака — 35 т (перерабатывается в 50 т цемента); выход кремнистого чугуна 11 т.

ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЯНОГО ГАЗА ИЗ МЕСТНОГО ТОПЛИВА

В больших установках для получения высококалорийного газа могут быть использованы газогенераторы для получения водяного газа из топлив, не содержащих смолы: кокса, антрацита, тощих углей. Конструкция таких газогенераторов (больших и малых размеров), вполне освоена. При необходимости использования местных топлив в больших установках для получения высококалорийного газа можно установить газогенераторы двойного водяного газа, допускающие улавливание смол. В малых установках такие газогенераторы нерентабельны, так как улавливание смол не представляет интереса и в то же время значительно усложняет установку. Кроме того, получаются вредные сточные фенольные воды.

Теплотворная способность водяного газа может быть значительно повышена. При температуре 325° в присутствии никелевого катализатора водяной газ превращается в метан, т. е. безвредный и высококалорийный газ, который можно транспортировать на значительные расстояния для промышленных и бытовых нужд.

Для промышленности представляет интерес получение водя-

ного газа из местных топлив в небольших газогенераторах, конструкции которых предложены и разработаны в СССР [99, 110].

Ниже описывается подобная установка, предложенная и разработанная автором [1, 99], для получения водяного газа не только из тощих, но и из содержащих смолы влажных местных топлив. Производительность установки при одном газогенераторе достаточна для замены 300—400 кг жидкого топлива в сутки, что соответствует мощности крупной стеклодувной мастерской. При потребности в значительно больших количествах газа требуется несколько более сложная установка.

Влажность местных видов топлив значительна, теплотворная же их способность низка. Кроме того, реакционная способность коксового остатка из местных видов топлива столь высока, что обычно продукты воздушного дутья содержат много горючих составных частей. Указанные причины затрудняют выделение в газогенераторе в период воздушного дутья значительного количества тепла, необходимого для разогрева слоя топлива.

Устранение этих недочетов возможно путем дожигания газов воздушного дутья в самом газогенераторе в области пониженных температур и подсушки топлива продуктами горения газов воздушного дутья.

Кроме того, для получения бессмольного газа предусматривается ведение газования (получение водяного газа) лишь при подаче пара сверху вниз, т. е. отвод водяного газа и продуктов сухой перегонки через раскаленный слой, проходя который смолистые вещества разлагаются. Это соответствует практике работы установок водяного газа малых размеров, работающих на коксе, в которых газование ведется также лишь сверху вниз.

Установка состоит в основном из следующих аппаратов: (рис. 30, а и б) газогенератора 1, вентилятора 2, скруббера 13 и газгольдера 14.

В период воздушного дутья воздух вентилятором 2 через воздухопровод 3 подается в нижнюю часть газогенератора и, проходя через раскаленный слой топлива, образует воздушный генераторный газ. В более высоких слоях топлива, где температура топлива и газа достаточно низка (400—600°), подводится вторичный воздух, дожигаящий получаемые газы, в результате топливо интенсивно подсушивается и подвергается частично сухой перегонке. Получаемые продукты горения, смешанные с влагой топлива, отводятся дымовой трубой 5 в атмосферу. Клапаны 10 и 11 служат для включения подачи воздуха в газогенератор, клапан 12—для включения газогенератора на дымовую трубу. Когда слой топлива достаточно разогрет, переходят к фазе газования. При этом закрываются клапаны 10 и 11, включающие подачу воздуха, и клапан 12, включающий газогенератор на дымовую трубу, и открывается паровой вентиль, на рисунке не показанный. Пар через паропровод 6 и кольцевой

паропровод 7 подается в среднюю часть слоя топлива. Для отвода газа открывается клапан 8. Водяной газ, получаемый при прохождении водяного пара сверху вниз, поступает в газопровод 9 и далее в скруббер 13, в котором он орошается водой—охлаждается и очищается. Получаемый газ попадает в газгольдер 14, из которого отводится к потребителю.

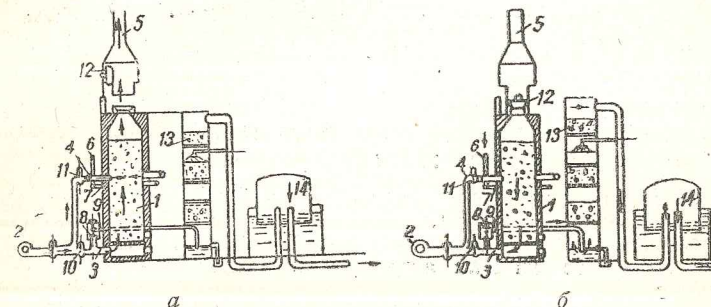


Рис. 30. Схема работы установки для получения водяного газа из местных топлив: а — фаза горячего дутья, б — фаза газования; 1 — газогенератор; 2 — вентилятор; 3 и 4 — воздухопровод; 5 — дымовая труба; 6 и 7 — паропровод; 8 — клапан; 9 — газопровод; 10 и 11 — задвижки; 12 — клапан; 13 — скруббер; 14 — газгольдер.

Фазы горячего дутья и газования последовательно повторяются.

Газогенератор—простой конструкции, состоит из металлического кожуха, футерованного изнутри огнеупорным кирпичом (в полкирпича) с неподвижной колосниковой решеткой. В зольнике и шахте предусмотрены дверки для очистки. Удаление остатков производится вручную при выключенном дутье.

Для управления газогенераторами предусматривается система задвижек и клапанов; управление ими сосредоточено на верхней обслуживающей площадке (рис. 31).

Надлежащее течение процесса устанавливается соответствующим последовательным переключением выхлопного клапана, задвижки первичного воздуха, задвижки вторичного воздуха, газового клапана и парового вентиля. Управление газовым клапаном заблокировано с паровым вентилем и задвижкой первичного воздуха. Блокировка является предохранительной, не позволяющей при открытом газовом клапане включать подачу первичного воздуха. Управление подачей вторичного воздуха, как не угрожающее безопасности процесса, остается свободным.

Для фиксации крайних положений задвижки первичного воздуха и газового клапана и любого положения задвижки вторичного воздуха предусматривается крепление штанг управления при помощи прижимных винтов.

Как элемент вторичного значения заблокирован с управлением газовым клапаном и водяной кран, выключающий доступ во-

ды в скруббер. В соответствии с фазами газового процесса блокировка прекращает и возобновляет доступ воды на охлаждающие газы.

Положение задвижек и клапанов при различных фазах процесса показано на рис. 31 и 31 а.

Для поджигания газа при воздушном дутье включается электрический запал.

Расчетные показатели. Низшая теплотворная способность рабочего газа (насыщенного влагой при 35°) — 2470 ккал/нм³.

Соотношение удельных производительностей при древесине, торфе, антраците и коксе, считая на потенциальное тепло получаемого газа равно 1:1:1,3:2,0.

Выход рабочего газа из 1 кг древесины с $W^p = 35\%$	0,50 нм ³ /кг
Выход рабочего газа из 1 кг торфа с $W^p = 35\%$	0,46 »
Выход рабочего газа из 1 кг торфа с $W^p = 35\%$	0,46 »
Выход рабочего газа из 1 кг антрацита или кокса с $Q_n = 650$ ккал/кг	1,7 нм ³ /кг

Показатели для случая газификации древесины с $W^p = 35\%$ (в виде чурок):

расход первичного воздуха	0,82 нм ³ /кг
» вторичного »	4,3 »
» пара	0,12 кг/кг

Выход продуктов горения газов воздушного дутья—5,5 нм³/кг.

Интенсивность газификации 425 кг/м² час. К. п. д. газификации около 45%.

ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

В недалеком прошлом в качестве газогенераторов высокой производительности предлагали и разрабатывали газогенераторы большого диаметра. При этом возникали многочисленные трудности, связанные с необходимостью равномерного распределения топлива и дутья по большому сечению газогенератора. В настоящее время для увеличения производительности уже не прибегают к таким конструкциям. Материалы, изложенные в главах I—III, свидетельствуют о том, что с высокой интенсивностью могут работать обычные газогенераторы, газогенераторы с удалением жидкого шлака, а также специальные конструкции газогенераторов с кипящим слоем, со взвешенным слоем и с газификацией в пылегазовом потоке. Использование топлив мелкозернистых и в виде пыли, а также газификация под высоким давлением позволяют получить очень высокие производительности газогенераторов. Что же касается вопросов качества газа, то они решаются путем обогащения дутья кислородом, подсушки топлива, подогрева дутья и газификации под высоким давлением.

Следует отметить оригинальную конструкцию высокопроизводительного газогенератора, предложенную З. Ф. Чухановым [100]. Устройство этого газогенератора основано на том, что при

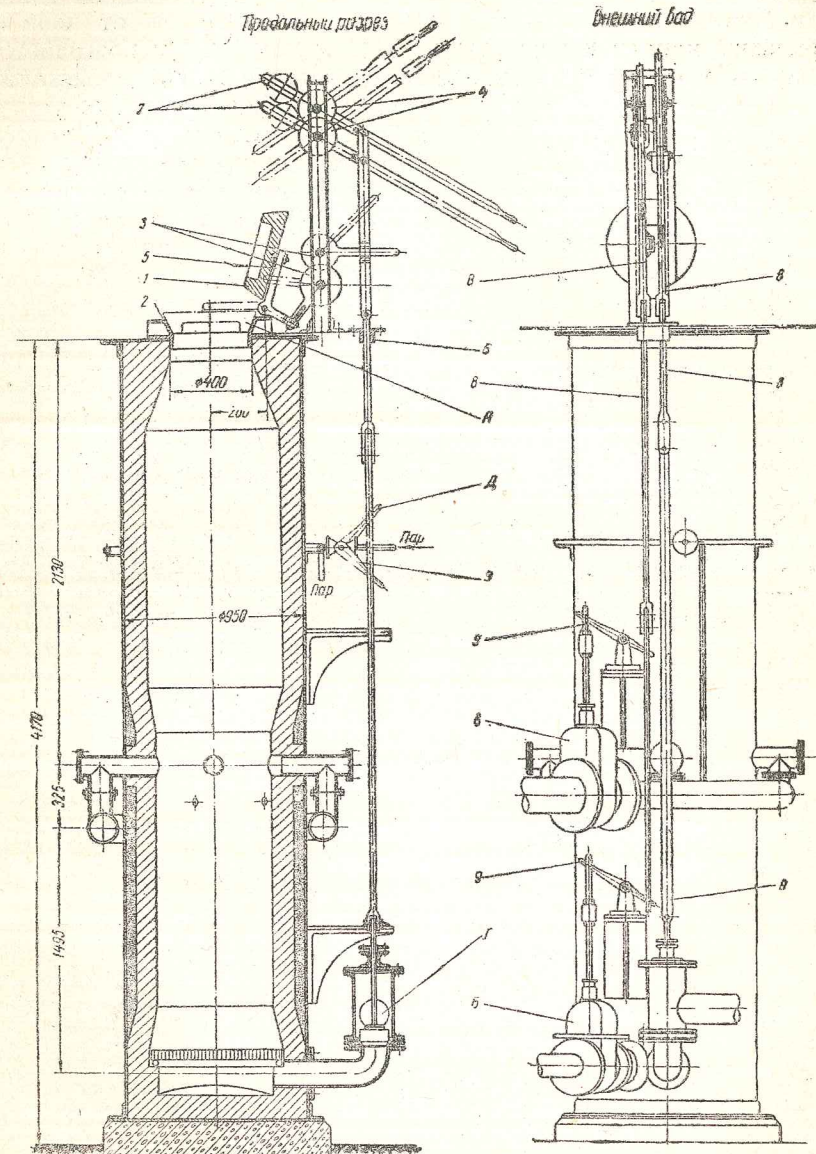


Рис. 31. Газогенератор для получения водяного газа из местных топлив: А — загрузочный клапан; Б — клапан первичного воздуха; В — клапан вторичного воздуха; Г — газовый клапан; Д — паровой клапан; 1 — тарелка клапана; 2 — седло клапана; 3 — рычаги с зубчатыми секторами; 4 — запорные диски; 5 — угловой рычаг; 6 — направляющая плита; 7 — рычаги для управления; 8 — тяги; 9 — рычаги задвижек.

подаче потока, содержащего угольную пыль, в криволинейный канал, частички угля вследствие действия центробежной силы, приобретают относительное движение, направленное от центра кривизны канала к периферии. Концентрация пыли повышается у внешней стенки и одновременно вследствие трения происходит

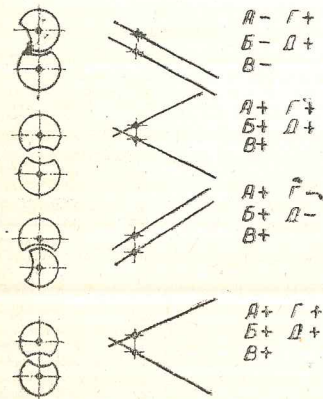


Рис. 31а. Схема управления клапанами (к рис. 31): — открыт; + закрыт.

разрушение зольной корки угольных частиц в газовом потоке. На поток пыли подается струя воздуха. Вторичный воздух идет в камеру газификации от периферии навстречу газифицируемым частичкам топлива, что обеспечивает хорошее перемешивание его с газосмесью.

Вследствие увеличения относительной скорости движения частиц, а также большого увеличения их поверхности, процесс образования газа из уносимой пыли становится более интенсивным. Скорость реакции также сильно возрастает за счет местного повышения температуры реакционной поверхности углерода вблизи стенок камеры газификации.

Глава IV ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА ГАЗА ОТ РАЗМЕРОВ ГАЗОГЕНЕРАТОРА, ИНТЕНСИВНОСТИ ГАЗИФИКАЦИИ И СВОЙСТВ ТОПЛИВА

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СОСТАВА ГАЗА И ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

Используемые в настоящее время методы расчета состава генераторного газа подразделяют на термодинамические, основанные на определении равновесных соотношений, и энергетические, учитывающие получаемые в действительности данные.

Термодинамические расчеты имеют большое значение, так как дают возможность изучить направление реакций в зависимости от воздействия того или иного фактора, предсказать направление процесса и избрать пути его практического применения или изучения. Особенно ценны термодинамические методы расчета при изучении процесса в совершенно новых необычных условиях.

Энергетические методы расчета состава газа разработаны применительно к газификации топлива под нормальным давлением. Они характеризуют отклонение состава получаемого газа от термодинамического. Условия протекания процессов по высоте слоя топлива в газогенераторе неоднородны и состав газа в отдельных сечениях газогенератора не соответствует равновесному для условий, существующих в этом сечении. Использование законов термодинамики без необходимого экспериментирования не дает достаточно данных для суждения о процессах, так как получаемые термодинамические закономерности применимы к конечным результатам или характеризуют лишь направление процесса. В практических условиях необходимо учитывать скорость реакций.

В последние годы в СССР разрабатывают методы расчета газообразования в зоне газификации по высоте слоя с учетом факторов теплообмена, скоростей реакций и гидродинамики газового потока [7, 102]. В настоящее время накоплен большой экспериментальный и научный материал, на основе которого

разработаны теоретические данные, необходимые для расчета газообразования по высоте слоя (гл. I и II). Для практических расчетов полученные зависимости еще не могут быть использованы, так как они относятся в основном к топливу, не имеющему практического применения, — электродному углю и в недостаточной мере к каменноугольному коксу и древесному углю. Кроме того, они базируются на лабораторных опытах газификации с применением чисто воздушного дутья и требуют уточнения для выявления влияния практических условий газификации: наличия слоя топлива и зоны подготовки, свойств золы и шлака, состава топлива и его свойств, теплоотдачи наружу и др.

Энергетические методы расчета разработаны русскими и советскими учеными и прежде всего В. Е. Грум-Гржимайло [103, 104] и Н. Н. Доброхотовым [69, 105, 106]. По методам, предложенным этими учеными, процессы в газогенераторах подразделяются на процесс сушки и сухой перегонки, протекающий в одной части слоя топлива, и газогенераторный процесс, протекающий в другой части слоя. Считается, что газ, отводимый из газогенератора, представляет собой смесь газов, полученных при газификации и сухой перегонке. По обоим методам составляются материальные и тепловые балансы газогенератора. Количество пара, разлагаемого в зоне газификации, определяется в соответствии с имеющимся для этой цели теплом и считается, что вся влага топлива выделяется в зоне подготовки. Однако имеется большое различие в методах, причем метод Н. Н. Доброхотова является значительно более усовершенствованным.

В. Е. Грум-Гржимайло не учитывает образования CO_2 в зоне газификации, поэтому полученный расчетом для зоны газификации состав газа не соответствует получаемому практически. В результате допущения о протекании в верхних частях слоя топлива реакции водяного газа, расчетное распределение температур в газогенераторе отличается от действительного. Кроме того, состав конечного газа не зависит от размеров газогенератора, интенсивности газификации, величины кусков и влажности топлива.

В дальнейшем был развит метод Н. Н. Доброхотова, широко используемый в настоящее время. В методе Доброхотова учитывается соотношение составных частей газа на выходе из зоны газификации в соответствии с практически установленной величиной соотношения:

$$K_{\text{опит}} = \frac{\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2 \cdot \text{CO}_2}$$

В методе Н. Н. Доброхотова принимается, что состав газа после выхода из зоны газификации подвергается изменению, причем содержание CO и H_2 в газе одновременно несколько

уменьшается. Это происходит вследствие расхода CO и H_2 на образование в верхней части слоя топлива некоторых количеств синтетических жидких продуктов и CH_4 . Кроме того, в верхней части слоя топлива может протекать реакция $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$. Указанные изменения состава газа имеют большое значение при наличии в верхней части слоя топлива катализаторов, например, специально вводимых для получения жидких продуктов и CH_4 или присутствующих в золе топлива и футеровке (в частности, окись железа способствует реакции $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$), а также при газификации под высоким давлением. В обычных условиях газификации этими изменениями состава газа часто можно пренебречь.

При расчетах учитывают тепловые балансы зоны газификации или всего газогенератора.

Н. Н. Доброхотовым совместно с В. Ф. Копытовым [106] также предложено при расчете полугазового процесса учитывать поступление в зону газификации и участие в процессах газификации полностью всех элементов и влаги топлива.

Метод Доброхотова требует дальнейшего развития в отношении учета поступления с топливом в результате его недостаточной подготовки части летучих и влаги в зону газификации и установления явной связи состава газа с размерами и условиями работы газогенератора, интенсивностью газификации, величиной кусков и влажностью топлива; обычно эти параметры учитывают косвенно, принимая различную температуру газа на выходе из газогенератора.

Таким образом, в применяемых методах расчета состава газа необходимо дополнительно учесть зависимость состава газа от практических параметров газификации.

Что касается размеров газогенератора, то площадь сечения определяется по допустимой интенсивности газификации ($\text{кг}/\text{м}^2 \text{ час}$). Эта величина установлена на основании опыта и учитывает равномерность газификации, вынос пыли или мелочи, свойства золы, размер кусков топлива, сопротивление слоя и условия обслуживания.

Практические данные о требуемых или допустимых интенсивности газификации и высоте слоя не выявляют явной зависимости их от отдельных факторов и не позволяют учесть изменения в составе газа, происходящие в том случае, когда свойства топлива, интенсивность газификации и высота слоя топлива отличаются от принятых. Предложенные зависимости во многих случаях неверны.

Особенное значение имеет зависимость размеров газогенератора от свойств топлива и интенсивности газификации при больших размерах кусков и высокой влажности топлива. В этих случаях несоответствие производительности и размеров вызывает расстройство хода газогенератора.

По Шуппе и Костылеву [107] размеры дровяных газогенера-

торов определяются по величине B (время пребывания дров в газогенераторе в сутках) и величине отношения $\frac{C}{B}$ (C —отношение объема газогенератора к объему находящегося в нем топлива). Для сухих и мелкоколотых дров $B=0,35$, для дров средней колки и сухости—0,4 и для влажных (влажность выше 25%) крупноколотых — 0,45. Отношение $\frac{C}{B}$ соответственно равно 1,4; 1,3 и 1,2.

Указанные данные не дают достаточно определенной зависимости размеров газогенератора от влажности и размеров кусков дров. Кроме того, рекомендуемые показатели не находятся в соответствии с данными опыта.

Б. С. Шведов [108] высказал предположение, что качество газа при газификации дров зависит от высоты слоя, в доказательство чего привел опытные данные. Однако, установленная им зависимость, не учитывающая влажности и размера дров, не является достаточно обоснованной.

Некоторые данные о необходимом времени пребывания дров в газогенераторе приводит М. А. Павлов [19]. Материалы исследований Павлова использованы автором для характеристики теплообмена в слое дров.

На принципиально правильных позициях в вопросе определения размеров газогенератора находится Б. И. Китаев [16]. Он предложил определять высоту слоя подготовки топлива по формуле, характеризующей длительность сушки кусков топлива с учетом коэффициентов теплопередачи в слое (см. гл. I). Эти данные могут быть использованы в отдельных случаях.

Автором [13] предложена методика расчета размеров газогенератора, учитывающая действительные условия работы газогенераторов, в случае крупнокускового и влажного топлива, позволяющая также связать состав газа с размерами газогенератора и интенсивностью газификации. Эта методика базируется на данных исследований газогенераторов.

Материалы, приведенные в главах I и II, позволяют следующим образом охарактеризовать процессы, протекающие в газогенераторе, и условиях их протекания.

В газогенераторе различают зоны: зоны золы и шлака, газификации, сухой перегонки и подсушки. Последние две объединяют под названием «зона подготовки». Слой золы и шлака (50—150 мм) предохраняет колосниковую решетку от прогара и распределяет дутье по сечению газогенератора.

В зоне газификации интенсивно протекают реакции взаимодействия углерода с кислородом дутья, а также между продуктами реакций и разложения топлива. При достаточно высокой температуре слоя и равномерном обтекании кусков топлива производительность не лимитируется скоростью восстановительных

реакций и высота зоны газификации не превышает 400—500 мм для любых интенсивностей дутья. В зоне подготовки происходят подсушка и сухая перегонка и нагрев топлива.

Вследствие больших размеров кусков и значительной влажности древесины и торфа, а иногда и бурого угля, условия их газификации определяются подготовкой, характеризующей количество влаги и часть горючей массы, поступающих в зону газификации в зависимости от интенсивности работы, высоты слоя топлива и размера кусков топлива. При использовании мелкокусковых топлив с невысокой влажностью (антрацит, каменный уголь, кокс, иногда бурый уголь) можно считать, что в обычных условиях подготовка топлива является практически полной.

Подсушка и перегонка топлива, протекающие за счет тепла газов, выходящих из зоны газификации—сложные процессы, связанные с прогревом топлива, выделением из него паров и газообразных летучих и изменением размеров и свойств топлива, а также состава и количества нагреваемых газов.

Процесс подсушки происходит в две стадии: постоянной и падающей скоростей сушки. При газификации крупнокускового топлива происходит быстрая сушка газами с относительно высокой температурой, поэтому особенное значение имеет вторая стадия, на которой скорость внутренней диффузии влаги к поверхности тела лимитирует процесс сушки.

При небольших размерах кусков топлива, а также низкой температуре нагреваемых газов можно предположить, что куски топлива последовательно проходят стадии сушки, сухой перегонки и газификации. В поверхностных слоях крупных кусков топлива при значительном содержании влаги процессы сухой перегонки начинаются еще до того, как внутренние слои топлива окончательно подсохли, т. е. в этом случае происходит совмещение зон подсушки и сухой перегонки.

Топливо, подвергающееся сухой перегонке, значительно уменьшается в размерах, растрескивается и свойства его изменяются. Выделяющиеся из топлива газы примешиваются к газам, нагревающим топливо.

При достаточной длительности подсушки и сухой перегонки, а также достаточном теплосодержании газов, выходящих из зоны газификации, в последнюю поступает кокс, нагретый до температуры, близкой к температуре верхней границы зоны и содержащий очень малые количества водорода и кислорода. При недостаточной подготовке топлива выделение влаги и летучих продолжается в зоне газификации.

Из изложенных соображений приходим к выводу о необходимости самостоятельного расчета процессов в зонах газификации и подготовки топлива и учета их взаимного влияния в зависимости от размеров газогенератора, интенсивности газификации и свойств топлива.

Выход и состав смол при газификации

Вид топлива	Выход в % от горючей массы	Состав в %				
		C	H	O	N	S
Древесина	12	67,0	7,0	26,0	—	—
Торф	10	75,0	9,0	14,0	2,0	—
Бурые угли:						
подмосковный	7,0—9,0	80,0	8,0	9,5		2,5
челябинский	6,0—7,0	80,0	8,0	11,0		1,0
богословский	0,6—1,2	—	—	—	—	—
черновский (Восточная Сибирь)	6,0—7,0	—	—	—	—	—
ленгерский (Средняя Азия)	3,0—4,0	—	—	—	—	—
ивотыкульский (Средняя Азия)	3,0—4,0	—	—	—	—	—
сулюктинский (Средняя Азия)	близок к 0	—	—	—	—	—
райчихинский (Хабаровск-уголь)	0,7—1,0	—	—	—	—	—
Каменные угли:						
донецкий газовый	3,5—5,5	80,0	10,0	8,0		2,0
донецкий длиннопламенный	4,0—7,0	77,0	9,0	11,0		3,0
ленинский, марки Д (Жури-нский)	6,0—9,0	80,0	10,0	8,7	1,2	0,1
прокопьевский, марки СС (Востсибуголь)	3—6	—	—	—	—	—
черемховский, марки Д (Кузбассуголь)	1,0—1,5	—	—	—	—	—
тквибульский, марки Г (Тквибуголь)	8,0	—	—	—	—	—
кизеловский, марки Г	8,0	—	—	—	—	—
араличевский, марки Т (Кузбассуголь)	близок к 0	—	—	—	—	—
хумаринский, марки Д	6,0	—	—	—	—	—

Определению подлежат:

- 1) состав и выход продуктов сухой перегонки с учетом полноты подготовки топлива;
- 2) состав и выход кокса с учетом подготовки топлива, т. е. количества летучих продуктов и влаги, не выделившихся в зоне подготовки и поступающих в зону газификации;
- 3) состав и выход газа в зоне газификации, с учетом состава кокса в данных условиях перегонки и добавки пара в дутье;
- 4) состав, выход и температура конечной смеси газов;
- 5) величина добавки пара в дутье.

Степень полноты подготовки устанавливается на основе расчетов теплообмена в слое с использованием зависимостей коэффициентов теплопередачи от различных факторов газификации, а состав газа, получаемого в зоне газификации, рассчитывается с учетом доли влаги и летучих, соответствующей неполноте подготовки.

От этих условий зависят и размеры газогенератора. Для заданных степени подготовки топлива и интенсивности газификации определяют основные факторы теплообмена и по ним размеры зон подготовки, газификации и золы и конструктивную высоту газогенератора. Н. В. Лавров [111] и др. предложили интересные графические методы расчета, которыми можно пользоваться, в случае увязки с практическими параметрами газификации.

Состав и выход продуктов сухой перегонки, уноса и остатков

Ниже приводятся ориентировочные выходы продуктов сухой перегонки, получаемых при газификации в случае полной подготовки топлива, в основном по данным Н. Н. Доброхотова. Они зависят от скорости нагрева и размера кусков топлива [124], и могут изменяться, если процесс ведут в специальных условиях, например при высоком давлении, в присутствии катализаторов и т. д.

- 1) Водяные пары. При полной подготовке топлива во влагу газа переходит примерно 50% всего связанного кислорода и эквивалентное ему количество водорода топлива, а также механически и коллоидально связанная влага.
- 2) Углекислый газ. В CO₂ переходит в случае торфа 30—35%, древесины 20—25%, бурого угля 30%, каменного угля 20% и антрацита и кокса 10% всего кислорода.
- 3) Метан. Количество водорода, переходящего в метан, составляет в случае древесины и торфа 20%, бурого и каменного угля, антрацита и кокса 25% всего содержания водорода в топливе.
- 4) Этилен. В этилен переходит 3—5% всего водорода.
- 5) Смолы. Выход смолы при газификации сильно меняется в зависимости от условий газификации. С увеличением размеров

при резком нагреве. Выход смолы, близкий к максимальному, получаемому при сухой перегонке в алюминиевой реторте, наблюдается при газификации топлива в высоком слое, в частности в газогенераторах со швельшахтой (при топливах с малым содержанием влаги—с двойным отводом газа). Ухудшение подготовки топлива влечет уменьшение выхода смол. В силовых газогенераторах организуют режим таким образом, чтобы выход смол был минимальным.

В табл. 24 приведены приближенные данные о выходе и составе смол при газификации в случае практически полной подготовки.

6) Уксус. Под «уксусом» понимается уксусная кислота, метиловый спирт, формальдегид и некоторые другие продукты, выделяющиеся при сухой перегонке древесины и торфа. Выход их составляет в случае древесины 4,4% и торфа—2,5% веса горючей массы. Состав уксуса: С—40,8%, Н—8,8%, О—50,4%, Q_n —4200 ккал/кг.

7) Азот. Для обычных условий газификации можно пренебречь выходом аммиака и принять, что азот целиком переходит в газ в виде газообразного азота.

8) Сера. Приблизительно 20—40% серы остается в золе, 60—80% серы переходит в газ в виде сероводорода.

9) Пыль. Выход пыли зависит от размеров кусков, свойств топлива и условий газификации. Для ориентировочных расчетов можно принять, что унос имеет следующий состав: 70% С и 30% А. В случае газификации древесины уносом обычно можно пренебречь.

10) Водород. Водород, оставшийся за вычетом перешедшего в продукты сухой перегонки, переходит в газ в виде свободного водорода.

11) Окись углерода. Кислород, оставшийся за вычетом перешедшего в продукты сухой перегонки, переходит в газ в виде окиси углерода.

12) Горючее в остатках. С известным приближением горючее в остатках можно принять состоящим из одного углерода. Потеря углерода составляет при благоприятных свойствах золы и условиях газификации 5—12% и при неблагоприятных—до 25—30%.

13) Часть топлива, поступающая в зону газификации. При полной подготовке топлива в зону газификации поступают газифицирующийся углерод, зола и элементы топлива, теряющиеся с остатками. При неполной подготовке топлива, кроме того, поступает часть летучих и влаги.

В качестве первого приближения принимается, что элементы летучей части и влаги поступают в количествах, пропорциональных неполноте подготовки и содержанию их в топливе. Ввиду малого содержания азота выделением его в зоне газификации при обычных условиях газификации пренебрегают.

Часть топлива, поступающая в зону газификации, состоит из газифицирующейся части и остатков и представляет собой кокс.

Состав и выход газа в зоне газификации

Состав и выход газа в зоне газификации определяются на основе материальных балансов углерода, водорода и кислорода, теплового баланса зоны и опытных данных о величине соотношения $K = \frac{CO \cdot H_2O}{H_2 \cdot CO_2}$ на выходе из зоны газификации, равного 2:

$$1) \text{ Баланс углерода: } CO_2 + CO = C + CO_2' \quad (44)$$

$$2) \text{ Баланс кислорода: } 2CO_2 + CO + H_2O = \frac{2 \cdot m}{1-m} N_2 + W'' + W' + 2O_2' \quad (45)$$

$$3) \text{ Баланс водорода } H_2 + H_2O = H_2' + W' + W'' \quad (46)$$

$$4) \text{ Значение } K = \frac{CO \cdot H_2O}{H_2 \cdot CO_2} = 2 \quad (47)$$

5) Тепловой баланс зоны газификации:

$$Q_n'' + t'' c'' G'' + c'' \cdot 18 W'' t'' + c'' \frac{N_2}{1-m} \cdot 22,4 \cdot t'' = 67650 CO + 57800 H_2 + c_{CO} \cdot t'' \cdot 22,4 CO + c_{H_2} \cdot t'' \cdot 22,4 \cdot H_2 + c_{CO_2} \cdot t'' \cdot 22,4 \cdot CO_2 + c_{N_2} \cdot t'' \cdot 22,4 \cdot N_2 + c_{H_2O} \cdot t'' \cdot 22,4 \cdot H_2O + q_{ок}' + G^{oc} t^{oc} c^{oc} + q_{ост} \quad (48)$$

В приведенных уравнениях приняты следующие обозначения: С—газифицируемый углерод в мол/100 кг рабочего топлива (р. т.); CO_2, CO, H_2, N_2, H_2O —количества соответствующих газов, получаемых в зоне газификации, в мол/100 кг р. т.

W', H_2', O_2' —количество соответственно жидкой влаги, водорода и кислорода, поступающих с топливом в зону газификации, в мол/100 кг р. т.

G'' и G^{oc} —вес кокса, поступающего в зону газификации, и вес остатков в кг/100 кг р. т.

t'' —температура кокса в град.

c'' —удельная теплоемкость кокса в ккал/кг град.

W'' —количество пара, вводимого с дутьем в мол/10 кг р. т.

t'' —температура дутья в град.

c'' и c'' —теплоемкость соответственно водяного пара и сухого дутья при t'' в ккал/кг град и ккал/м³ град.

t^{oc} —температура остатков в град.

c^{oc} —удельная теплоемкость остатков в ккал/кг град.

$q'_{ок} = aC$ —потеря тепла зоной газификации в окружающую среду в ккал/100 кг р. т.

m — содержание O_2 в дутье, состоящем из O_2 и N_2 , в долях единицы;

CO_2 — количество углекислого газа, вводимого в зону газификации с дутьем, в *мол/100 кг р. т.*

$Q_{в}''$ — потенциальное тепло кокса, поступающего в зону газификации, в *ккал/100 кг р. т.*

$Q_{ост}$ — потенциальное тепло остатков в *ккал/100 кг р. т.*

t^r — температура газов на выходе из зоны газификации в *град.*

$c_{co}; c_{co_2}; c_{n_2}; c_{h_2o}; c_{h_2}$ — удельная теплоемкость газов, указанных индексом при t^r в *ккал/нм³ град.*

t^p — составляет для активных топлив (древесины, торфа и бурого угля) 900° и для менее активных (каменного угля и антрацита) — 1000° .

Величина a — потеря тепла в окружающую среду зоной газификации на 1 моль газифицируемого углерода может быть принята равной 5000 ккал для газогенераторов с искусственным дутьем и 10000 ккал для газогенераторов с естественной тягой.

Удельная теплоемкость кокса C^k имеет следующие значения.

Температура в град.	0	500	600	700	800	900	1000
Теплоемкость в ккал/кг град.	0,250	0,305	0,315	0,325	0,335	0,342	0,350

Зола и шлак выходят из газогенератора с температурой $200 - 800^\circ$. Если они поступают в гидравлический затвор, испаряется некоторое количество влаги, примешивающейся к дутью.

Температуру остатков на выходе из топливного слоя можно принять равной $300 - 600^\circ$ и теплоемкость их $c^{oc} = 0,2$ ккал/кг град.

Температура кокса t^k , поступающего в зону газификации, зависит от неполноты подготовки топлива θ (в долях единицы) и составляет

$$t^k = t^r (1 - \theta) \quad (49)$$

Состав, выход и температура конечной смеси газов

В обычных условиях газификации и при отсутствии катализаторов, способствующих образованию из газов синтетических продуктов и разложению CO , принимается, что газы, выходящие из газогенератора, представляют собой смесь продуктов собственной газификации и сухой перегонки.

Температура конечной смеси определяется из теплового баланса зоны подготовки:

$$Q_{в}^p + c^r t^r V^r = c^k t^k G^k + q_{ок}'' + q_{пот} (1 - \theta) + Q_{н}^k + q_{ост} + q_{ун} + c_1^r t_1^r V_1^r + c_{см} G_{см} t^r \quad (50)$$

где: $Q_{н}^p$ — потенциальное тепло топлива в *ккал/100 кг р. т.*;

c^r, t^r, v^r — соответственно удельная теплоемкость в *ккал/нм³ град.*, температура в *град.* и объем в *нм³/100 кг р. т.* газов, поступающих из зоны газификации;

$Q_{ок}$ — потеря тепла зоной подготовки в окружающую среду в *ккал/100 кг р. т.*;

$Q_{пот}$ — потенциальное тепло продуктов сухой перегонки, получаемых при полной подготовке топлива, в *ккал/100 кг р. т.*;

$Q_{ун}$ — потенциальное тепло уноса в *ккал/100 кг р. т.*

$c_1^r t_1^r V_1^r$ — соответственно удельная теплоемкость в *ккал/нм³ град.*, температура в *град.* и объем газов в *нм³/100 кг р. т.* на выходе из газогенератора;

$c_{см}, G_{см}$ — соответственно удельная теплоемкость в *ккал/кг град.* и вес в *кг смол и уксуса* на выходе из газогенератора.

Высота слоя топлива

Высота слоя золы и шлака составляет $50 - 150$ мм и зоны газификации $200 - 400$ мм в зависимости от активности и размеров кусков топлива. Слой золы и шлака не поддерживают большим, ввиду неравномерности толщины подушки по сечению генератора и размеров кусков шлака. Высота зоны подготовки H м зависит от теплообмена в слое и определяется из выражения:

$$Q_T (1 - \theta) V = \alpha_r H \Delta t \quad (51)$$

где: Q_T — количество тепла, необходимого для подготовки топлива, в *ккал/кг*;

θ — неполнота подготовки в долях полной;

V — интенсивность газификации в *кг/м² час*;

H — высота зоны подготовки в *м*;

α_r — коэффициент теплообмена в слое в *ккал/м²*;

Δt — средняя разность температур газов и топлива в град.

$$\Delta = t \frac{(t_1^r - t_1) - (t^r - t^k)}{2,303 \lg \frac{t_1^r - t_1}{t^r - t^k}} \text{ град.} \quad (52)$$

t_1 и t^k — температура нагреваемого потока (т. е. топлива) соответственно при входе и выходе в *град.*

t^r и t_1^r — то же для греющего потока (т. е. газов) в *град.*

Величина Q_T определяется из выражения:

$$100 Q_T (1 - \theta) = c^r t^r V_1^r - q_{ок}'' - c^r V_1^r t_1^r \varphi \quad (53)$$

φ — коэффициент, учитывающий изменение теплоемкости газов с температурой.

Формулу (53) можно выразить через водяной эквивалент газов $\frac{W^r}{t^r}$, причем $100W^r = c^r t^r v^r - q_{ок}''$:

$$100 Q_r(1 - \Theta) = \frac{100 W^r}{t^r} (t^r - t_1^r \varphi) - \frac{q_{ок}'' t_1^r \varphi}{t^r} \quad (54)$$

Значение φ определяется из выражений:

$$\text{для } t^r = 900^\circ \quad \varphi = 0,925 + 0,000083 \cdot t_1^r \quad (55a)$$

$$\text{для } t^r = 1000^\circ \quad \varphi = 0,925 + 0,000075 \cdot t_1^r \quad (55b)$$

Величины $\frac{W^r}{t^r}$ представляют собой теплоемкости (водяные числа) в ккал/град газов, поступающих из зоны газификации, на 1 кг р. т.

Водяное число для топлива $\left(\frac{W_{T,1}}{t^r}\right)$ определяется из выражения $Q_r : t^r = W_{T,1} : t^r$.

На теплообмен в слое влияют теплоотдача от газов к кускам и термическое сопротивление кусков, учитываемые значением α_r .

Согласно исследованиям автора величину α_r для условий работы газогенераторов можно определить по формулам:

для дров диаметром 0,08 — 0,16 м

$$\alpha_r = 0,25 \frac{w_0^{0,33}}{d^{1,67}} \text{ ккал/м}^3 \text{ час} \quad (56)$$

для щепы нормальных размеров

$$\alpha_r = 5w_0^{0,7} \text{ ккал/м}^3 \text{ час град.} \quad (57)$$

для торфа нормальных размеров

$$\alpha_r = 3,5w_0^{0,6} \text{ ккал/м}^3 \text{ час град.} \quad (58)$$

где w_0 — скорость газов, отнесенная к полному сечению газогенератора в нм/час.

При вычислении на основании опытных данных указанных значений α_r состав газа, выходящего из зоны газификации, определяли по уравнениям (44) — (48). За температуру топлива принималась средняя температура всей массы топлива.

Для других топлив или при иных размерах кусков следует учитывать зависимость от различных факторов коэффициента теплоотдачи α ккал/м². час град и тепловое сопротивление кусков.

Если известна величина α_r , расчет можно вести по формулам противоточных теплообменников и рис. 32. Эти формулы могут быть использованы в случае постоянства значений коэффициентов теплоотдачи и теплоемкостей сред, отдающей и воспринимающей тепло, или взаимной компенсации изменения их значений. Температура греющего потока при выходе.

$$t_1^r = t^r - (t^r - t_1) \frac{W_{T,1}}{W} (1 - \Theta) \text{ град.} \quad (59)$$

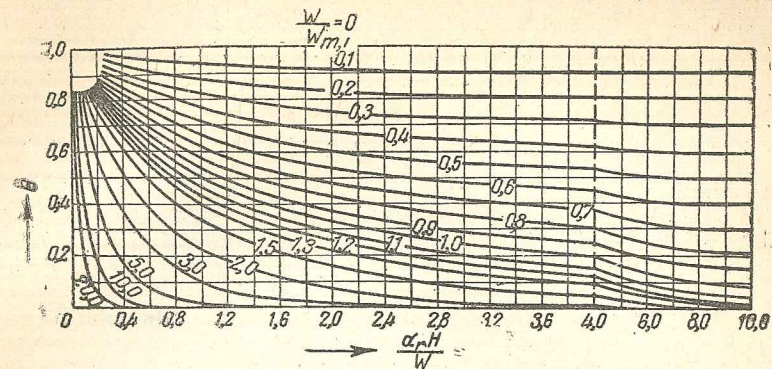


Рис. 32. Значение Θ

Температура нагреваемого потока при выходе:

$$t^k = t^r - (t^r - t_1) \Theta \text{ град.} \quad (60)$$

где

$$\Theta = \frac{1 - \frac{W_{T,1}}{W}}{1 - \frac{W^r}{W_{T,1}} e^{-\frac{\alpha_r H}{BW} \left(1 - \frac{W}{W_{T,1}}\right)}} \quad (61)$$

Количество тепла, передаваемого в слое:

$$Q = (t^r - t_1) W_{T,1} (1 - \Theta) \text{ ккал/час} \quad (62)$$

при $W = W_{T,1}$

$$t_1^r = t^r - (t^r - t_1) \frac{1}{1 + \frac{\alpha_r H}{BW}} \text{ град.} \quad (63)$$

$$t^k = t^r - (t^r - t_1) \frac{1}{1 + \frac{\alpha_r H}{BW}} \text{ град.} \quad (64)$$

$$Q = (t^r - t_1) \frac{W}{1 + \frac{\alpha_r H}{BW}} \text{ ккал/кг} \quad (65)$$

здесь W и $W_{T,1}$ — водяные числа (ккал/град) соответственно греющего (газов) и нагреваемого (топлива) потоков,

Если площадь сечения слоя F м² и высота H м, то

$$\alpha_r HF = \alpha F^1 \quad (66)$$

где α — коэффициент теплоотдачи от газов к материалу в ккал/м² час град,

F^1 — поверхность кусков топлива в м².

Если неизвестна величина α_r , теплообменник разделяют на участки, в пределах которых температура газов принимается

постоянной и учитывают тепловой баланс каждого участка. Для расчета используют графики Будрина и Красовского [8].

При этом коэффициент теплоотдачи от газа к поверхности кусков $\alpha = \alpha_k + \alpha_d$ определяется по уравнениям (16а), (16б), (17).

В тех случаях, когда тепловым сопротивлением куска топлива можно пренебречь, считают, что тепло, которое идет на нагрев куска топлива расходуется прежде всего на его подсушку, а затем кусок будет равномерно нагреваться и во всей его толще будут протекать процессы, обусловленные температурой.

Состав газа при заданных параметрах газификации

Если известны высота слоя топлива, размер кусков и состав топлива, а также интенсивность газификации, можно определить состав получаемого газа для нормальных условий газификации, т. е. при отсутствии прогаров и нормальной величине потерь тепла в окружающую среду. Задача сводится к определению величины θ , равной отношению количества тепла, передаваемого в зоне подготовки (Q_r), к количеству тепла, требуемому для полной подготовки (Q_T): $\theta = \frac{Q_r}{Q_T}$ и далее состава и выхода получаемого газа. Если известна величина α_r (или же α_k и α_d к — при пренебрежимо малом тепловом сопротивлении кусков), расчет можно вести по формулам (51)—(53) или графику рис. 32 в зависимости от соотношений $\frac{W}{W_{T+1}}$ и $\frac{\alpha_r H}{W}$.

Если известны величины α_k и α_d и тепловым сопротивлением куска нельзя пренебречь, то по графикам Будрина и Красовского для данных значений F_0 и V_i определяется величина θ .

Конструктивная высота газогенератора

Внутренняя высота шахты газогенератора определяется в зависимости от максимальной требуемой высоты слоя топлива, высоты, требуемой для расположения газоотводного отверстия и подъема свода газогенератора. Для улучшения условий теплообмена и выделения смол, а также создания возможности шуровки слоя, над основной шахтой пристраивается швельшахта.

Внешняя высота шахты определяется в зависимости от внутренней, а также от чисто конструктивных условий.

Добавка пара в дутье

Количество водяного пара, вводимого в дутье, зависит от температуры кислородной зоны, допускающей работу без значительного шлакования. Поэтому для определения количества вводимого пара требуется знать распределение температур в кислородной зоне. Решение такой задачи представляет значитель-

ные трудности. Распределения температур по высоте слоя и сечению кусков переменны. Недостаточно установлен в практических условиях газогенераторов характер газообразования по высоте кислородной зоны, имеющей малую высоту (двух-трехкратный размер куска). Вместе с тем недостаточно определены и зависимости, связывающие температуру в зоне окисления и степень шлакования. Зола представляет собой механическую смесь различных соединений с различной температурой плавления; составные части с низкой температурой плавления, расплавляясь, являются цементом для более огнеупорной. В результате образуется в зависимости от количества расплавившейся части золы более или менее губчатый шлак, содержащий некоторое количество горючих. Поэтому трудно установить определенную температуру образования шлаков, препятствующую газификации.

Задачу решаем приближенно, делая следующие предположения:

1) Допустимая температура поверхности равна температуре плавления золы в полувосстановительной среде. Средняя температура газов в кислородной зоне может превышать температуру поверхности кусков на 150—200°.

2) Водяной пар, вводимый с дутьем и выделяющийся из топлива, не разлагается в кислородной зоне (H_2 сгорает в H_2O).

3) Влага и элементы коксового остатка, помимо углерода, выделяются в зонах восстановления и кислородной в количествах пропорциональных реагирующему углероду.

4) Приближенные соотношения количества CO и CO_2 , образующихся в кислородной зоне: при высокой температуре и малых размерах кусков для активного топлива (древесина, торф и бурый уголь) $CO:CO_2=2$ и для менее активного (каменный уголь, антрацит, каменноугольный кокс) 1,5; при низкой температуре кислородной зоны и крупных кусках топлива для активного топлива $CO:CO_2=1,5$ и менее активного 1.

Для активного топлива приближенно «высокая» температура газов характеризуется областью выше 1300° и для менее активного—выше 1500°. Размер кусков выше 10—15 мм является сравнительно большим.

В соответствии с вышеизложенным определение требуемой величины добавки пара производится по следующей схеме:

1) Для определения добавки в дутье водяного пара рассчитывают состав и количество газов, получаемых в зоне газификации, расход воздуха и степень подготовки топлива, т. е. количество элементов горючей массы и влаги, поступающих в зону газификации, по методике, приведенной выше.

2) Принимая определенную высоту зоны золы и шлака (100—200 мм) и считая температуру нижней границы зоны окис-

ления равной 900—1000°, рассчитывают температуру подогрева дутья и выходящего шлака.

3) Учитывая состав газа, выходящего из зоны газификации, и принятую величину отношения CO:CO₂, определяют для кислородной зоны количество взаимодействующих веществ и получаемых газов.

4) Составляют тепловой баланс кислородной зоны и на основе его определяют температуру газов в кислородной зоне.

При составлении теплового баланса учитывают тепло: 1) потенциальное и нагрева поступающего топлива; 2) потенциальное и нагрева уходящих газов; 3) нагрева дутья; 4) потенциальное и нагрева удаляемых остатков; 5) теряемое в окружающую среду и 6) теряемое зоной за счет теплопередачи кусками топлива в направлении других зон.

Приблизненно возможно принять следующие величины теплоотдачи кислородной зоной в расчете на 1 моль всего газифицируемого углерода: для больших газогенераторов при интенсивной работе — 5000 ккал и для малых газогенераторов, а также при работе с естественной тягой — 10000 ккал.

5) Если температура в кислородной зоне превышает допустимую, это указывает на необходимость добавки пара и наоборот.

Оптимальная производительность газогенератора

Производительность газогенератора в нормальных условиях работы ограничивается выносом мелких частиц топлива при загрузке или с поверхности слоя. Максимально допустимая скорость газов, а отсюда и производительность газогенератора определяется по формуле (32) (см. главу I).

Иногда производительность ограничивается располагаемым давлением дутья и шлакованием золы.

СОСТАВ ГАЗА И РАЗМЕРЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ

Состав горючей массы древесины принимаем по данным Всесоюзного теплотехнического института (ВТИ) (109).

$$C^r - 50,75\%; H^r - 6,12\%; O^r - 42,53\%; N^r - 0,60\%.$$

Зольность топлива (A^c) принимаем равной $1\% - Q_H^r = 4510$ ккал/кг.

Принимаем выходы и составы продуктов сухой перегонки при газификации древесины в условиях полной ее подготовки в газогенераторе (на 100 кг горючей массы), приведенные в табл. 25 и далее.

Выходы продуктов сухой перегонки древесины при полной подготовке

№ п/п	Наименование	Выход в % веса горючей массы	Состав в %			В кг на 100 кг горючей массы		
			С	Н	О	С	Н	О
1	Смола	12,12	67,0	7,0	26,0	8,12	0,85	3,15
2	Уксус	4,39	40,8	8,0	51,2	1,79	0,35	2,25
3	Метан	3,68	75,0	25,0	—	2,76	0,92	—
4	Этилен	1,26	85,7	14,3	—	1,08	0,18	—
5	Влага	26,36	—	11,1	88,9	—	2,93	23,43
	Всего					13,75	5,23	28,83

Свободного водорода $6,12 - 5,23 = 0,89$ кг, кислорода, переходящего в CO и CO₂, $42,53 - 28,83 = 13,70$ кг и при равных объемных выходах CO и CO₂:

$$\text{углекислого газа } \frac{13,70 \cdot 2 \cdot 44}{3 \cdot 32} = 12,57 \text{ кг,}$$

$$\text{окиси углерода } \frac{13,70 \cdot 28}{3 \cdot 16} = 7,97 \text{ кг,}$$

азота — 0,60 кг.

На 100 кг рабочего топлива при полной подготовке получаем следующие выходы газообразных продуктов сухой перегонки при влажности топлива W^m кг/кг:

$$CO_2 - \left(\frac{12,57 \cdot 0,99}{1,977} \right) (1 - W^m) = 6,29 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$CO - 6,30 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$CH_4 - 5,10 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$C_2H_4 - 1,00 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$N_2 - 0,47 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$H_2 - 9,81 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$H_2O - \left(\frac{26,36 \cdot 0,99}{0,804} \right) (1 - W^m) = 32,5 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

Переходит углерода в зону газификации

$$(50,75 - 13,75 - \frac{12,57 \cdot 12}{44} - \frac{7,97 \cdot 12}{28}) \cdot 0,99 (1 - W^m) = 29,8 (1 - W^m) \text{ кг.}$$

Принимая потерю в провале составляющей $0,6(1 - W_T)$ кг, получаем, что газифицируется углерода $29,2(1 - W_T)$ кг.

Делаем допущение, что при неполноте подготовки соответственная часть всех летучих элементов топлива и влаги, равная Θ — доле полной подготовки, уносится с коксом в зону газификации.

Количество элементов топлива и влаги, поступающих в зону газификации, характеризуется табл. 26.

Состав газа, получаемого в зоне газификации, состоящего из углекислого газа, окиси углерода, водорода, кислорода и водяного пара, определяем по уравнениям (44) — (48).

При решении уравнений принято:

$$0,45 \cdot 18 W^m t^d + 0,31 \frac{N_2}{0,19} 22,4 t^d = 900 W^m, \quad (67)$$

что соответствует случаю, когда паровоздушная смесь нагревается паром с температурой 110° , а начальная температура воздуха равна нулю.

Вообще же в уравнении учитывается теплота нагрева воздуха и пара или смеси.

На рис. 33 приведены составы газов, получаемых на выходе из зоны газификации и из газогенератора для различных Θ при потере тепла в окружающую среду $a=5000$ ккал на 1 моль газифицируемого углерода и при добавках пара $G_d=0; 0,5$ и $1,5$ кг на 100 кг рабочего топлива.

Температуры генераторного газа на выходе из газогенератора и характеристики протекающих в зоне газификации процессов определяем из теплового баланса зоны подготовки.

Количество кокса, поступающего в зону газификации:

$$G_k = 30,8(1 - W^m) + \Theta(69,2 + 30,8W^m) \text{ кг/100 кг.} \quad (68)$$

Температура кокса, поступающего в зону газификации:

$$t_k = 900 - \Theta \cdot 900 = 900(1 - \Theta) \text{ град.} \quad (69)$$

Количество смолистых веществ, выходящих из зоны подготовки:

$$G_{см} = (12,12 + 4,39) \cdot 0,99(1 - W^m)(1 - \Theta) = 16,33(1 - W^m)(1 - \Theta) \text{ кг/100 кг} \quad (70)$$

Температуру загружаемого топлива принимаем равной 0° . Теплотворная способность смолы: $81 \cdot 67 + 246 \cdot 7 - 26 \cdot 26 = 6470$ ккал/кг. Теплотворная способность уксуса $81 \cdot 40,8 + 246 \cdot 8,0 - 26 \cdot 51,2 = 3944$ ккал/кг.

Составляем тепловой баланс зоны подготовки по уравнению (50). Потерю тепла в окружающую среду зоной подготовки принимаем равной 1% потенциального тепла топлива.

Решение уравнения позволяет определить t_1^r .

Значения t_1^r для рассматриваемых случаев приведены на рис. 34. Полученные данные по составам, выходам и темпера-

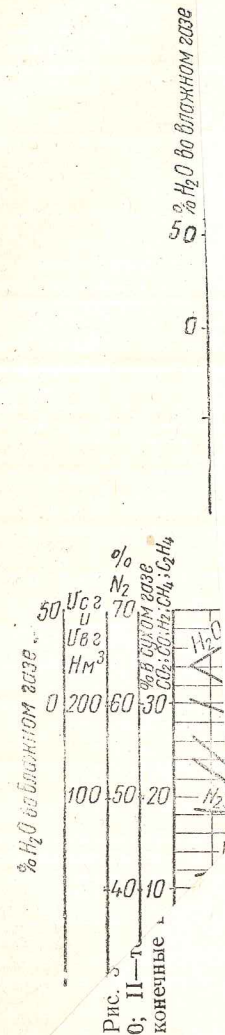
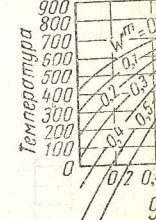
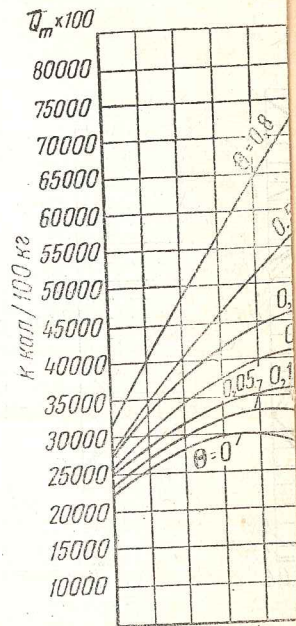
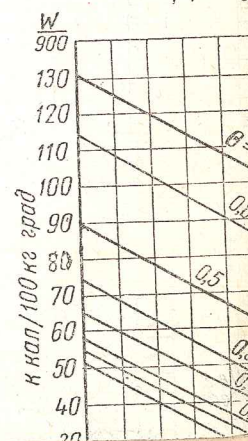


Рис. 33
0; II — конечные



100 x



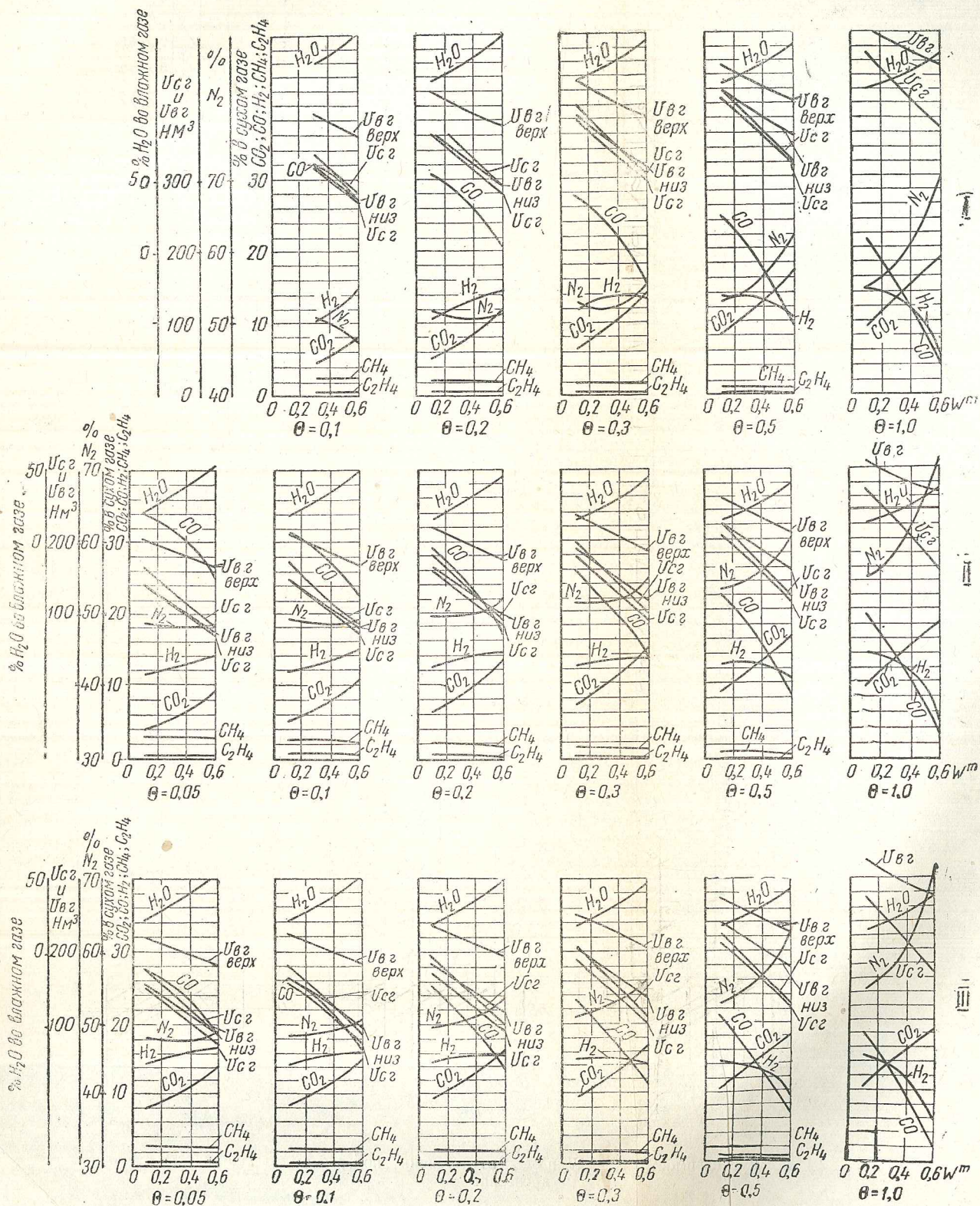


Рис. 33. Составы и выходы газов из древесины в зависимости от степени подготовки ее: I—добавка пара 0; II—то же 5; III—то же 15 кг/100 кг древесины; и $U_{в2}$ выходы сухих и влажных газов в $лм^3/100$ кг (верх—конечные выходы: низ—из зоны газификации); θ — неполнота подготовки.

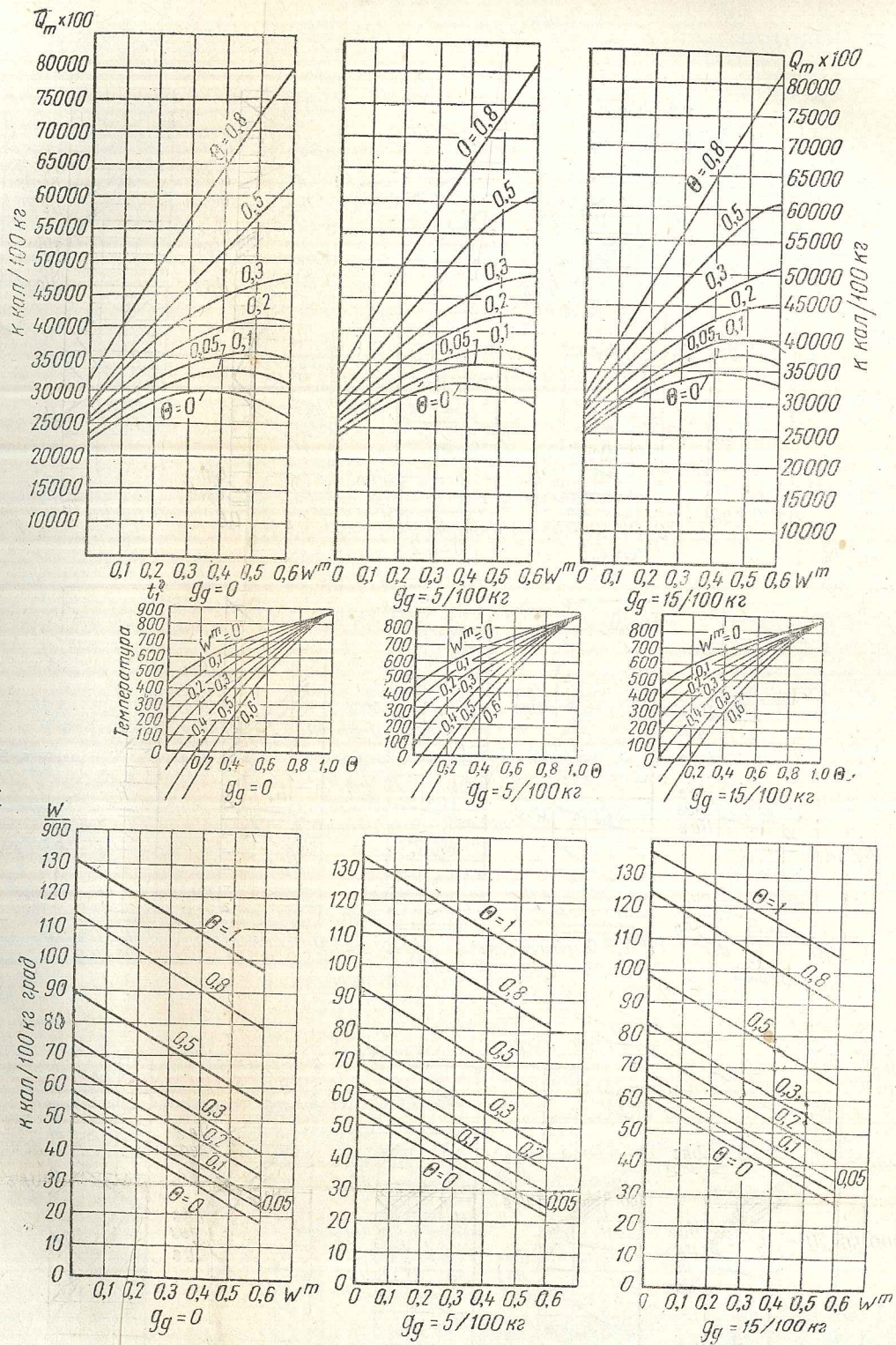


Рис. 34. Зависимость t_i ; W и Q_m от степени подготовки и влажности древесины.

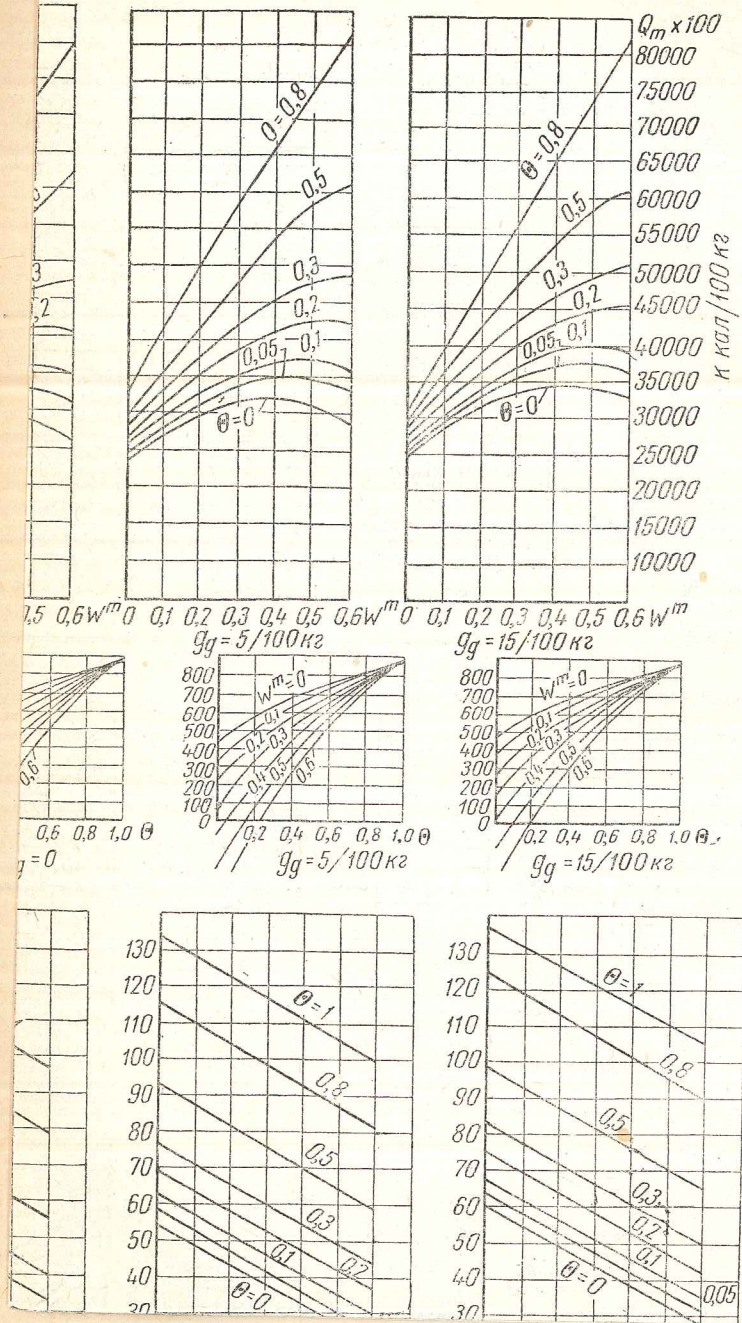


Таблица 26

Количество элементов топлива и влаги топлива, поступающих в зону газификации на 100 кг древесины

	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0
θ	29,8	30,8	31,8	33,9	35,9	40,1	50,2
$\frac{C}{1-W^m}$	0	$\frac{0,158^*}{0,304}$	$\frac{0,316}{0,61}$	$\frac{0,631}{1,22}$	$\frac{0,948}{1,82}$	$\frac{1,58}{3,04}$	$\frac{3,16}{6,07}$
$\frac{H}{1-W^m}$	0	$\frac{0,945^*}{2,11}$	$\frac{1,89}{4,22}$	$\frac{3,78}{8,44}$	$\frac{5,67}{12,66}$	$\frac{9,45}{21,1}$	$\frac{18,9}{42,2}$
$\frac{O}{1-W^m}$	0	$\frac{1,3 + 3,7 W^m}{5 W^m}$	$\frac{2,6 + 7,4 W^m}{10 W^m}$	$\frac{5,2 + 14,8 W^m}{20 W^m}$	$\frac{7,8 + 22,2 W^m}{30 W^m}$	$\frac{13 + 37 W^m}{50 W^m}$	$\frac{26 + 74 W^m}{100 W^m}$
H_2O	0	34,2	37,6	44,5	51,3	65,7	100
Всего ** кокса ($A^c = 1\%$)	$30,8 \times (1 - W^m)$	-29,2 W^m	-27,6 W^m	-24,5 W^m	-21,3 W^m	-15,7 W^m	0
Температура кокса	900	855	810	720	630	450	0

* В числителе — с учетом конституционной влаги топлива.
 ** С учетом азота топлива.

туре газов могут быть использованы для расчетов теплообмена в слое топлива и определения требуемых размеров газогенератора.

При расчетах теплообмена в слое древесины следовало бы разделить слой на несколько участков, для которых свойства газов и топлива, определяющие теплообмен, можно было бы считать постоянным. Однако этот путь в настоящее время не может быть использован. Поэтому пользуемся уравнениями 56, 57.

Величина Q_m определяется из выражения (см. уравнения 53, 54):

$$100 Q_m(1 - \Theta) = q_{г,1} - q_{ок}'' - q_{г,1} \cdot \frac{t_1^{\text{г}} \varphi}{900} =$$

$$W = 100 \frac{900 - t_1^{\text{г}} \varphi}{900} - \frac{q_{ок}'' \cdot t_1^{\text{г}} \varphi}{900} \quad (71)$$

Здесь $q_{ок}''$ определяется из выражения:

$$q_{ок}'' = [4510 \cdot 0,99 (1 - W^m) - 600 W^m] \text{ ккал/100 кг} \quad (72)$$

Вычисленные по значениям $\frac{W}{900}$, $t_1^{\text{г}} \varphi$ и Θ величины Q_m приведены на рис. 34. Значения φ определяются по уравнению (55а), данные рис. 33 и формула (51) или рис. 32 позволяют определить или величину Θ (а отсюда и состав и количество газов) или требуемые размеры газогенератора.

По формулам (51), (56), (57) построены графики, характеризующие требуемую высоту слоя топлива для дров и щепы (рис. 35, 36).

Для дров принято $G_m = 0$ и в пределах до $W^m = 0,5$ кг/кг значение $\Theta = 0,2$. При больших величинах влажности значение Θ принято таким, чтобы температура газа на выходе составляла 70° (для $W = 0,6$, $\Theta = 0,3$ — см. рис. 34).

Для щепы до влажности $W^m = 0,3$ кг/кг Θ принято равным $0,05$ и $G_d = 5$ кг/100 кг; при более высоких величинах W^m Θ принято большим, соответствующим $t_1^{\text{г}} = 70^\circ$, а именно (см. рис. 34):

W^m	0,35	0,4	0,5	0,6
Θ	0,055	0,12	0,21	0,30

СОСТАВ ГАЗА И РАЗМЕРЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ ТОРФА

Состав горючей массы торфа принимаем по данным ВТИ [109]:
 $C^g = 57,8\%$; $H^g = 6,0\%$; $O^g = 33,4\%$; $N^g = 2,5\%$; $S^g = 0,3\%$; $Q_H^g = 5240$ ккал/кг.

Принятые выходы и составы смолистых веществ при газификации в условиях полной подготовки торфа в газогенераторе приведены в табл. 27.

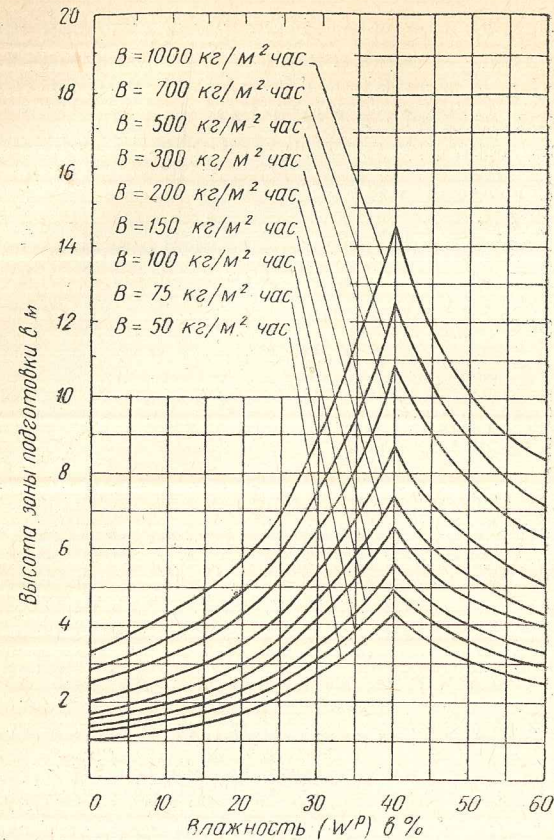


Рис. 35. Высота зоны подготовки в зависимости от интенсивности газификации, размеров и влажности дров.

Таблица 27

Выходы продуктов сухой перегонки торфа при полной подготовке

№ п/п	Наименование	Выход в % веса горючей массы	Состав в %				В кг на 100 кг горючей массы		
			C	H	O	N	C	H	O
1	Смола . . .	10,0	75,0	9,0	14,0	2,0	7,50	0,9	1,40
2	Уксус . . .	2,5	40,8	8,8	50,4	—	1,02	0,22	1,26
3	Метан . . .	4,8	75,0	25,0	—	—	3,60	1,20	—
4	Этилен . . .	1,26	85,7	14,3	—	—	1,08	0,18	—
5	Влага . . .	18,8	—	11,1	88,9	—	—	2,10	16,70
Всего . . .							13,20	6,40	19,36

Выходы других продуктов сухой перегонки при полной подготовке топлива составляют на 100 кг горючей массы: свободного водорода $6,0 - 4,6 = 1,4$ кг — $15,6$ нм³, кислорода, связанного в СО и СО₂ $33,4 - 19,36 = 14,04$ кг, углекислого газа при соотношении объемных выходов СО₂ и СО = 2:1:

$$\frac{14,04 \cdot 4 \cdot 44}{5 \cdot 32} = 15,45 \text{ кг} - 7,83 \text{ нм}^3 \text{ (расход С—4, 22 кг)}$$

и окиси углерода

$$\frac{14,04 \cdot 28}{5 \cdot 16} = 4,92 \text{ кг} - 3,92 \text{ н.ч.}^3$$

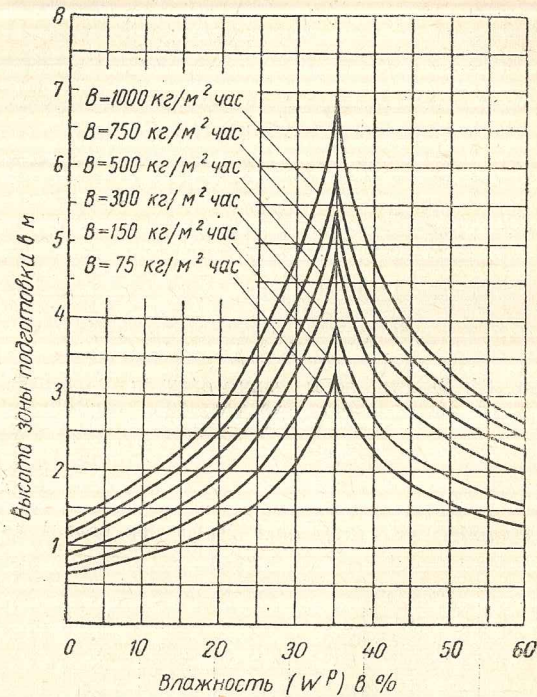


Рис. 36. Высота зоны подготовки щепы в зависимости от ее влажности и интенсивности газификации.

В продукты сухой перегонки переходит углерода: $13,20 + 4,22 + 2,11 = 19,53$ кг
Теряется в фусах 1,00 кг углерода.

Таблица 28

Количества элементов топлива и влаги топлива, поступающих в зону газификации в кг на 100 кг торфа

	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0
Θ							
$\frac{C}{1 - W^m}$	35,0	35,94	36,84	38,74	40,54	44,14	53,34
$\frac{H}{1 - W^m}$	0	$\frac{0,18^*}{0,28}$	$\frac{0,37}{0,56}$	$\frac{0,73}{1,13}$	$\frac{1,10}{1,69}$	$\frac{1,83}{2,82}$	$\frac{3,7}{5,14}$
$\frac{O}{1 - W^m}$	0	$\frac{0,78^*}{1,57}$	$\frac{1,57}{3,14}$	$\frac{3,14}{6,28}$	$\frac{4,7}{9,4}$	$\frac{7,8}{15,7}$	$\frac{15,7}{31,4}$
H ₂ O	0	$\frac{0,9 + 4,1 W^m}{5 W^m}$	$\frac{1,8 + 8,2 W^m}{10 W^m}$	$\frac{3,5 + 16,5 W^m}{20 W^m}$	$\frac{5,3 + 24,7 W^m}{30 W^m}$	$\frac{8,9 + 41,1 W^m}{50 W^m}$	$\frac{17,7 + 82,3 W^m}{100 W^m}$
Всего кокса (Ac = 6%)	$41 \times (1 - W^m)$	43,9 — 38,9 W ^m	46,8 — 36,8 W ^m	52,6 — 32,6 W ^m	58,4 — 28,4 W ^m	70 — 20 W ^m	99 + W ^m
Температура кокса	900	855	810	720	630	450	0

* В числителе — с учетом конституционной влаги.
** С учетом азота топлива.

Переходит углерода в зону газификации $57,80 - 20,53 = 37,27$ кг.

Принимая, что 1 кг углерода на 100 кг горючей массы топлива теряется в остатках, получаем, что газифицируется 36,27 кг углерода.

Азот в количестве $2,5 - 0,2 = 2,3$ кг выделяется в газообразном состоянии ($1,84 \text{ н.м}^3$).

Принимая зольность сухого топлива (A^c) составляющей 6% получаем следующие выходы газообразных продуктов сухой перегонки на 100 кг рабочего топлива:

$$\text{CO}_2 - 7,83 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 7,35 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$\text{CO} - 3,92 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 3,68 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$\text{H}_2 - 15,60 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 14,63 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$\text{CH}_4 - 6,72 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 6,31 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$\text{C}_2\text{H}_4 - 1,01 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 0,95 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

$$\text{N}_2 - 1,84 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 1,73 (1 - W^m) \text{ н.м}^3$$

Газифицируется на 100 кг рабочего топлива $C - 36,27 \cdot 0,94 \cdot (1 - W^m) = 34,1 (1 - W^m)$ кг углерода.

Количество элементов топлива и влаги, поступающих в зону газификации, характеризуется табл. 28.

Состав газа, получаемого в зоне газификации, определяем по уравнениям (44) — (48).

На рис. 37 приведены составы газов, получаемых на выходе из зоны газификации и из газогенератора, для $a=5000$ ккал на 1 моль газифицируемого углерода при добавках пара 0; 0,5 и 15 кг на 100 кг рабочего топлива.

Для определения температуры генераторного газа на выходе из газогенератора и характеристики протекающих в зоне газификации процессов составляем тепловые балансы зоны подготовки. Температуру загружаемого топлива принимаем равной нулю. Потерю тепла в окружающую среду принимаем равной 1% потенциального тепла топлива. Теплотворная способность смолы: $81 \cdot 75 + 246 \cdot 9 - 26 \cdot 14 = 7915$ ккал/кг и уксуса— $81 \times 40,8 + 246 \cdot 8,8 - 26 \cdot 50,4 = 4200$ ккал/кг.

Температура кокса

$$t_k = 900 - \theta \cdot 900 = 900 (1 - \theta) \quad (69)$$

Количество смолистых веществ, выходящих из зоны подготовки,

$$G_{\text{см}} = 12,5 (1 - W^m) \cdot 0,94 (1 - \theta) = 11,75 (1 - W^m) \cdot (1 - \theta) \text{ кг/100 кг} \quad (70)$$

Уравнение (50) теплового баланса для зоны подготовки позволяет определить t_1^r , значения которого приведены на рис. 38.

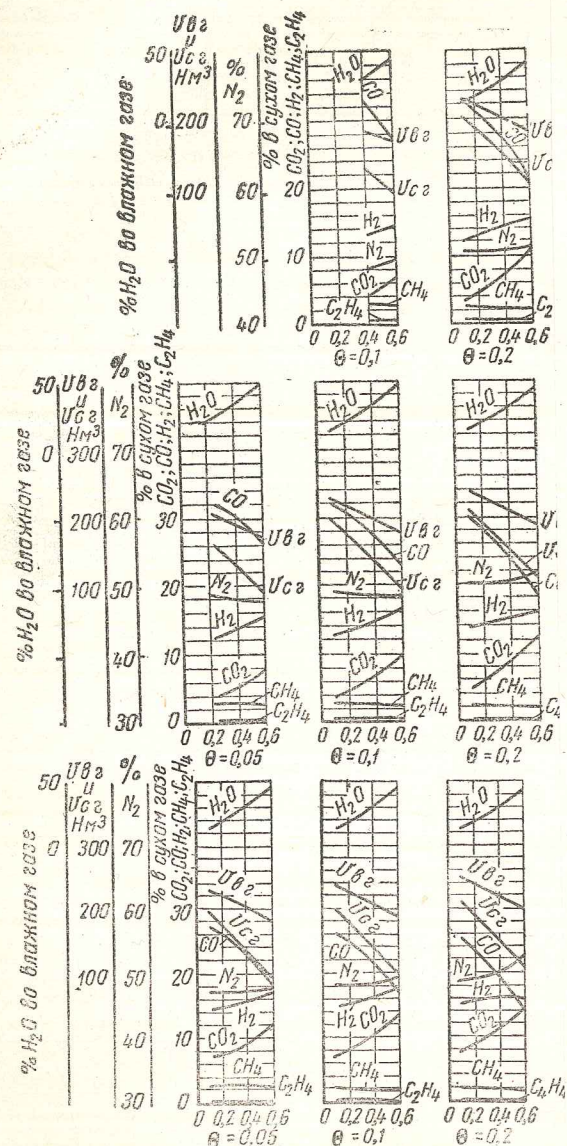


Рис. 37. Составы и выходы газов из торфа в зависимости от добавки пара 0; II — то же 6; III — то же 15 кг/100 кг влажных газов в н.м³/100 кг; θ — неполо...

Переходит углерода в зону газификации $57,80 - 20,53 = 37,27$ кг.

Принимая, что 1 кг углерода на 100 кг горючей массы топлива теряется в остатках, получаем, что газифицируется $36,27$ кг углерода.

Азот в количестве $2,5 - 0,2 = 2,3$ кг выделяется в газообразном состоянии ($1,84$ н.м³).

Принимая зольность сухого топлива (A^c) составляющей 6%, получаем следующие выходы газообразных продуктов сухой перегонки на 100 кг рабочего топлива:

$$\text{CO}_2 - 7,83 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 7,35 (1 - W^m) \text{ н.м.}^3$$

$$\text{CO} - 3,92 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 3,68 (1 - W^m) \text{ н.м.}^3$$

$$\text{H}_2 - 15,60 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 14,63 (1 - W^m) \text{ н.м.}^3$$

$$\text{CH}_4 - 6,72 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 6,31 (1 - W^m) \text{ н.м.}^3$$

$$\text{C}_2\text{H}_4 - 1,01 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 0,95 (1 - W^m) \text{ н.м.}^3$$

$$\text{N}_2 - 1,84 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 1,73 (1 - W^m) \text{ н.м.}^3$$

Газифицируется на 100 кг рабочего топлива $C - 36,27 \cdot 0,94 (1 - W^m) = 34,1 (1 - W^m)$ кг углерода.

Количество элементов топлива и влаги, поступающих в зону газификации, характеризуется табл. 28.

Состав газа, получаемого в зоне газификации, определяем по уравнениям (44) — (48).

На рис. 37 приведены составы газов, получаемых на выходе из зоны газификации и из газогенератора, для $a=5000$ ккал на 1 моль газифицируемого углерода при добавках пара 0; 0,5 и 15 кг на 100 кг рабочего топлива.

Для определения температуры генераторного газа на выходе из газогенератора и характеристики протекающих в зоне газификации процессов составляем тепловые балансы зоны подготовки. Температуру загружаемого топлива принимаем равной нулю. Потерю тепла в окружающую среду принимаем равной 1% потенциального тепла топлива. Теплотворная способность смолы: $81 \cdot 75 + 246 \cdot 9 - 26 \cdot 14 = 7915$ ккал/кг и уксуса — $81 \times 40,8 + 246 \cdot 8,8 - 26 \cdot 50,4 = 4200$ ккал/кг.

Температура кокса

$$t_k = 900 - \theta \cdot 900 = 900 (1 - \theta) \quad (69)$$

Количество смолистых веществ, выходящих из зоны подготовки,

$$G_{см} = 12,5 (1 - W^m) \cdot 0,94 (1 - \theta) = 11,75 (1 - W^m) \cdot (1 - \theta) \text{ кг/100 кг} \quad (70)$$

Уравнение (50) теплового баланса для зоны подготовки позволяет определить t_1' , значения которого приведены на рис. 38.

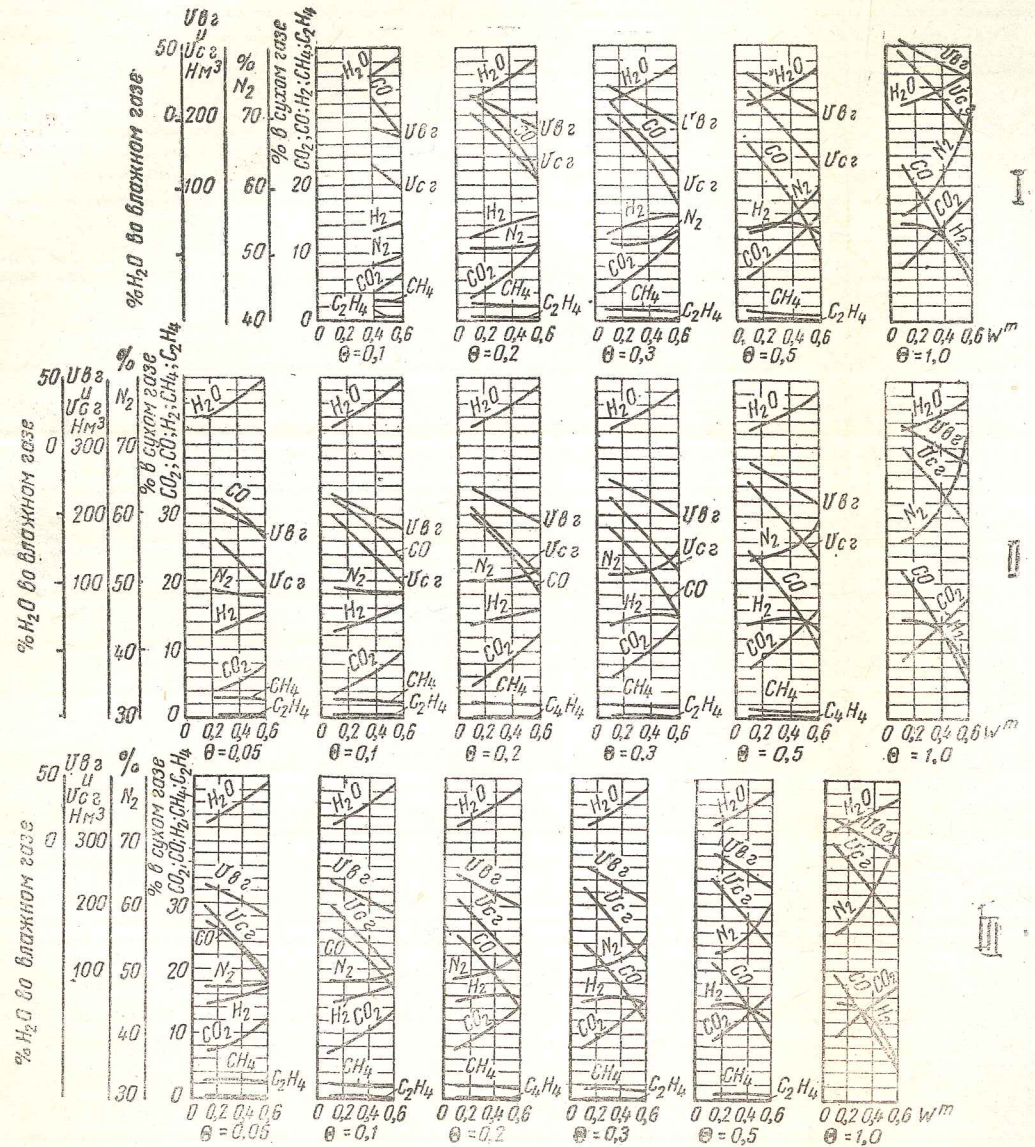


Рис. 37. Составы и выходы газов из торфа в зависимости от степени подготовки θ : I — добавка пара 0; II — то же 6; III — то же 15 кг/100 кг торфа; $V_{сг}$ и $V_{вг}$ — выходы сухих и влажных газов в н.м³/100 кг; θ — неполнота подготовки.

Полученные данные по составам, выходам и температуре газов могут быть использованы для расчетов теплообмена в слое топлива и определения требуемых размеров газогенератора.

Величина Q_T определяется из выражения

$$100 Q_T (1 - \Theta) = \frac{100 W (900 - t_1^r \varphi)}{900} - \frac{q_{ок}'' t_1^r \varphi}{900} \text{ ккал/100 кг} \quad (74)$$

здесь $q_{ок}'' = [5240 \cdot 0,94 (1 - W^r) - 600 W^r] = 4920 - 4920 W^r - 600 W^r = 4920 - 5520 W^r \text{ ккал/100 кг}$.

Значения $\frac{100 W}{900}$ принимаются по рис. 38; φ определяется из равенства (57а).

Вычисленные по значениям $\frac{100 W}{900}$, t_1^r и Θ значения Q_T приведены на рис. 38.

Для характеристики теплообмена в слое торфа в предположении постоянного размера кусков топлива принято уравнение (57).

Формулы (51), (58) могут быть использованы для определения величины Θ , а отсюда и состава газа или же при заданной величине Θ — требуемой высоты зоны подготовки (рис. 39). До влажности $W^r = 0,4$ значение Θ принято равным 0,1. При большей влажности значение Θ принято таким, чтобы температура газа на выходе составляла 70° (при $W^r = 0,4; 0,5; 0,6$ соответственно — 0,11; 0,22; 0,295). При большей высоте слоя увеличение высоты мало компенсирует увеличение влажности.

Эти же данные, а также величины t_1^r могут быть определены с помощью рис. 32 и формул (59) — (65).

СОСТАВ ГАЗА И РАЗМЕРЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ БУРОГО УГЛЯ

Бурые угли характеризуются высоким содержанием влаги и, следовательно, необходимостью в повышенном слое топлива сравнительно с каменными углями. Расчеты состава генераторного газа, получаемого из челябинского угля с $W^p = 18\%$ и $A^c = 23,5\%$ дают при добавке пара к дутью $0,2 \text{ кг/кг}$, $\Theta = 0,03$ и содержании углерода в остатках 20% : $t_1^r = 300^\circ$, $Q_T = 332 \text{ ккал/кг}$.

Аналогично для богословского угля с $W^p = 29,0\%$ и $A^c = 16,5\%$ при добавке пара к дутью $0,1 \text{ кг/кг}$, $\Theta = 0,03$ и содержании углерода в остатках 23% : $t_1^r = 189^\circ$ и $Q_T = 382 \text{ ккал/кг}$.

Для подмосковного угля с $W^p = 32,0\%$ и $A^p = 18,0\%$, при добавке пара к дутью $0,15 \text{ кг/кг}$, неполноте подготовки $\Theta = 0,15$ и содержании углерода в остатках 20% : $t_1^r = 88^\circ$; $Q_T = 426 \text{ ккал/кг}$. Уменьшение величины Θ , достигаемое повышением слоя, влечет снижение величины t_1^r , нежелательное как связанное или с приглушением газогенератора (конденсация смол и влаги в слое топлива) или с образованием местных прогаров.

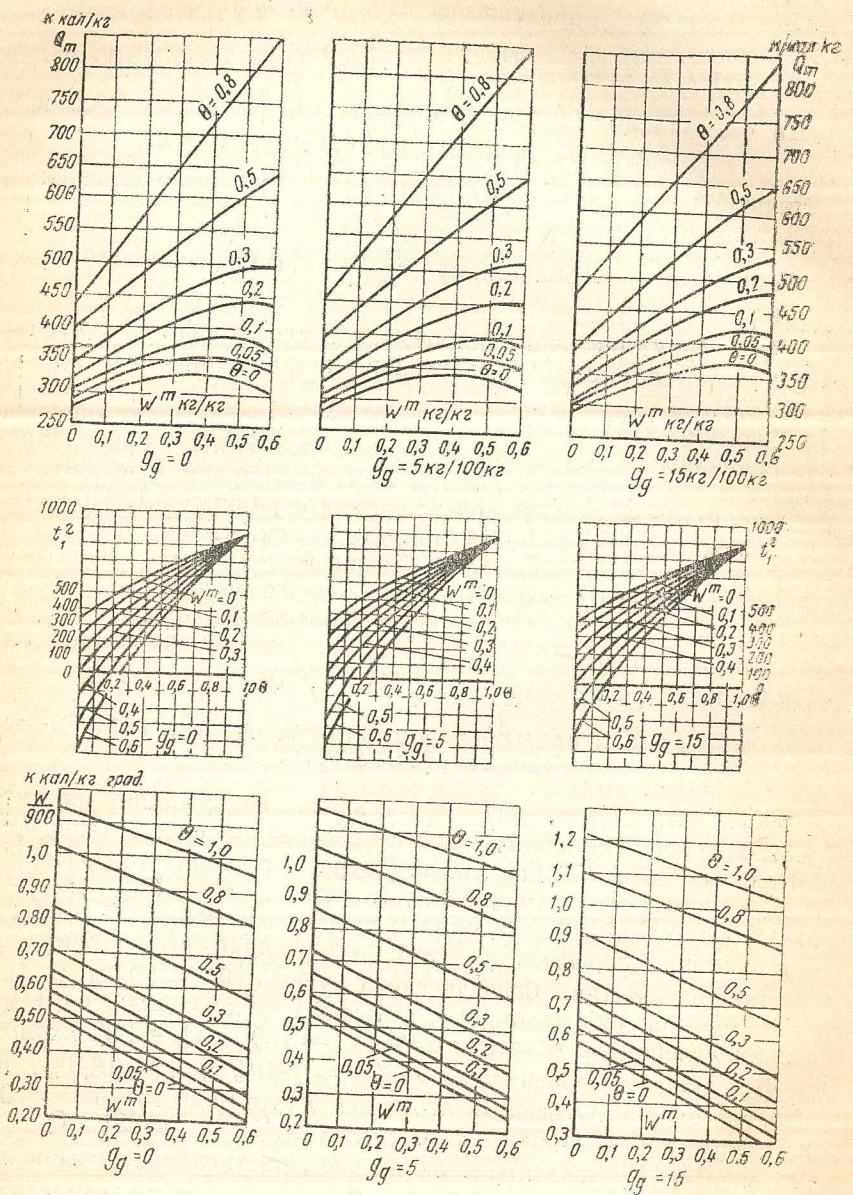


Рис. 38. Зависимость t_1 , W и Q_t от степени подготовки и влажности торфа

Практических данных для определения величины коэффициента теплообмена в слое бурого угля недостаточно. Часто газификация бурого угля ведется в слое топлива, имеющем высоту, превышающую необходимую для практически полной подготовки.

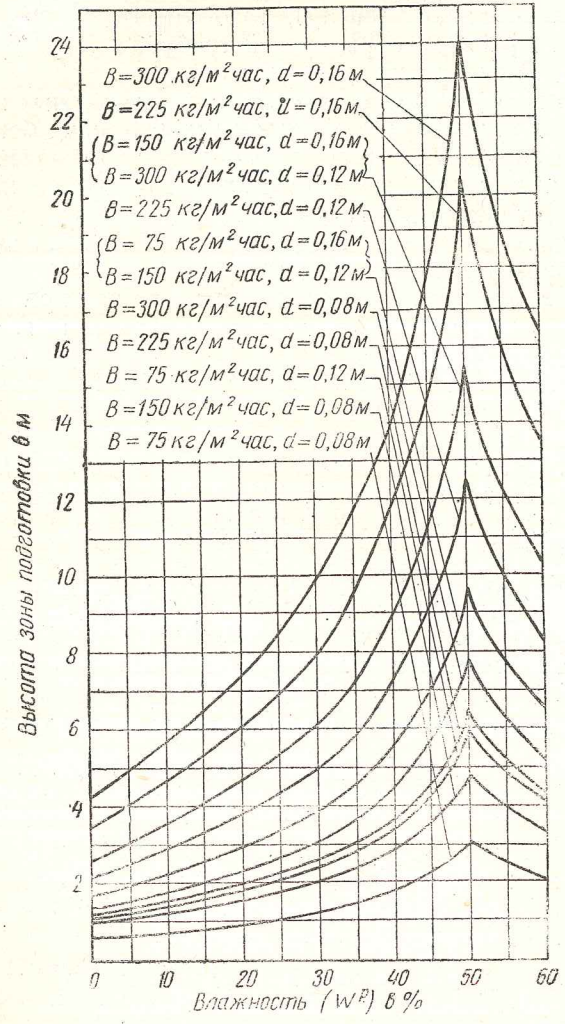


Рис. 39. Высота зоны подготовки торфа в зависимости от его влажности и интенсивности газификации.

Опытная газификация бурых углей в пониженном слое и с большой интенсивностью позволит уточнить зависимости по теплообмену в слое.

При газификации бурого угля не требуется высокого слоя топлива. Излишнее увеличение высоты ухудшает условия обслуживания и ход газогенератора. В работающих на подмосковных и челябинских углях газогенераторах со швельшахтами швельшахты не заполняют углем.

При использовании торфяных газогенераторов со швельшахтами для газификации бурых углей требуется введение в газогенератор специальных вставок (см. гл. I).

Б. И. Китаев [16] использовал некоторые данные по теплообмену в слое для расчета высоты зоны подготовки богословского угля с влажностью 26%. Он также вывел (см. гл. I) формулы для расчета длительности сушки, подтвержденные экспериментами по сушке угля. Таким образом Китаев теоретически обосновал возможность и целесообразность газификации бурых углей в низком слое.

Данные Китаева вполне достоверны, так как при подготовке влажного бурого угля определяющим процессом является его сушка.

При газификации богословских и челябинских углей высота слоя топлива соответствует теоретической или превышает ее, но не имеется достаточно данных для установления требуемых зависимостей. Расчет теплообмена с учетом формул [(14), (16), (18)], главы II и прогрева кусков дает зависимость высоты слоя подготовки от производительности для различных углей, приведенную на рис. 40.

Ухудшение подготовки при малой величине Θ незначительно снижает к. п. д. газификации.

Интенсивность газификации бурых углей в газогенераторах с неподвижной решеткой может быть принята в пределах 60—120 кг/м² час и в газогенераторах с вращающейся решеткой—250—500 кг/м² час в зависимости от свойств топлива и других условий.

СОСТАВ ГАЗА И РАЗМЕРЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ КАМЕННОГО УГЛЯ

Влажность каменных углей малая и количество тепла, затрачиваемого на подсушку невелико. Даже при невысоком слое, в случае если куски топлива не слишком крупны, подготовка является полной.

Расчеты состава паровоздушного газа, получаемого из донецкого газового угля с $W^p = 5,5\%$ и $A^c = 13,0\%$ при добавке пара к дутью 0,34 кг/кг, содержания углерода в остатках 11% и $\Theta = 0,03$, дают: $t_1^p = 550^\circ$; $Q_r = 453$ ккал/кг.

Во всех обычных случаях газификации каменного угля высота слоя достаточна для подготовки топлива — подогрева до температуры близкой к 1000°. Следовательно, ухудшение качества газа следует приписать прогарам и шлакованию.

Расчет состава газа из каменного угля можно производить тем же методом, как и для другого топлива, но с другими численными значениями.

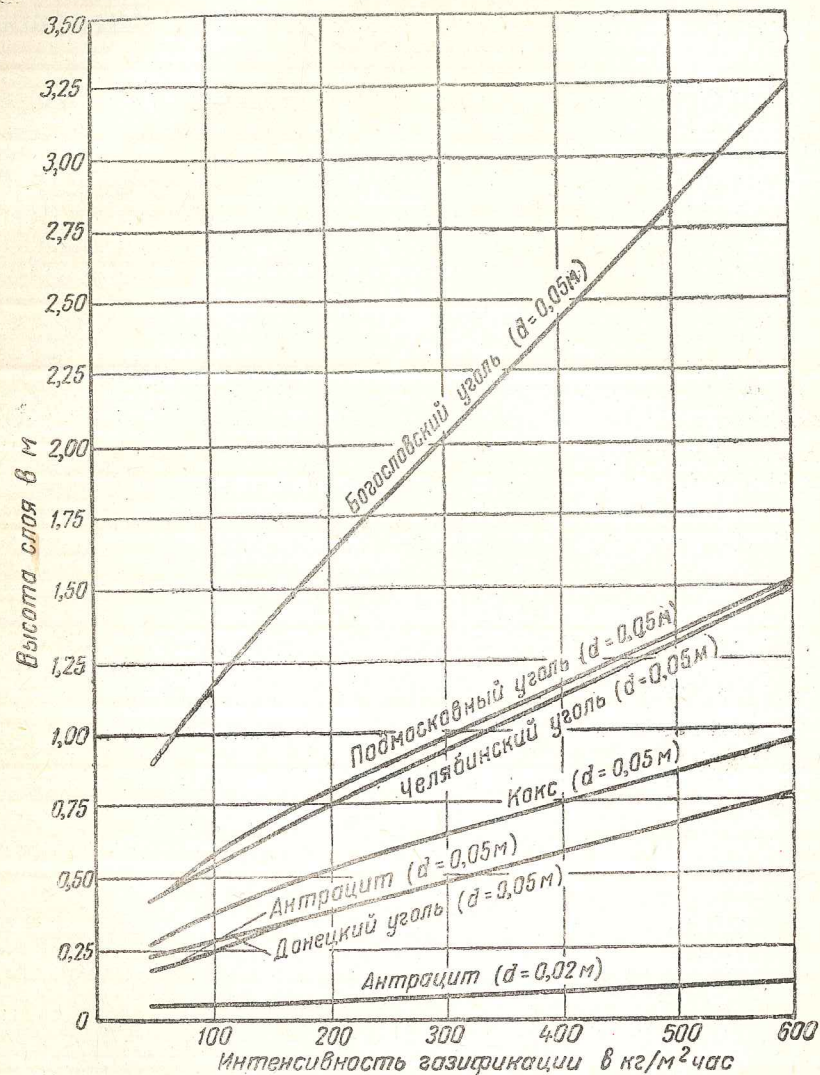


Рис. 40. Высота зоны подготовки бурого и каменного угля, антрацита и кокса в зависимости от интенсивности газификации.

Интенсивность газификации для газогенераторов с ручным золоудалением принимается равной 60—120, для полумеханических—120—220 и для механических—до 300—400 кг/м² час. Высота зоны подготовки, требуемая для каменного угля, по-

казана на рис. 40. Она подсчитана с учетом формул (14), (17) (18) и условий прогрева куска.

СОСТАВ ГАЗА И РАЗМЕРЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ АНТРАЦИТА И КОКСА

В силу малой влажности и низкого содержания летучих высота слоя топлива во всех практических случаях газификации антрацита достаточна для его подготовки.

Расчет состава паровоздушного генераторного газа, получаемого из антрацита с $W^p = 5,0\%$ и $A^c = 11,0\%$ при добавке пара в дутье $0,5 \text{ кг/кг}$, $\Theta = 0,05$ и потере углерода в остатках и уносе $2,4 \text{ кг}$ на 100 кг горючей массы, дает $t_1^r = 687^\circ$, $Q_T = 455 \text{ ккал/кг}$.

При добавке пара $0,3 \text{ кг/кг}$ и $\Theta = 0$ расчет дает: $t_1^r = 640^\circ$.

Расчеты состава газа из каменноугольного кокса с $W^p = 20,0\%$ и $A^c = 20,0\%$ при добавке пара в дутье $0,3 \text{ кг/кг}$ и содержании горючего в остатках 8% при $\Theta = 0,03$ дают: $t_1^r = 400^\circ$, $Q_T = 627 \text{ ккал/кг}$.

Интенсивность газификации антрацита и кокса принимается в пределах $150 - 300 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$.

Высота слоя подготовки показана на рис 40.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Б. Гинзбург. Газогенераторы и газовое хозяйство в стекольной и керамической промышленности. Промстройиздат. М., 1949 г.
2. Н. В. Шишаков. Основы производства горючих газов. ГЭИ, 1948.
3. И. И. Рябцев. Журнал химической промышленности. 1935, 4.
4. Д. Б. Гинзбург. Газификация топлива и газогенераторные установки. Ч. I, Гизлегпром, М., 1938.
5. Н. Н. Доброхотов. К динамике диффузионных процессов. Издательство Академии наук СССР, 1948.
6. Д. А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. Издательство Академии наук СССР, 1947.
7. А. С. Предводителев, Л. Н. Хитрин, О. А. Цуханова, Х. И. Колодцев, М. К. Гродзовский. Горение углерода. Издательство Академии наук СССР, 1949.
8. Д. В. Будрин и Б. А. Красовский. Труды уральского индустриального института. 1941, вып. XVII, 18.
9. Н. М. Жаворонков. Гидравлические основы скрубберного процесса и теплопередача в скрубберах. Издательство Советская наука, 1944.
10. З. Ф. Чуханов. Известия Академии наук СССР, отделение технических наук. 1947, 10.
11. В. Н. Тимофеев. Известия ВТИ. 1949, 2.
12. З. Ф. Чуханов, К. А. Шапатина. Известия Академии наук СССР, отделение технических наук. 1945, 7—8.
13. Д. Б. Гинзбург. Стекольная и керамическая промышленность. 1947, 9.
14. А. В. Лыков и Л. Я. Ауэрман. Теория сушки капиллярно-пористых коллоидных материалов пищевой промышленности. Пищепромиздат, 1946. А. В. Лыков. Теория сушки. Госэнергоиздат, 1950.
15. И. М. Федоров. Сборник—Современные проблемы сушильной техники. В. 2, 1941.
16. Б. И. Китаев. Уральская металлургия. 1939, 10—11. «Вопросы газификации» ВНИТОЭ, 1941, сборник 4, Теплообмен в шахтных печах. Металлургиздат, М., 1945.
17. Л. С. Клячко. Отопление и вентиляция. 1934, 4.
18. М. Ю. Лурье. Сушильное дело. Госэнергоиздат, 1948.
19. М. А. Павлов. Горный журнал. 1891, 11.
20. Н. П. Асеев. Горный журнал. 1903, 7.
21. Б. С. Швецов, Д. Б. Гинзбург, Б. Ф. Кузмич. Керамика и стекло. 1925, 7, 8.

22. Д. Б. Гинзбург. Газогенераторные установки. Ч. II, Гизлегпром, 1937.
23. И. С. Назаров. Уральская металлургия. 1935, 3, 4.
24. Н. В. Чалов. Лесохимическая промышленность. 1939, I.
25. А. С. Крендель. За экономию топлива. 1949, 5.
26. Д. П. Тагеев. Газификация отходов древесины. Гослестехиздат, 1933.
27. Д. Б. Гинзбург. Стекольная и керамическая промышленность. 1944, 3.
28. Д. Б. Гинзбург, А. А. Криницын, Р. А. Шкаленко. Сталь. 1943, 9—10.
29. М. А. Кузьмин, С. П. Михеев, А. С. Синельников. Труды ЛОТИ. 1932, вып. I.
30. Н. Н. Богданов. Полукоксование и газификация торфа. Госэнергоиздат, 1947.
31. С. Г. Тройб. Уральская металлургия. 1940, 4.
32. М. В. Канторов и И. Д. Букшпун. Сжигание и газификация многозольных торфов. ГНТИ Украины, 1935.
33. И. Д. Букшпун. Энергетическое использование торфов УССР. Гостехиздат Украины, 1948.
34. В. Ф. Копытов. Строительные материалы. 1932, 10.
35. Н. В. Шишаков. Известия ВТИ. 1932, 2.
36. Н. В. Шишаков. Известия ВТИ. 1932, 3.
37. В. С. Альтшулер. Сталь. 1945, 5.
38. К. Т. Белофастов. Строительные материалы. 1931, 9.
39. А. Ф. Жуков, Л. З. Новиков. Химия твердого топлива. 1931, 6, 7, 1932, 4.
40. Д. Б. Гинзбург, С. И. Березовский. Сталь. 1943, 6—7.
41. А. В. Кавадеров. Промышленные индивидуальные газогенераторы. Металлургиздат, 1945.
42. К. В. Маликов, П. Ф. Моисеева. За экономию топлива. 1948, 11.
43. Ф. Ф. Горных, Л. Г. Крюков. Сталь. 1949, 4.
44. А. У. Устинов, А. С. Брагинский. За экономию топлива. 1949, 4.
45. В. И. Еремин, В. И. Костин. За экономию топлива. 1949, 4.
46. В. И. Кармазин. Теория и практика металлургии. 1937, 3.
47. С. А. Малкин. Экспериментальное исследование газопечных установок малой мощности. Известия Ростовского на Дону института инженеров железнодорожного транспорта, в. XVII, 1948.
48. А. Г. Членов. Строительные материалы. 1932, I.
49. Д. Б. Гинзбург. Керамика и стекло. 1930, 6.
50. Н. В. Шишаков. Основные характеристики газификации советских топлив. ВНИТОЭ, 1940.
51. Н. Н. Доброхотов, М. А. Глинков, К. П. Иванов. Сборник «Угли Западной Сибири в топках котлов и газогенераторах». ГНТИ, 1933.
52. Н. Н. Доброхотов, Н. В. Лебедев, А. М. Цветков, М. П. Родионов. Сборник «Угли Западной Сибири в топках котлов и газогенераторах». ГНТИ, 1933.
53. Л. Тавровский. Сборник «Угли Западной Сибири в топках котлов и газогенераторах». ГНТИ, 1933.
54. В. И. Еремин. Сталь. 1948, 3.
55. А. Г. Членов. Известия ВТИ. 1932, 3.
56. Н. В. Шишаков. Известия ВТИ. 1932, 4, 12.
57. Д. Б. Гинзбург. Строительные материалы. 1931, 5.
58. Д. Б. Гинзбург. Сталь. 1943, 3—4.
59. Л. Г. Вейнруб, И. И. Палеев. Строительные материалы. 1932, 10.
60. М. Г. Чибураев. За экономию топлив. 1947, 11.
61. Р. Т. Хаслам и Р. П. Руссель. Топливо и его сжигание. ГНТИГНИ, 1934.

62. М. К. Гродзовский, З. Ф. Чуханов. Журнал прикладной химии. 1934, VII.
63. М. К. Гродзовский, З. Ф. Чуханов. Химия твердого топлива. 1936, VII, 9—10.
64. Л. Н. Хитрин, Х. И. Колодцев. Сборник «Процесс горения угля» под редакцией А. С. Предводителя. ГОНТИ НКТП СССР, 1938.
65. Х. И. Колодцев. Журнал технической физики. 1939, т. IX, 4.
66. Х. И. Колодцев. Журнал физической химии. 1945, 9.
67. Х. И. Колодцев. Известия ВТИ. 1941, 1.
68. З. Ф. Чуханов. Сборник «Процесс горения угля», под редакцией А. С. Предводителя. ГОНТИ НКТП СССР, 1938.
69. Н. Н. Доброхотов. Расчет газогенераторов и газогенераторного процесса. Ленинград, 1922.
70. З. Ф. Чуханов и И. А. Каржавина. Сборник «Процесс горения угля», под редакцией А. С. Предводителя. ГОНТИ НКТП СССР, 1938.
71. Н. В. Лавров. Известия Академии наук СССР, отделение технических наук. 1940, 8.
72. В. И. Блинов. Известия ВТИ. 1934, 7.
73. В. И. Блинов и С. Э. Хайкина. Известия ВТИ. 1935, 6.
74. О. А. Цуханова. Журнал технической физики. 1940, IX, 64.
75. Н. Н. Гаврилов и Н. Г. Эдельштейн. Труды Инсторфа. 1931, 6.
76. Б. Климов и В. Ланин. Химия твердого топлива. 1933, 6.
77. А. Г. Рембашевский и А. Д. Кокурин. Горючие сланцы. 1934, 5.
78. В. С. Альтшулер. Вопросы газификации. Сборник 4, ВНИТОЭ, 1941.
79. И. Клемент, Л. Адамс и Ц. Хескинс. Горный журнал. 1910, 11, 12.
80. П. Дсльх. Водяной газ, перевод под редакцией А. Б. Чернышева. ОНТИ НКТП, 1938.
81. Н. Н. Гаврилов и Н. Н. Богданов. Основы термической переработки торфа. ГНТИ, 1932.
82. Г. Н. Полубояринов. Кислород. 1944, 2.
83. Н. И. Прохоров. Торфяное дело. 1947, 2, 11.
84. В. М. Наумович, Б. Д. Паремский. Брикетирование торфа. Гос. изд. БССР, 1946.
85. Н. И. Прохоров. Брикетирование торфа на заводах малой мощности. Изд. местной топл. пром. РСФСР, 1947.
86. И. С. Копейкин и М. П. Покровский. За экономию топлива. 1948, 8.
87. И. С. Копейкин и М. П. Покровский. За экономию топлива. 1948, 10.
88. Л. А. Лурье. Уголь. 1946, 9.
89. И. С. Богвинкин. Бюллетень строительной техники. 1948, 24.
90. М. Д. Тамарин. За экономию топлива. 1948, 8.
91. А. П. Александров, Л. Э. Гуревич. За экономию топлива. 1949, 10.
92. М. Д. Тамарин. За экономию топлива. 1950, 3.
93. В. С. Альтшулер. Известия Академии наук, отделение технических наук. 1943, 11—12.
94. В. С. Альтшулер. Вестник инженеров и техников. 1947, 1.
95. П. Х. Куринов, А. П. Михеев, С. А. Шашкин. Труды ВНИТО. в. 1, Госонттехиздат, 1948.
96. Н. В. Шишаков. Вестник инженеров и техников. 1947, 1.
97. М. А. Поляцкин, Я. А. Ланда. Сборник «За советское энергооборудование». Энергоиздат, 1934.
98. А. С. Синельников. Опыт газификации топлив с жидким шлакоудалением. ВНИТОЭ, 1940.

99. Д. Б. Гинзбург. Стекольная и керамическая промышленность. 1944, 6.
100. З. Ф. Чуханов. Известия Академии наук СССР, отделение технических наук. 1948, 7.
101. Г. О. Нусинов. Подземная газификация. ГОНТИ НКТП, 1938.
102. В. В. Канторович. Известия Академии наук СССР, отделение технических наук. 1945, 3. Журнал технической физики т. XII, в. 10.
103. В. Е. Грум-Гржимайло. Журнал русского металлургического общества. 1910, 1.
104. В. Е. Грум-Гржимайло. Пламенные печи. Ч. I. Издание тепло-технического института. 1925.
105. Д. П. Струговщиков. Металлург. 1929, 1.
106. Н. Н. Доброхотов, В. Ф. Конытов. Теория и практика металлургии. 1937, 1.
107. Н. А. Костылев. Тепловые расчеты. Металлургиздат, 1933.
108. Б. С. Швецов. Научно-технический вестник. 1920, 1.
109. А. И. Карелин. Состав и качество топлив СССР. НКЭП, ГЭИ, 1940.
110. З. И. Каждан. Вопросы газификации. Сборник 4, ВНИТОЭ, 1941.
111. Н. В. Лавров. Огнеупоры. 1948, 10.
112. Л. А. Вулис. Сборник. Исследование процессов горения натурального топлива, под редакцией Г. Ф. Кнорре, ГЭИ, 1948.
113. А. Б. Чернышев. Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. 1946, 3.
114. А. Б. Чернышев, Н. В. Лавров, М. К. Письмен. Общая химическая технология топлива под редакцией С. В. Кафтамова, глава 8, ГНТИ химической литературы, 1947.
115. А. Б. Чернышев. Сборник «Вопросы газификации твердых топлив» ОНТИ НКТП СССР, 1936.
116. Г. О. Нусинов. Подземная газификация углей. ГОНТ НКТП СССР, 1938.
117. З. Ф. Чуханов, М. Я. Сагайдак. Известия отделения технических наук АН СССР, 1939, 8.
118. Доменная плавка на торфе. Издание комиссии по выплавке чугуна на торфе. М. 1933.
119. Доменная торфокислородная плавка. Сборник статей. Издание комиссии по выплавке чугуна на торфе. М. 1933.
120. Н. Г. Падуков. Сборник «Вопросы газификации твердых топлив», М. 1933.
121. Х. И. Колодцев, И. Ф. Орельченко. Известия ВТИ, 1950, 5.
122. Х. И. Колодцев, Б. Л. Жарков. Известия ВТИ, 1950, 10.
123. Н. А. Семенов и Л. Н. Сидельковский. За экономию топлива. 1949, 9.
124. М. Ф. Струнников. Сборник «Исследование процессов горения натурального топлива» под редакцией Г. Ф. Кнорре. Госэнергоиздат, 1948.
125. А. С. Предводителев. Известия Академии наук СССР, отделение технических наук, 1947, 7.
126. М. Д. Тамарин. Стекло и керамика, 1947, 7.
127. Р. С. Палта. Известия ВТИ. 1932, 12.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- α — коэффициент температуропроводности ($\alpha = \frac{\lambda}{c\gamma}$), в $\text{м}^2/\text{час}$ или $\text{м}^2/\text{сек}$
- a — активность вещества или потеря тепла в $\text{ккал}/\text{моль } C$.
- α — коэффициент теплоотдачи в $\text{ккал}/\text{м}^2 \text{ час град}$ или теплообмена в $\text{ккал}/\text{м}^3 \text{ час град}$.
- A — зольность топлива в % или коэффициент.
- B — интенсивность газификации в $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ час}$.
- Bi — критерий Био = $\frac{\alpha \cdot R}{\lambda}$
- σ — размер фракции частиц в м .
- β — коэффициент скорости химической реакции или скорость перехода вещества путем диффузии в $\text{см}/\text{сек}$ или $\text{м}/\text{сек}$
- β — коэффициент.
- γ — удельный вес в $\text{кг}/\text{м}^3$.
- C — концентрация вещества в $\text{г}/\text{см}^3$ или $\text{кг}/\text{м}^3$
- C — коэффициент лобового сопротивления.
- c — удельная теплоемкость в $\text{ккал}/\text{м}^3 \text{ час град}$.
- d — диаметр в см и м .
- D — коэффициент диффузии в $\text{см}^2/\text{сек}$.
- δ — толщина ламинарного слоя газов в см или м
- δ — коэффициент термовлажностопроводности в $1/\text{град}$.
- F — поверхность или площадь сечения в см^2 и м^2 .
- Fo — критерий Фурье = $\frac{a\tau}{R^2}$
- f — коэффициент порозности.
- φ — коэффициент.
- G — количество вещества в г или кг .
- g — ускорение силы тяжести в $\text{м}/\text{сек}^2$.
- H — высота слоя в м .
- h — сопротивление слоя в мм вод ст .
- Θ — незавершенность или неполнота подготовки.
- θ — температура в град .
- j — плотность потока влаги в $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ час}$.
- K — коэффициент, коэффициент скорости реакции.
- l — длина в см .
- m — коэффициент, доля кислорода, содержащаяся в дутье.
- μ — коэффициент вязкости в $\text{кг сек}/\text{м}^2$.
- ν — коэффициент кинематической вязкости в $\text{м}^2/\text{сек}$.
- Nu — критерий Нуссельта = $\frac{\alpha R}{\lambda_r}$

λ — коэффициент теплопроводности в ккал/м час. град
 P — подъемная сила в кг.
 p — давление в мм вод. ст.
 Q, q — количество тепла в ккал.
 R — газовая постоянная.

Re — критерий Рейнольдса $\frac{wd}{\nu}$
 r — скрытая теплота испарения.
 S — толщина слоя в см и м
 T — абсолютная температура в °К
 t — температура в град.
 Δt — средняя разность температур.
 τ, z — время в час.
 V, v — объем в м³
 W — влажность в % или в кг/кг или
 W — водяное число в ккал/кг град.
 w — скорость в см/сек и м/сек.
 ψ — коэффициент.
 E — температурный показатель.

ИНДЕКСЫ

p — рабочее топливо.
 $г$ — горячая масса или
 $г$ — газ.
 $к$ — (внизу) — конвекция.
 $к$ — (вверху) — кокс.
 $л$ — лучеиспускание.
 $п$ — поверхность, пар.
 $н$ — низшая теплотворная способность.
 $т$ — или т.п — топливо.
 $в$ — воздух.
 $ос$ — остатки.
 $ун$ — унос.
 $см$ — смола.
 $ок$ — окружающая среда.
 $пот$ — потенциальное тепло.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Предисловие	3
Введение	4
Глава I. Теоретические основы газификации	5
Процессы в газогенераторе	9
Реакции в зоне газификации	10
Скорость физико-химического гетерогенного процесса	16
Теплообмен в газогенераторе	22
Подсушка топлива	27
Аэродинамические условия в слое топлива	29
Сопrotивление слоя топлива	29
Глава II. Исследования процессов газификации.	32
Исследования работы газогенераторов	51
Исследования отдельных процессов газификации	57
Общие выводы	63
Условия, улучшающие процесс газификации	63
Глава III. Использование низкосортного топлива	65
Методы газификации топлива	69
Подготовка топлива	80
Устройства для газификации низкосортного топлива	100
Газогенераторы для мелкозернистого топлива	111
Газогенераторы для пылевидного топлива	114
Газогенераторы высокого давления	119
Газогенераторы с выпуском жидкого шлака	129
Газогенераторы для получения водяного газа из местного топлива	132
Газогенераторы высокой производительности	132
Глава IV. Зависимость состава газа от размеров газогенератора, интенсивности газификации и свойств топлива.	135
Методика расчета состава газа и газогенераторов	150
Состав газа и размеры газогенератора при газификации древесины	154
Состав газа и размеры газогенератора при газификации торфа	160
Состав газа и размеры газогенератора при газификации бурого угля	162
Состав газа и размеры газогенератора при газификации каменного угля	162
Состав газа и размеры газогенератора при газификации антрацита и кокса	164
Литература	165
Основные принятые обозначения	169

О П Е Ч А Т К И

Страница	Строка		Напечатано	Следует читать
	сни-зу	свер-ху		
11	14		∂MA	$-\partial MA$
21		21	$\frac{Aw_0^r}{a^n}$	$\frac{Aw_0^r}{d^n}$
24	14		$\frac{R}{a\lambda} + \frac{R}{\alpha}$	$\frac{R}{6\lambda} + \frac{R}{3\alpha}$
30	8 (в форм.)		$\frac{7,6\gamma w_0^{1,8} \nu^{0,2} H}{gd_{\text{шдр}}^{1,2} f^{1,8}}$	$\frac{7,6\gamma w^{1,8} \nu^{0,2} H}{gd_{\text{шдр}}^{1,2} f^{1,8}}$
145	10		$\Delta = t$	$\Delta t =$
147	обозначен. рис. 32		$\frac{\alpha_r H}{W}$	$\frac{\alpha_r H}{B W}$
147		11	ккал/час	ккал/кг
148	19		$\frac{\alpha_r H}{W}$	$\frac{\alpha_r H}{B W}$
154		13	$W = 100$	$= 100 W$

Зак. 1121

Редактор Л. Александров.

Техред. Л. Панова.

Подписано к печати 21/XII — 1950 г.
 Бумага 60×92¹/₁₆ 5⁹/₁₆ бум. л. 11¹/₈ п. л. (с вкл.) 11,4 изд. л.
 Л-42933. Тираж 2000 Цена 8 р. 40 к. Заказ 1121

Типография Промстройиздата,
 г. Подольск, Рабочая ул. 17/2.