

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

СЕВЕРО-ЗАПАДНОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ БЮРО В. С. Н. Х.

ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

Выпуск I.

662.76

Д-568

Н. Н. ДОБРОХОТОВ.

ГОРНЫЙ ИНЖЕНЕР.

РАСЧЕТ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

И

ГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА.

ПЕТРОГРАД

1922

Расчет газогенераторов и генераторного процесса ¹⁾.

Топливо, употребляемое в газогенераторах, бывает весьма различно по химическому составу, и, кроме того, как сложное химическое соединение, оно при одном и том же валовом химическом составе может обладать весьма различными свойствами, которые вызовут различные последствия в газогенераторах. Рано или поздно сорта топлива будут характеризоваться так же, как характеризуются органические соединения, т. е. по двум основаниям: *A*) по структуре молекул: 1) жирной—с открытой цепью, 2) нафтенной—алициклической и 3) бензольной—центроциклической; *B*) по степени кислотности: 1) как кислоты, 2) как альдегиды и кетоны, 3) спирты или 4) углеводороды. О всех главных сортах топлива можно иметь следующее представление.

Сорт топлива.	Главные его составные части.	Структура молекул.
1. Торф.	Кислоты и альдегиды-кетоны.	Жирного ряда.
2. Дерево.	Альдегиды - кетоны и спирты.	Жирного ряда.
3. Бурый уголь.	Спирты.	Жирного.
4. Каменный уголь.	Спирты и углеводороды.	Алициклического.
5. Антрацит.	Углеводороды и элементарный углерод.	Ароматического.
6. Нефть Пенсильван.	Углеводороды.	Жирного ряда.
7. Нефть Бакинская.	Углеводороды.	Алициклического ряда.

¹⁾ Данная статья представляет извлечение из моей рукописи „Основы газогенераторного процесса“; здесь не приводятся доказательства установленных мною законов и правил, кроме тех доказательств, кои необходимы для ясности изложения.

Как видно из таблицы, крайней степенью кислотности обладает торф, представляющий собою продукт гуминовокислого брожения растений в присутствии избытка воды; процентное содержание кислорода в торфе, как известно, меньше, чем в дереве.

Сухое разложение топлива в газогенераторах (Entgasung).

В газогенераторах топливо подвергается сначала сухому разложению. Особенно точный расчет сухого разложения необходимо делать для торфа и дерева, потому что при них продукты сухого разложения составляют большую долю общего количества генераторного газа.

1. Водяные пары. В настоящее время недопустимо пользоваться неверным правилом Дюлонга, будто весь кислород топлива удаляется в виде водяных паров, даже при самых грубых подсчетах. При нормальном ходе генератора (времени пребывания топлива в генераторе около 8—10 часов) в воду уходит приблизительно 50% всего кислорода органической массы топлива. При более быстром ходе генератора (времени пребывания топлива 4 часа) водяных паров от сухой перегонки получается меньше и уходит в воду около 40% всего кислорода; наоборот, при более медленном ходе (16 часов пребывания) воды получается больше, так как в воду уйдет до 60% всего кислорода.

2. Углекислый газ. В углекислоту при сухой перегонке переходит тем большая часть кислорода, чем кислотнее характер топлива, поэтому получается: для торфа—40% всего кислорода уходит в углекислоту, для дерева—30%, для бурого угля—20% и для каменного угля—10% кислорода.

3. Метан CH_4 . Количество водорода, уходящего из топлива в метан тем больше, чем меньше получается углекислоты при сухой перегонке. Можно дать простую формулу: % кислорода, уходящего в углекислоту, + % водорода, уходящего в метан = постоянной величине для всех сортов топлива, приблизительно равно 45%.

Отсюда, количество водорода, переходящего в метан, равно:

Для торфа = 45 — 40 = 5%	всего водорода,
» дерева = 45 — 30 = 15%	»
» бурого угля = 45 — 20 = 25%	»
» каменн. угля = 45 — 10 = 35%	»

4. Этилен C_2H_4 . Сюда уходит приблизительно 5% всего водорода топлива.

5. Смола. Несмотря на то, что смолокурение ведется с древних времен, и несмотря на то, что в дровяных и торфяных генераторах смола уносит с собой большую долю теплопроизводительности топлива, к изучению процесса смолообразования только-что начинают приступать. Поэтому для выхода смолы можно дать лишь, за неимением лучшего, следующее неточное, но простое мнемоническое правило: «в смолу уходит по весу столько углерода, сколько находится в топливе водорода». Наприм., из 100 кг. топлива, содержащего $C = 70\%$, $H = 4,3\%$, $O = 11\%$ и т. д., в смолу уйдет 4,3 кг. углерода. Зная примерный состав смолы, можно рассчитать выход в смолу и прочих элементов (водорода и кислорода). Считают состав смолы следующим:

	C	H	O
Из дерева и торфа . . .	78%	7,4%	14,6%
» каменных углей . . .	83	7	10
» богхэдов и горючих сланцев	81	10	9

В газогенераторах при быстром их ходе смолы должно получиться меньше, чем в ретортах, потому что в генераторах часть смолы может сгорать, реагируя с углекислотой, получающейся на колосниках генератора, так как углекислота при высоких температурах действует окислительно на сильно-углеродистые соединения.

Какая часть смолы оседет в газопроводе и какая унесется в печь будет зависеть от размеров и конструкции газопровода и от других условий.

6. Пыль. Пыли в генераторном газе вследствие малой напряженности горения получается ничтожно мало, и только в генераторах, работающих на жидком шлаке, с напряженностью

горания до 1000 клг. на 1 кв. м. сечения в час, может получаться в газе большое количество пылеобразных частей топлива.

7. Уксус. Для выхода уксуса нельзя дать пока никаких общих правил, так как он чисто индивидуален для каждого сорта топлива; наприм., из лиственных пород дерева уксуса выходит вдвое больше, чем из хвойных, хотя общий валовой химический анализ пород один и тот же. Уксус состоит из уксусной кислоты (CH_3COOH), метилового спирта (CH_3OH) и формальдегида (H_2CO). Практически можно считать, что уксус получается только при сухой перегонке дерева и торфа и что из остальных сортов топлива в газогенераторной установке его не получается. В газогенераторах обыкновенно употребляются хвойные породы деревьев.

С О Р Т Т О П Л И В А.	Выход из 100 частей органической массы.			
	Уксусной кислоты.	Метил. спирта.	Формальдегида.	Всего.
Дерево (хвойное)	3,4	0,7	0,35	4,45
Торф	1,7	0,7	0,20	2,60

Приведенные цифры для уксуса можно пересчитать, выразив в процентах потери в уксусе каждого элемента топлива. Тогда получится:

С О Р Т Т О П Л И В А.	Потери в уксусе %/о элементов.		
	Углерода.	Водорода.	Кислорода.
Дерево (хвойное)	3,52	5,67	5,33
Торф	1,76	3,67	3,78

Уксус, так же, как и смола, не весь осаждается в газопроводе и, поступая в регенераторы, подвергается разложению на более простые составные части, что следует иметь в виду при расчетах. Температура кипения уксусной кислоты = + 118°, метилового спирта = + 66; формальдегида = — 21°Ц.

8. Азот. Азот из топлива выделяется частью в виде газообразного азота (N_2) и частью в виде аммиака (NH_3); последнего получается тем больше, чем больше в генераторном газе водорода. При тепловых расчетах для простоты можно считать, что весь азот топлива переходит в газ в виде газообразного азота.

9. Сера. Приблизительно 20°/о серы остается в золе, а 80°/о переходит в генераторный газ в виде сероводорода (H_2S).

10. Водород H_2 . Остальной водород топлива, за вычетом водорода, ушедшего на вышеприведенные продукты сухой перегонки, уходит в газ в виде газообразного водорода.

11. Окись углерода. Кислород, остающийся в топливе за вычетом кислорода, идущего на вышеприведенные кислородистые продукты, переходит в газ в виде окиси углерода.

12. Углерод в золе. Содержание углерода в золе генераторов колеблется при нормальном устройстве генератора от 7 до 10°/о от веса золы.

13. Остальной углерод сгорает в генераторах от воздействия на него воздуха и водяного пара, и расчет количества получающихся при этом горении продуктов будет приведен дальше в особой главе, как следствие теории основного газогенераторного процесса.

Тепловые явления при сухой перегонке.

Процесс сухой перегонки в первой стадии, т. е. когда выделяются лишь водяные пары и углекислота,—процесс экзотермический, т. е. происходит с выделением теплоты. В последней стадии, т. е. когда выделяются окись углерода и газообразный водород, процесс происходит эндотермично, потребляя теплоту. В общей сумме для полного разложения топлива требуется затрачивать теплоту в количестве около 2°/о теплопроизводительной способности топлива. Другими словами, теплопроизводительность всех продуктов сухой перегонки приблизительно на 2°/о больше теплопроизводительности исходного материала.

I. Пример сухого разложения топлива.

Дано топливо—каменный уголь, состава:

	В 100 ккг. находится:
$C = 68,4\%$	$C = 68,4 : 12 = 5,70$ ккг.-молек.
$H = 4,7$ »	$H_2 = 4,7 : 2 = 2,35$ » »
$O = 8,8$ »	$O_2 = 8,8 : 32 = 0,275$ » »
$N = 1,0$ »	$N_2 = 1,0 : 28 = 0,0375$ » »
$S = 1,1$ »	$S = 1,1 : 32 = 0,0344$ » »
Влаги = 7,0 »	$H_2O = 7,0 : 18 = 0,389$ » »
Зола = 9,0 »	
<hr/>	
	100,0%

Продукты сухого разложения получатся следующие:

1. Водяные пары. В воду перейдет 50% всего кислорода, т. е. получится:

Расход: Кислорода . . . 0,1375 мол.
 » Водорода (по реакции $2H_2 + O_2 = 2H_2O$)—0,275 мол.

Приход: Водяных паров
 а) от сухого разложения . . . 0,275 мол.
 б) гигроскопической 0,389

 Всего 0,664 мол.

2. Углекислый газ. В углекислоту перейдет 10% всего кислорода, т. е. получится:

Расход: Кислорода 0,0275 мол.
 » Углерода 0,0275 »
 Приход: Углекислый газ $CO_2 = 0,0275$ мол.

3. Метан CH_4 . В метан перейдет 35% всего водорода, т. е. получится:

Расход: Водорода = $2,35 \cdot 0,35 = 0,822$ мол.
 » Углерода 0,411 »
 Приход: Метана $CH_4 = 0,411$ мол.

4. Этилен C_2H_4 . В этилен перейдет 5% всего водорода т. е. получится:

Расход: Водорода = $2,35 \cdot 0,05 = 0,1175$ мол.
 » Углерода 0,1175 »
 Приход: Этилен $C_2H_4 = 0,0587$ мол.

5. Смола. В смолу уйдет из топлива 4,7 ккг. углерода, и состав смолы будет: $C = 83\%$; $H = 7\%$; $O = 10\%$, т. е. получится:

Расход: Углерода = $4,7$ ккг. : $12 = 0,391$ мол.
 » Водорода = $5,66 \cdot 0,07 = 0,394$ ккг. = $0,394 : 2 = 0,197$ мол.
 » кислор. $5,66 \cdot 0,10 = 0,566$ ккг. = $0,566 : 32 = 0,0177$ мол.
 Приход: Смолы = $\frac{4,7}{0,83} = 5,66$ ккг.

6. Азот. получится в виде газообразного N_2 .

Расход: . . 0,0357 мол.
 Приход: . . 0,0357 » N_2 .

7. Сера перейдет 80% в газ в виде сероводорода.

Расход: Серы = $0,03444 \cdot 0,80 = 0,0275$ мол.
 » Водорода 0,0275 »
 Приход: Сероводород . . $H_2S = 0,0275$ »

8. Водород H_2 . На вышеупомянутые продукты разложения пойдет водорода = $0,275 + 0,822 + 0,1175 + 0,197 + 0,0275 = 1,439$ мол.

Следовательно, для газообразного водорода получится:

Расход: Водорода = $2,35 - 1,439 = 0,911$ мол.
 Приход: $H_2 = 0,911$ мол.

9. Окись углерода. На вышеприведенные продукты разложения пойдет кислорода = $0,1375 + 0,0275 + 0,0177 = 0,1827$ мол.

Следовательно, для окиси углерода получится:

Расход: Кислорода = $0,275 - 0,1827 = 0,0923$ мол.

» Углерода $0,1846$ »

Приход: Окиси углерода $CO = 0,1846$ мол.

10. Углерод в золе, допустим, составляет 8% от веса золы, т. е.:

Расход углерода в золу = $9,0 \cdot 0,08 = 0,72$ клг. = $0,72 : 12 = 0,06$ мол.

11. Остальной углерод, подвергающийся основному газогенераторному процессу, вычислится по остатку $5,70 - (0,0275 + 0,411 + 0,1175 + 0,391 + 0,1846 + 0,060) = 4,5084$ мол. = $4,5084 \cdot 12$ клг. = $54,1$ клг.

То-есть по основному газогенераторному процессу сгорит $\frac{4,5084}{5,7} = 79\%$ всего углерода топлива.

Итак от разложения 100 клг. каменного угля получатся следующие продукты:

	В $\%$ сухой газ
$CO_2 = 0,0275$ мол. . . .	$1,66\%$
$CO = 0,1846$ »	$11,15$
$CH_4 = 0,4110$ »	$24,82$
$C_2H_4 = 0,0587$ »	$3,56$
$H_2S = 0,0275$ »	$1,66$
$N_2 = 0,0357$ »	$2,15$
$H_2 = 0,9110$ »	$55,00$

Итого сухого газа = $1,656$ мол. = $1,656 \times 22,4 = 37,1$ куб. м. (при 0° и 760 мм.).

Воды = $0,664$ мол. = $0,664 \times 18 = 11,95$ клг.

Смолы $5,66$ »

Примечание: При перегонке каменного угля в ретортах для получения светильного газа выход газообразного водорода получается несколько меньше, чем в газогенераторах, потому что часть водорода остается невыделенной в коксе.

II. Пример сухого разложения топлива.

Дано топливо — дрова, состава $C = 40\%$, $H = 4,8\%$; $O = 35,2\%$; влаги = $20,0\%$.

Вычисляя вышесказанным способом, получим следующие продукты сухой перегонки на 100 клг. дров:

1) Газ	В $\%$ сухой газ
$CO_2 = 0,33$ мол.	$25,5\%$
$CO = 0,266$ »	$20,6$
$CH_4 = 0,18$ »	$14,0$
$C_2H_2 = 0,06$ »	$4,6$
$H_2 = 0,456$ »	$35,3$

Итого 1) Сухой газ = $1,292$ мол. = $1,292 \times 22,4 = 28,9$ куб. м. (при 0 и 760 мм.).

2) Смола $6,15$ клг.

3) Уксус $3,56$ »

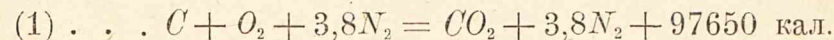
4) Вода = $2,21$ мол. = $2,21 \times 18 = 39,78$ клг.

5) Углерод = $1,917$ мол. = $1,917 \times 12 = 23$ клг.

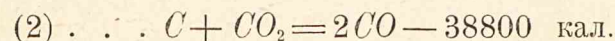
Теория основного (главного) газогенераторного процесса (Vergasung).

Основным (главным) газогенераторным процессом должно называть процесс горения углерода в генераторах. Этот процесс состоит из трех реакций:

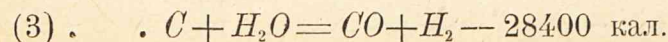
В самом низу генератора углерод сначала сгорает в углекислоту по реакции:



Затем во втором поясе генератора получившаяся углекислота разлагается раскаленным углеродом по реакции:



В том же поясе водяные пары, вводимые вниз генератора, разлагаются раскаленным углеродом по так назыв. реакции водяного газа

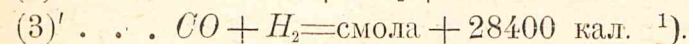
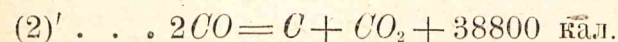


Скорость последней (3) реакции, т. е. разложение водяных паров, меньшая, чем скорость (2) реакции—разложения углекислоты, то-есть, другими словами, достигает своего равновесия в более долгое время. Скорости обеих реакций увеличиваются с повышением температуры и достигают практических значений лишь:

(2) реакция $C + CO_2 = 2CO - 38800$ кал. при температурах выше $900^\circ C$.

(3) реакция $C + H_2O = CO + H_2 - 28400$ мол. при температурах выше $800^\circ C$.

При выходе газов из топлива в свободное от топлива пространство генератора, а иногда еще при проходе через топливо, реакции (2) и (3) начинают идти в обратную сторону, т. е.



Наибольшая скорость этих реакций около $700^\circ C$ и они идут тем полнее, чем больше времени газ находится при этой температуре. Вследствие этих реакций достоинство газа и коэффициент полезного действия генератора сильно ухудшаются. Пример можно взять из исследования К. Неуманна «Mitteilungen über Forschungsarbeiten» Н. 140. 1913 г. Опыт № 9.

Теплопр.

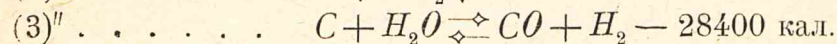
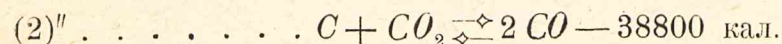
	CO_2	CO	H_2	CH_4	H_2O	N_2	Темп.	1 к. м.
Газ из кокса	На расстоянии 540 мм.							
	от колосник.	3,95	29,0	12,13	0,77	3,72	50,43	760 1202 к.
Газ из слоя топлива	При выходе							
	из слоя топлива . .	6,17	22,49	10,41	0,74	7,88	52,31	480 1015 к.

По охлаждению газа ниже $450^\circ C$ эти реакции настолько замедляются, что практически можно считать их неидущими, т. е. генераторный газ ниже $450^\circ C$ «закаливается». Итак, во время пребывания газа в пространстве с температурой $700-500^\circ$

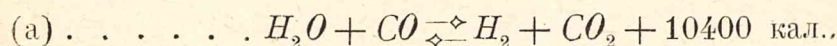
¹⁾ По (3)' реакции таким образом получают синтетически из простых газов сложные органические соединения.

достоинства газа ухудшаются и коэффициент полезного действия генератора уменьшается, а потому это пространство следует называть «вредным пространством».

И в этом направлении скорость (3)' реакции меньшая, чем скорость (2)' реакции. Таким образом две главные реакции генераторов обратимы, и поэтому можно написать:



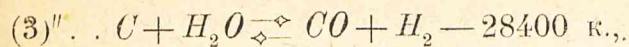
Известная реакция



в генераторах, вопреки распространенному мнению, отсутствует. Другими словами, разложение водяных паров в генераторах производится не окисью углерода, а лишь раскаленным углеродом. Отсутствие в генераторах этой реакции (a) доказывается, во-первых, наблюдениями состава газов на разных горизонтах в генераторах: при подеме газов в генераторах никогда в газе не увеличивается одновременно содержание H_2 и CO_2 за счет уменьшения H_2O и CO , а всегда вместе с уменьшением H_2O в газе уменьшается CO_2 и увеличивается CO . Во-вторых, разложение в генераторах водяных паров окисью углерода не может происходить и теоретически, так как окись углерода при температурах выше $800^\circ C$ обладает очень слабой восстановительной способностью по сравнению с восстановительной способностью элементарного углерода. Лишь при обработке некоторых вопросов, касающихся генераторного процесса, математическим путем можно вместо (3)" реакции принимать реакцию (a), так как способ решения задач получается от этого более простым, а приводит он к одним и тем же результатам; но фактически реакция $CO + H_2O \rightleftharpoons H_2 + CO_2 + 10400$ кал. в генераторах отсутствует.

Итак, реакция (2)" . . $C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO - 38800$ кал. сначала внизу генератора идет в сторону, обозначенную верхней стрелкой; затем, по охлаждению газа при его подеме через толщу топлива, например, до $750^\circ C$, наступает на одно мгновение равновесие, а затем реакция начинает идти в обратную сторону

То же самое происходит и с реакцией



но только, вследствие большей медленности этой реакции, равновесие на одно мгновение происходит при более низкой температуре (примерно, при 700°), т. е. в более верхних слоях шахты генератора. Вследствие этого в генераторе наблюдается такая картина: температура газа в данном месте генератора, напр., 1000° , но отношение $\frac{CO \cdot CO}{CO_2}$ в газе соответствует, напр.,

700° , а отношение $\frac{CO \cdot H_2}{H_2O}$ еще меньше и соответствует только, напр., 625°Ц . Отсюда получается, что отношение отношений $r = \frac{CO \cdot CO}{CO_2} : \frac{CO \cdot H_2}{H_2O} = \frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2}$ будет больше по значению,

чем ему полагается быть при равновесии при 700°Ц . Таким образом, ни в одной точке генератора ни на один момент не наступает полного химического равновесия.

Из рассмотрения всех произведенных до сего времени исследований генераторов можно вывести два следующие основные закона главного газогенераторного процесса.

Первый основной закон генераторного процесса.

Величина $r = \frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2}$ при обычном ходе генераторов колеблется в пределах 1,7 до 2,5¹⁾.

Чем меньше время пребывания топлива в генераторе (чем быстрее ход генератора), тем большее значение имеет величина $r = \frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2}$. Затем, величина r получается тем больше, чем меньше время пребывания газа во «вредном» пространстве (т. е. с температурой $700-500^\circ\text{Ц}$), т. е. чем меньше «вредное» пространство.

По величине r нельзя судить о коэффициенте полезного действия генератора.

¹⁾ Следует иметь в виду, что малейшая ошибка в определении H_2O в газе влечет за собою сильное отклонение величины r от действительного его значения.

Второй основной закон газогенераторного процесса

состоит в том, что на каждые 100 молекул вдуваемого азота в генераторах сжигается:

- a) При чисто-воздушном дутье 50—52,7 мол. углерода
- b) „ паро-воздушном (холодн.) дутье 60—63 „ „
- c) „ паро-возд. (предв. нагрет. до 250°) 62—65 „ „
- d) „ водо-воздушн. (см. дальше) . . 58—61 „ „

Примечание: первые цифры—обычные в хорошей генераторной практике, вторые—максимально-возможные; так что практические цифры для количества сжигаемого углерода на каждые 100 молекул азота очень близки к предельно-возможным.

Математически второй основной закон можно выразить так:

- a) При чисто-воздушном дутье . . . $\frac{CO + CO_2}{N_2} = 0,50 — 0,527$
- b) „ паро-возд. (холодном) дутье $\frac{CO + CO_2}{N_2} = 0,60 — 0,63$
- c) „ „ „ (нагретом до 250°) $\frac{CO + CO_2}{N_2} = 0,62 — 0,65$
- d) „ водо-воздушном дутье . . . $\frac{CO + CO_2}{N_2} = 0,58 — 0,61$

где первые цифры—обычные для практики, а вторые—максимально-возможные теоретически.

Этот второй закон газогенераторов объясняется так:

a) При чисто-воздушном дутье, в виду того, что состав воздуха равен $C_2 + 3,8 N_2$, на каждые 3,8 мол. азота, в случае полного разложения углекислоты, получится окиси углерода две молекулы, а на 100 мол. азота получится $\frac{2 \cdot 100}{3,8} =$

$$= \frac{100}{1,9} = 52,7 \text{ молекул окиси углерода и сожжется таким образом } 52,7 \text{ мол. углерода.}$$

В действительности на практике получается в газе, наряду с окисью углерода, небольшое количество

углекислоты; обычно на практике чисто-воздушный газ имеет состав

$$1,8\% CO_2 + 31,5\% CO + 66,7\% N_2$$

Следовательно $\frac{CO+CO_2}{N_2} = \frac{33,3}{66,7} = 0,50$.

б) При паро-воздушном дутье второй закон получается на основании теплового баланса генераторов. Дело в том, что для правильного хода генераторов необходимо, чтобы температура газа при выходе из зоны разложения углекислоты была бы не ниже 900° и не выше 1000°. При меньшей температуре разложение углекислоты и водяных паров будет происходить медленно и мало; при большей температуре будет напрасно теряться тепловая энергия и, кроме того, может получаться прямой вред от шлакования золы в настыли.

При воздействии чистого воздуха на углерод и при сжигании, как было выше указано, на каждые 100 молекул азота 50—52,7 молекул углерода, продукты горения нагреваются выше 1000°Ц. Поэтому прибавляемый к воздуху водяной пар за счет избытка теплоты сжигает еще некоторое количество углерода по (3) реакции . . . $C + H_2O = CO + H_2 - 28400$ кал.

Но избытка теплоты (на каждые 100 мол. азота) хватает на разложение приблизительно только 10 мол. водяного пара; а так как каждая молекула водяного пара, разлагаясь, сжигает одну молекулу углерода, то и получается, что на каждые 100 мол. азота сжигается в генераторе еще дополнительно 10 мол. углерода, а всего от (50 + 10) до (52,7 + 10) = от 60 до 63 молекул углерода.

Если принять, что еще около 1 мол. водяного пара останется неразложенной, то получится, что целесообразно вводить в генератор только 10 + 1 = 11 мол. водяного пара на 100 мол. азота. Дальнейшее прибавление к воздуху водяного пара не влечет за собою увеличения количества сжигаемого углерода, так как не имеется для этого необходимой тепловой энергии. Для доказательства этого можно привести примерный баланс теплоты в зоне горения углерода, из которого видно, что теплоты, остающейся в зоне после разложения 10 мол. водяного пара и после некоторых обязательных в генераторе потерь ее

остается теплоты лишь столько, сколько необходимо ее для нагрева продуктов горения до 900°, т. е. избытка теплоты уже не будет иметься.

Действительно, допустим, что от горения 4,5084 мол. углерода кокса из 100 кг. каменного угля (взятого нами в примере сухого разложения топлива), получился газ следующего состава:

$H_2O = 0,10$	мол.	0,79%
$H_2 = 0,95$	„	7,48
$CO_2 = 0,2016$	„	1,58
$CO = 4,3068$	„	33,80
$N_2 = 7,15$	„	56,35

Итого = 12,7084 мол. 100,0%.

Величина $r = \frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2} = \frac{4,3068 \cdot 0,10}{0,2016 \cdot 0,95} = 2,25$

$$\frac{CO + CO_2}{N_2} = \frac{4,3068 + 0,2016}{7,15} = 0,63.$$

Требуется доказать, что 0,63 есть максимальное значение, т. е. требуется показать, что при таком составе газов их температура при выходе из зоны восстановления углекислоты не более 900°Ц.

Составим баланс теплоты для этой зоны.

Приход теплоты.

1. Приходящий из зоны сухой перегонки и нагретый там не более 900° углерод приносит с собою $4,5084 \cdot 12 \cdot 0,353 \cdot 900 = 17150$ кал.
2. Нагретая до 900° зола приносит с собою $= 9,0 \cdot 0,25 \cdot 900 = 2025$ „
3. Теплота нагрева вводимых в генератор (0,10 + 0,95) = 1,05 мол. водяного пара 840 „
4. Теплота от горения 0,2016 мол. углерода в $CO_2 = 0,2016 \cdot 97650 = 19685$ „
5. Теплота от горения 4,3068 мол. углерода в $CO = 4,3068 \cdot 29430 = 126750$ „

Итого приход теплоты = 166450 кал

Расход теплоты.

1. В зоне горения углерода из кокса выделяются самые упорные остатки газов, главным образом водород из углеводородов, на разложение которых необходимо затратить теплоты приблизительно по 9000 калорий на одну килограмм-молекулу водорода. Как было высчитано, при сухой перегонке получится из 100 кг. каменного угля водорода $H_2 = 0,911$ мол. Следовательно, на газификацию его необходимо потратить теплоты $= 0,911 \cdot 9000 = 8200$ кал.
2. Потеря теплоты зоной горения через лучеиспускание равна приблизительно 3% от теплопроизводительности топлива, или равна, приблизительно, теплоте, приносимой в зону горения раскаленным коксом, т. е. для нашего случая около $645300 \cdot 0,03 = 19359$ кал.
3. Расход теплоты на разложение 0,95 мол. водяного пара $0,95 \cdot 57810 \dots \dots = 54920$ „
4. Остается на нагрев газов (по разности) $\dots \dots = 83971$ „

Итого расход теплоты $= 166450$ кал.

Следовательно, на нагрев 1 мол. газа пойдет теплоты $\frac{83971}{12,7084} = 6610$ кал., что нагреет его только до 900°C . Дальнейшее разложение пара в генераторе не может происходить, потому что оно еще более понизило бы температуру в генераторе, что сделало бы невозможным разложение углекислоты и водяного пара вследствие понижения скорости реакций.

Второму основному закону генераторного процесса можно дать другую формулировку, именно: «в генераторах температура газа при выходе из зоны разложения углекислоты и водяного пара приблизительно равна 900°C .».

Следствие второго закона.

Итак, на каждые 100 мол. азота десять молекул водяного пара, разлагаясь, могут сжигать 10 мол. углерода. При дальнейшем

увеличении водяного пара в дутье, количество разлагаемого пара увеличивается и он сжигает еще некоторое количество углерода, но зато, вместе с тем, меньше начинает разлагаться углекислоты, и углекислота сжигает меньшее количество углерода. Таким образом сумма сожженного углерода на каждые 100 мол. азота не может превышать 63 молекул (при холодном паро-воздушном дутье). Следовательно, увеличение количества водяных паров в дутье свыше $10 + 1 = 11$ мол. на 60 мол. сжигаемого углерода ведет к увеличению в газе негорючих частей—водяного пара и углекислоты. Поэтому наилучший ход генератора получится при введении 11 мол. водяного пара на 60 мол. углерода, т. е. в весовых процентах $\frac{11 \cdot 18}{60 \cdot 12} = 27,5\%$

от веса сжигаемого углерода. То-есть на 100 кг. взятого нами для примера каменного угля $4,5084 \cdot 12 \cdot 0,275 = 54,1 \cdot 0,275 = 14,9$ кг. водяного пара.

К сожалению, при таком малом количестве вводимого пара развивается внизу генератора столь высокая температура, что при плохой конструкции генератора и при легкоплавкой золе возможно образование больших настывлей из шлака, нарушающих правильный ход генератора. Поэтому иногда вводят водяного пара больше 27,5% от веса углерода, хотя это и понижает теплопроизводительность генераторного газа.

Пользуясь двумя основными законами газогенераторов, можно очень просто проверять правильность анализов генераторного газа.

Введение водяного пара в газогенераторы.

Водяной пар всего экономичнее получать за счет теплоты нагрева генераторного газа, потому что высокая температура газа бесполезна при употреблении газа в регенеративных печах и даже вредна при употреблении газа в газовых двигателях. Но такое устройство осложняет установку, поэтому, если не желают этого делать, можно вводить вниз генератора прямо воду и таким образом заставить низ генератора работать как паровой котел с коэффициентом полезного действия $= 100\%$.

Введение в генератор воды (вместо пара) очень просто сделать при водяном и вращающемся поддоне генератора (с

непрерывным удалением золы); для этого следует лишь поднять уровень воды в водяном затворе и сблизить между собой уровень воды с уровнем подвода воздуха в генератор. Регулируя расстояние между уровнями, можно регулировать количество вводимой в генератор воды.

При введении жидкой воды вместо пара имеющейся в генераторе излишней теплоты хватит на разложение водяного пара в количестве не 27,5% от веса углерода, а лишь $\frac{27,5 \cdot 57810}{68360} = 23,3\%$ от веса углерода, сгорающего по основ-

ному генераторному процессу, или $\frac{14,9 \cdot 57810}{68360} = 12,6\%$ от веса каменного угля.

Примечание:

57810 кал.—теплота разложения 1 мол. H_2O пара.
68360 „ „ „ „ „ H_2O жидкости.

Тогда на каждые 100 мол. азота будет сжигаться 58—61 мол. углерода.

Как было сказано выше, в случае легкоплавкой золы, во избежание шлакования генератора или других причин, приходится держать температуру горения в генераторе возможно ниже. Понижение этой температуры посредством введения в генератор избытка водяного пара (или другого какого-либо инертного в этих условиях газа) хотя и распространено на практике, но не особенно разумно, так как этот инертный газ ухудшает качество генераторного газа.

Самое лучшее студить генератор введением избытка воды указанным мною весьма простым способом из водяного затвора генератора, так как остужающее действие воды более, чем в два раза остужающего действия водяного пара, и поэтому излишней воды пойдет в два раза менее, и генераторный газ будет содержать в себе меньшее количество инертного газа.

Введение избытка водяного пара или воды вниз генератора хотя и понижает температуру зоны горения углерода, но не понижает температуры генераторного газа вверху—при выходе его из генератора

Конструкция верха генераторов.

Как было сказано, вверху генератора могут происходить реакции распада окиси углерода и превращение ее и водорода в смолу и сажу, вследствие чего достоинство газа ухудшается и коэффициент полезного действия генератора понижается. Для предотвращения этого надо быстро понижать температуру газа с 700° до 500°. Для этого надо при каменном угле, и особенно при коксе и антраците, делать стенки генератора вверху не только не футерованными, но даже усиленно охлаждать их водою, т. е. полезно превращать верх генератора в ватержакет.

Такое устройство кроме того позволяет использовать теплоту нагрева генераторного газа и облегчает работу на рабочей площадке. Объем пустого пространства в каменноугольном генераторе должен быть возможно-малым, чтобы уменьшить время пребывания газов в этом «вредном пространстве».

Расчет горения углерода по основному генераторному процессу.

Теперь, после приведенных объяснений, будет понятен самый способ расчета горения углерода. Допустим, требуется сжечь в генераторе полученные нами из 100 клг. каменного угля (после удаления продуктов сухого разложения)—4,5084 мол. углерода и требуется узнать, какие газы получатся в результате сжигания.

При расчете надо задаться количеством вводимого пара на единицу топлива.

Когда исследуют уже работающую установку, то количество вводимого водяного пара уже известно; при проектировании же новой приходится принимать во внимание желательность увеличения вдуваемого пара против теоретически наивыгодного (27,5% от веса углерода) или для избежания шлакования легкоплавкой золы, или для увеличения выхода аммиака в газе.

Зададимся для примера, что в генератор вместе с воздухом мы вводим из особого парового котла водяной пар в количестве 22,5% от веса каменного угля, т. е. на 100 клг. угля

водяного пара 22,5 кил., или $\frac{22,5}{18} = 1,25$ мол. От веса сжигаемого углерода это составит $\frac{22,5}{4,5084 \cdot 12} = 41,7\%$.

Допустим, что в нашей установке на каждые 100 мол. азота сжигается 60 мол. углерода, следовательно, для сжигания 4,5084 мол. углерода введено будет и получится без изменения в генераторном газе $\frac{4,5084 \cdot 100}{60} = 7,514$ мол. N_2 .

Составляем четыре уравнения для четырех неизвестных: CO , CO_2 , H_2O и H_2 .

Так как из каждой молекулы углерода получается одна молекула CO или CO_2 , то из 4,5084 мол. углерода получится 4,5084 мол. CO или CO_2 и следовательно будем иметь

$$CO + CO_2 = 4,5084 \text{ мол.} \dots (1).$$

Введено было воды 1,25 мол. При разложении одной молекулы воды получается одна молекула водорода; если часть воды и не разложится, то все-таки получится, что сумма молекул неразложившейся воды с числом молекул образовавшегося водорода будет равна 1,25 мол., т. е. будем иметь

$$H_2 + H_2O = 1,25 \text{ мол.} \dots (2).$$

Допустим, что время пребывания топлива в нашем генераторе будет около 10 часов, а объем вредного пространства небольшой, тогда на основании первого основного закона газогенераторов можно допустить

$$\frac{CO \cdot H_2O}{CO_2 \cdot H_2} = 2,25 \dots (3).$$

Так как в атмосферном воздухе на 1 атом кислорода приходится 1,9 мол. азота N_2 , то вместе с 7,514 мол. N_2 будет введено из воздуха $\frac{7,514}{1,9} = 3,95$ атомов кислорода, которые пойдут на горение углерода. Кроме того, горение углерода будет происходить за счет кислорода, получающегося от разложения в генераторе воды, которая, разлагаясь, выделяет на 1 мол. H_2 один атом кислорода. Следовательно, число поступаю-

щих для горения атомов кислорода будет равно $= \frac{N_2}{1,9} + H_2 = 3,95 + H_2$. В полученном же газе число атомов кислорода равно $2 CO_2 + CO$. Приравнявая одно другому, получим $2 CO_2 + CO = \frac{N_2}{1,9} + H_2$ или

$$2 CO_2 + CO = 3,95 + H_2 \dots (4).$$

Решаем эти четыре уравнения с четырьмя неизвестными, для чего сначала выражаем все неизвестные через H_2O .

Наприм., складывая почленно (2) и (4) уравнения и вычитая (1) уравнение, получаем

$$H_2 + H_2O + 2 CO_2 + CO - CO - CO_2 = 1,25 + 3,95 + H_2 - 4,5084$$

$$CO_2 + H_2O = 0,6916.$$

$$CO_2 = 0,6916 - H_2O \dots (1)'$$

$$CO = 4,5084 - CO_2 = 4,5084 - 0,6916 + H_2O = 3,8168 + H_2O \dots (2)'$$

$$H_2 = 1,25 - H_2O \dots (3)'$$

Подставляя эти выражения в (3) уравнение, получаем

$$\frac{(3,8168 + H_2O) \cdot H_2O}{(0,6916 - H_2O)(1,25 - H_2O)} = 2,25.$$

Или раскрывая скобки

$$1,25(H_2O)^2 - 8,1968 (H_2O) + 1,945 = 0.$$

Решая это квадратное уравнение, получаем от горения 4,5084 мол. углерода (т. е. на 100 клг. нашего каменного угля) по основному газогенераторному процессу ¹⁾:

$H_2O = 0,247$	мол.	1,86%
$H_2 = 1,003$	„	7,53%
$CO = 4,0638$	„	30,60%
$CO_2 = 0,4446$	„	3,35%
$H_2 = 7,514$	„	56,66%

Всего = 13,2724 мол. 100,0%.

¹⁾ Необходимо проверять правильность решения уравнения подстановкой полученных цифр в (3) уравнение.

Вместе с продуктами сухой перегонки общее количество и состав генераторного газа на 100 клг. каменного угля будет:

Название газа.	От сухого разложения.	От горения углерода.	Всего.	В объемных процентах.	
				Влажный.	Сухой.
CO ₂	0,0275	0,4446	0,4721	3,0	3,2
CO	0,1846	4,0638	4,2484	27,2	29,0
CH ₄	0,4110	—	0,4110	2,6	2,8
C ₂ H ₄	0,0587	—	0,0587	0,4	0,4
H ₂	0,9110	1,0030	1,9140	12,35	13,0
N ₂	0,0357	7,514	7,5497	48,45	51,4
H ₂ S	0,0275	—	0,0275	0,2	0,2
H ₂ O	0,6640	0,2470	0,9110	5,8	—
Итого . . .	2,320 м.	13,2724 м.	15,5924 м.	100,0	100,0

Получилось влажного газа $15,5924 \times 22,4 = 349$ куб. м. (при 0° и 760 м.м.).

Получилось сухого газа $(15,5924 - 0,911) \times 22,4 = 329$ куб. м. (при 0° и 760 м.м.).

Теплопроизводительность (полезная, считая воду в парах) 1 куб. м. влажного газа будет:

$$T_{\text{п}} = \frac{27,2 \cdot 68220 + 2,6 \cdot 192400 + 0,4 \cdot 319000 + 12,35 \cdot 57780 + 0,2 \cdot 124850}{22,4 \cdot 100} = \frac{3197600}{2240} = 1428 \text{ кал.}$$

Тепловой баланс газогенераторов.

Лучеиспускание генератора обыкновенно при закрытых колосниках равно 5% от теплопроизводительности топлива; при открытых колосниках еще теряется через лучеиспускание колосников около 4% и всего значит 9% от теплопроизводительности топлива.

Теплопроизводительность 1 клг. взятого нами каменного угля по формуле Менделеева

$$T_2 = 81 \cdot C + 246 \cdot H - 26 (O - S') - 6 \cdot W = 81 \cdot 68,4 + 246 \cdot 4,7 - 26 (8,8 - 1,1) - 6 \cdot 7 = 6453 \text{ кал.}$$

Поэтому будет приход теплоты на 100 клг. каменного угля.

1. Теплопроизвод. 100 клг. кам. угля = $6453 \cdot 100 = 645300$ кал.
2. Теплота нагрева 1,25 мол. водяного пара . . . 1015 „

Всего приход теплоты = 646315 кал.

Расход теплоты.

1. Теплопроизвод. полученного газа = $1428 \cdot 349 = 498000$ кал.
2. Теплопроизводительность смолы = $8185 \cdot 5,66 = 46300$ „
3. Потеря углерода в золе $0,72 \cdot 8137 = 5900$ „
4. Лучеиспускание генератора . . $645300 \cdot 0,05 = 32265$ „
5. Нагрев смолы до 570° . . . $5,66 \cdot 0,5 \cdot 570 = 1615$ „
6. Нагрев газов (по разности) = 62235 „

Итого расход теплоты = 646315 кал.

62235 калорий нагревают 15,5924 мол. газа. Следовательно, на нагрев 1 мол. газа пойдет $\frac{62235}{15,5924} = 3990$ калор. Это количество теплоты нагреет газ приблизительно до 560° Ц., если температура окружающего воздуха равна 0°. Если же температура воздуха будет, напри., 20°, то температура газа при выходе из генератора будет около $560 + 20 = 580$ ° Ц.

Как за правильностью горения в топках всего практичнее следить по содержанию углекислоты в дыме, так о правильности работы газогенераторов и рабочего персонала при них всего удобнее следить по температуре выходящего из генератора газа: чем эта температура ниже при одних и тех же условиях, тем значит лучше работает генератор. Поэтому, можно устроить очень просто электрическую сигнализацию для обнаруживания неправильного хода генераторов.

Для вычисления коэффициента полезного действия генератора надо принять во внимание расход топлива в паровом

котле, доставляющем для генератора водяной пар. Допустим хороший случай, что в нашем паровом котле 1 клг. каменного угля испаряет 7 клг. воды, тогда расход каменного угля на котле будет $\frac{22,5}{7} = 3,21$ клг.

Следовательно, общий расход каменного угля будет:

$$100 + 3,21 = 103,21 \text{ клг.}$$

Теплопроизводительность его будет $= 6453 \cdot 103,21 = 666000$ кал.

Отсюда тепловой баланс генератора представится в следующем виде:

Приход тепла:

- 1. Уголь в генераторах $= 96,7\%$
- 2. „ в паровом котле $= 3,1\%$

100,0%

Расход тепла:

- 1. Теплопроизводительность газа $= 74,8\%$
- 2. „ „ смолы $= 6,95\%$
- 3. Потеря в золе углерода $= 0,90\%$
- 4. Лучеиспускание $= 4,84\%$
- 5. Нагрев смолы $= 0,24\%$
- 6. „ газа $= 9,33\%$
- 7. Потеря в паровом котле $= 2,95\%$

100,0%

II. Пример расчета горения углерода.

Расчитаем генераторный газ, могущий получиться из дров при воздушном дутье.

Как было высчитано, от сухой перегонки 100 клг. взятых дров остается в конце концов 1,917 мол. углерода, сгораемых в генераторах по основному газогенераторному процессу.

Предположим, что в нашей установке на каждые 100 мол. азота сожигается 50 мол. углерода; следовательно, для сожи-

гания 1,917 мол. углерода будет введено $\frac{1,917 \cdot 100}{50} = 3,834$ мол. N_2 .

Вместе с воздухом войдет атмосферная влажность, допустим 0,1 мол. H_2O , которая, практически говоря, вся целиком разложится внизу генератора на H_2 и O . Отсюда будем иметь в газе 0,1 мол. H_2 и можем составить еще два уравнения:

$$CO + CO_2 = 1,917 \dots (1).$$

$$2 CO_2 + CO = \frac{N_2}{1,9} + H_2 = \frac{3,834}{1,9} + 0,1 = 2,117 \dots (2).$$

Решая эти два уравнения, получаем $CO_2 = 0,2$ мол. и $CO = 1,717$ мол.

Таким образом из 100 клг. взятых дров получим следующий генераторный газ:

Название газа.	От сухого разложения.	От горения углерода.	В с е г о.	В объемных процентах.	
				Влажный.	Сухой.
CO_2	0,33	0,20	0,53	5,65	7,42
CO	0,266	1,717	1,983	21,2	27,75
CH_4	0,18	—	0,18	1,9	2,52
C_2H_4	0,06	—	0,06	0,6	0,82
H_2	0,456	0,10	0,556	5,95	7,79
N_2	—	3,834	3,834	41,1	53,70
H_2O	2,21	—	2,21	23,6	—
Итого . . .	3,502 м.	5,851 м.	9,353 м.	100,0	100,0

Получилось влажного газа $= 9,353 \times 22,4 = 219,5$ куб. м. (при 0° и 760 м.м.).

Получилось сухого газа $= (9,351 - 2,21) \times 22,4 = 160,0$ куб. м. (при 0° и 760 м.м.).

Теплопроизводительная способность (полезная) 1 куб. м. влажного газа равна

$$T_n = \frac{21,2 \cdot 68220 + 1,9 \cdot 192400 + 0,6 \cdot 319000 + 5,95 \cdot 57810}{22,4 \cdot 100} = 1047 \text{ кал.}$$

Как видно, несмотря на то, что дрова очень сухие, теплопроизводительность дровяного генераторного газа, вследствие большого содержания в газе водяных паров, очень низкая. Улучшить такой газ можно по способу Лундина (Горн. Журн. 1871 г.) пропусканием его через скруббер, из которого газ выходит охлажденный (с температурой лишь на 3° больше употребляемой воды) и вследствие этого будет содержать в себе лишь следы водяных паров. Устройство длинных газопроводов для конденсации водяных паров не достигает и не может достигать желательных результатов вследствие малой охлаждающей способности воздуха. Для осушения генераторного газа также весьма пригодны поверхностные водяные холодильники; такое устройство является более дорогим, но зато позволяет собирать конденсирующиеся вместе с влагой смолу и уксус.

Тепловой баланс дровяного генератора на 100 кг. дров.

Приход теплоты.

Теплопроизв. 1 кг. дров по форм. Менделеева $T_n = 81 \cdot 40 + 246 \cdot 4,8 - 26 \cdot 35,2 - 6 \cdot 20 = 3386 \text{ кал.}$

Следовательно, приход тепла на 100 кг. дров будет = 338000 кал. 100%.

Расход теплоты.

1. Теплопроизвод. полученного газа = $1047 \times 219,5 \dots = 230100 \text{ кал. } 68,0\%$

2. Теплопроизвод. 1 кг. смолы по форм. Менделеева = $78 \cdot 81 + 246 \cdot 7,4 - 26 \cdot 14,6 = 7760 \text{ кал.}$

Теплопроизвод. 6,15 кг. смолы будет = $7760 \cdot 6,15 \dots = 47700 \text{ кал. } 14,1\%$

3. Теплопроизвод. 1 кг. уксуса = $81 \cdot 39,5 + 246 \cdot 7,7 - 26 \cdot 52,8 = 3722 \text{ кал.}$

Теплопроизвод. 3,56 кг. уксуса будет = $3722 \cdot 3,56 \dots = 13250 \text{ кал. } 3,9\%$

4. Лучеиспускание генератора (при открытых колосниках) примем . = $30500 \text{ кал. } 9,0\%$

5. Нагрев смолы и уксуса до 250° . = $1000 \text{ кал. } 0,3\%$

6. Нагрев газов (по разности) . . = $16150 \text{ кал. } 4,7\%$

Итого расход теплоты . . = $338000 \text{ кал.} = 100,0\%$

16150 кал. нагревают 9,353 мол. газа. Следовательно, на нагрев 1 мол. газа пойдет $\frac{16150}{9,353} = 1715 \text{ кал.}$, что нагреет его приблизительно на 240° Ц. Отсюда если температура окружающего пространства, напр., 30°, температура газа при выходе из генератора будет около 270° Ц.

Как видно, смола и уксус могут уносить с собой много теплопроизводительной способности дров; для уменьшения выхода смолы и уксуса надо уменьшать время пребывания дров в генераторах, но, к сожалению, нет достоверных сведений о выходе смолы и уксуса в дровяном генераторном газе в зависимости от условий работы генератора.

Расчет газогенераторов.

Размеры генераторов могут быть весьма различны — и очень малые и очень большие. Нет никаких оснований бояться больших генераторов с большой производительностью, за исключением случаев сильно спекающихся каменных углей (спекание угля можно отчасти уменьшить посредством автоматической непрерывной загрузки топлива малыми порциями).

При жирных (газовых по Грюнеровской классификации) углях толщину слоя топлива делают почти всегда равной половине внутреннего диаметра генератора, т. е.

$$H = \frac{D_0}{2}$$

При сухих длиннопламенных (подмосковных и лисичанских) и при тощих полуантрацитах-неспекающихся углях можно толщину слоя топлива брать больше, т. е.

$$H = \frac{D_0}{1,5}$$

При бурых углях толщину слоя топлива можно брать равной диаметру генератора, т. е. $H = D_0$.

Для правильного хода генераторов время пребывания топлива в них должно быть для каменного угля около 10 часов, для антрацита—около 12 часов, для дров—около 8—10 часов, в зависимости от степени влажности дров. При получении «силового» газа для газовых двигателей, в целях уменьшения смолы в газе, время пребывания топлива в генераторе должно быть гораздо меньше—около 3—4 часов.

Для соблюдения постоянства времени пребывания топлива в генераторах толщина слоя топлива должна быть пропорциональна количеству топлива, сжигаемого в 1 час на 1 кв. м. сечения генератора. Так как вес 1 куб. м. каменного угля—850 клг., а вес 1 куб. м. антрацита—1000 клг., напряженность горения на 1 кв. м. сечения в час будет:

Для слоя топлива в 1 метр толщиной.

При каменном угле $q = \frac{850 \text{ клг.}}{10 \text{ час.}} = 85 \frac{\text{кЛГ.}}{\text{час.}}$

При антраците $q = \frac{1000 \text{ клг.}}{12 \text{ час.}} = 85 \frac{\text{кЛГ.}}{\text{час.}}$

Для слоя в H метров толщиной.

$$q = 85 \cdot H \frac{\text{кЛГ.}}{\text{час.}}$$

$$q = 85 \cdot H \frac{\text{кЛГ.}}{\text{час.}}$$

т. е. для каменных углей и антрацитов напряженность горения должна быть одинаковой и равной $85 \cdot H \frac{\text{кЛГ.}}{\text{час.}}$

Так как для жирных газовых углей толщина слоя топлива почти всегда равна $\frac{D_0}{2}$, то напряженность горения, будучи пропорциональна толщине слоя топлива, будет пропорциональна и диаметру генератора и будет равна

$$q = 42,5 \cdot D_0 \frac{\text{кЛГ.}}{\text{час.}}$$

Производительность всего генератора для каменных углей и антрацитов будет:

$$Q = \frac{\pi D_0^2}{4} \cdot 85 \cdot H = 66,6 \cdot H \cdot D_0^2 \frac{\text{кЛГ.}}{\text{час.}}$$

Для газовых углей, при которых $H = \frac{D_0}{2}$, производительность генератора будет:

$$Q_{\text{газ}} = \frac{66,6 \cdot D_0^3}{2} = 33,3 D_0^3 \frac{\text{кЛГ.}}{\text{час.}} = 0,8 \cdot D_0^3 \frac{\text{тонн.}}{\text{сутки.}}$$

Таблица генераторов для газовых каменных углей.

D_0 метр.	$\frac{\pi D_0^2}{4}$	D_0^3	H	q $\frac{\text{кЛГ.}}{\text{кв. м.}}$	Q $\frac{\text{тонн.}}{\text{час.}}$	Q $\frac{\text{тонн.}}{\text{сутки.}}$	ПРИМЕЧАНИЕ.
2,0	3,14	8,0	1,0	85	0,267	6,4	
2,3	4,15	12,17	1,15	98	0,406	9,75	
2,6	5,31	17,58	1,30	110	0,586	14,0	
3,0	7,07	27,0	1,50	127,5	0,90	21,6	
3,5	9,62	42,9	1,75	149	1,43	34,4	1 генерат. на 35 тонн. мартен. печь.
4,0	12,57	64,0	2,00	170	2,13	51,2	1 генерат. на 50 тонн. мартен. печь.
4,5	15,90	91,1	2,25	191	3,04	73,3	
5,0	19,64	125	2,50	212	4,17	100	
6,0	28,27	216	3,00	255	7,20	173	

Упругость дутья.

Упругость дутья в шахтных печах ¹⁾ пропорциональна плотности лежания материалов, высоте слоя материалов в шахте и условной скорости воздуха, т.е. скорости, получающейся от движения вдуваемого воздуха, считая печь пустой, а воздух при 0° и 760 м.м. давления.

То-есть упругость дутья в генераторе
 h метров водяного столба $= k \cdot H \cdot V_0$

$$\text{где } V_0 = \frac{Q}{\pi \frac{D^2}{4}}$$

Q —секундное количество воздуха (при 0° и 760 м.м.) в куб. м.
 D_0 —диаметр генератора в метр.
 H —высота слоя топлива в метр.

По некоторым данным (нуждающимся в проверке) для каменноугольных генераторов $k = 0,875$. Тогда получим для каменноугольных генераторов упругость дутья

$$h = 0,875 \cdot H \cdot V_0 = 0,875 \cdot \frac{H \cdot Q}{\pi \frac{D^2}{4}} \text{ метр. водян. столба.}$$

Пример. Возьмем для нашего каменного угля генератор с диаметром $D_0 = 2,6$ мет. и высотой слоя топлива $H = 1,3$ мет. В 1 час в таком генераторе должно сожигаться 586 клг.

На 100 клг. каменного угля, как нашли раньше, вдувается азота $7,514 \text{ мол.} = 7,514 \cdot 22,4 = 168,5 \text{ куб. м. или}$

$$\frac{168,5}{0,79} = 213 \text{ куб. м. воздуха.}$$

Следовательно в 1 час вдувается в такой генератор $586 \cdot 2,13 = 1250 \text{ куб. м. воздуха.}$

$$\text{Отсюда } V_0 = \frac{1250}{60 \cdot 60 \cdot \pi \frac{D^2}{4}} = \frac{1250}{3600 \cdot 5,31} = 0,0655 \frac{\text{метр.}}{\text{сек.}}$$

Следовательно $h = 0,875 \cdot 1,3 \cdot 0,0655 = 0,075$ метр. водян. столба.

Если предположить, что давление в газопроводе должно превышать атмосферное допустим на 10 м.м. то давление воздуха, вдуваемого в генератор, будет $= 75 + 10 = 85$ м.м. водян. столба.

Для генераторов, работающих на жирном газовом угле, в которых высота слоя топлива и напряженность горения пропорциональна диаметру, упругость дутья будет пропорциональна квадрату диаметра генератора при одном и том же сорте топлива.

Вентилятор. Индикаторная сила двигателя воздухоудвки должна быть $N_i = 0,45 \cdot Q_0 \cdot h$ лош. сил, где

Q_0 —минутное количество воздуха (при 0° и 760 м.м.).
 h —давление воздуха в метрах водян. столба.

Допустим, что в воздухопроводе теряется через неплотности 20% воздуха и на трение 10% давления.

Следовательно для расчета двигателя надо считать минутное количество воздуха и упругость дутья

$$Q_0 = \frac{1250}{60 \cdot 0,80} = 26 \text{ куб. м. (при 0° и 760 м.м.)}$$

$$h = \frac{85}{0,9} = 95 \text{ м.м. водян. столба.}$$

Тогда получаем

$$N_i = 0,45 \cdot 26 \cdot 0,095 = 1,11 \text{ лош. сил.}$$

¹⁾ См. мою статью "Файрмеханика или наука о движении газов в печах"