

ГУУЗ НАРКОМЛЕСА СССР

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КАБИНЕТ и СЕКТОР ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ
при ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ им. С. М. КИРОВА

9 $\frac{303}{430}$

Инж. Н. П. ХУХЛОВИЧ

РАСЧЕТ ТРАНСПОРТНОЙ ГАЗОГЕНЕ- РАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

*ПОСОБИЕ ДЛЯ КУРСОВОГО И
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ*

ЛЕНИНГРАД • 1939

ГУУЗ НАРКОМЛЕСА СССР

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КАБИНЕТ и СЕКТОР ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ
при ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ им. С. М. КИРОВА

Д 303
Л 430

Н. П. ХУХЛОВИЧ

РАСЧЕТ ТРАНСПОРТНОЙ ГАЗОГЕ-
НЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

*ПОСОБИЕ ДЛЯ КУРСОВОГО И
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ*

ЛЕНИНГРАД • 1939



2017069594



39-35325

Ответ. редактор *М. С. Мовнин.* Технич. редактор *Б. Д. Пассов.*
 Корректор *С. Н. Николаев.*

Леноблгорлит 3/VI 1939 г. Тираж 500 экз.
 Печатных л. 2¹/₈. Кол. тип. знак. в 1 печ. л. 45632.

Формат бумаги 62 × 88 см.
 Сдано в набор 28/III 1938 г. Подписано к печ. 3/VI 1939 г. Зак. № 2879.

Типография артели «Советский Печатник». Ленинград, Моховая, 40.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящей книге изложены расчеты генераторного процесса и газогенератора с очистительной системой.

В расчете генераторного процесса, составленном по практическим данным, последовательно излагаются методы проверки принятого состава газа и составления материального и теплового балансов. При этом определяются основные параметры, необходимые для расчета основных размеров газогенератора.

Расчет знакомит читателя с основными понятиями процесса газификации твердого топлива.

Материал изложен в виде общих формул и примерного расчета.

В расчете установки изложен способ определения основных размеров газогенератора и очистителей-охладителей.

Размеры очистителей-охладителей могут быть получены по их литражу, приведенных в таблице или путем расчета поверхностей охлаждения по данным коэффициентов теплопередач, подсчитанных автором для газогенератора с обогревом бункера газом типа «ЛТА».

Автор

КНИГА ИМЕЕТ:

Печатн. листов	Выпуск	В перепл. един. соедин. №№ вып.	Таблиц	Карт	Иллюстр.	Служебн. №№	№№ списка и порядковый	1955 г.
3						И	249	1961
								Зак. 828

70

1. РАСЧЕТ ГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА

1. Введение

Расчет генераторного процесса ставит перед собой задачу определить состав и температуру газа при выходе из генератора, количество газа, получаемое из 1 кг топлива, расход воздуха для его газификации и коэффициент полезного действия газогенератора.

Наиболее употребительный и достаточно правильный способ расчета генераторного процесса состоит в том, что по данным состава топлива, потерям элементов проверяется состав газа, принятый для проектирования газогенератора.

После окончательного определения состава газа составляются материальный и тепловой балансы газификации топлива.

По данным из расчета генераторного процесса подсчитываются основные размеры газогенераторной установки.

2. Состав топлива в процентах по весу

Абсолютно-сухое	Рабочее топливо при влажности $W\%$
углерода — C^c	$C^p = C^c \cdot \frac{100 - W}{100}$
водорода — H^c	$H^p = H^c \cdot \frac{100 - W}{100}$
кислорода — O^c	$O^p = O^c \cdot \frac{100 - W}{100}$
азота — N^c	$N^p = N^c \cdot \frac{100 - W}{100}$
зола — A^c	$A^p = A^c \cdot \frac{100 - W}{100}$
воды — ноль	воды = W
Всего 100%	Всего 100%

Теплотворная способность топлива определяется по формуле Менделеева:

$$\text{высшая} - Q_p^v = 81C^p + 300H^p - 26(O^p - S^p) \text{ кал/кг}$$

$$\text{низшая} - Q_p^h = Q_p^v - 6(9H^p + W) \text{ кал/кг.}$$

3. Элементы, переходящие в газ

Обозначаем потери углерода, водорода и кислорода в провале и неразложившейся смоле:

$$C_{пр}, C_{см}; H_{пр}, H_{см}; O_{пр}, O_{см}.$$

Тогда количество элементов, переходящих из 100 кг топлива в газ:

$$C^{р'} = C^p - (C_{пр} + C_{см})$$

$$H^{р'} = H^p - (H_{пр} + H_{см})$$

$$O^{р'} = O^p - (O_{пр} + O_{см})$$

$$N^{р'} = N^p$$

$$W^{р'} = W$$

Состав древесины различных пород приведен в табл. 7.

4. Состав газа в процентах по объему

углекислоты	— CO ₂
окиси углерода	— CO
водорода	— H ₂
кислорода	— O ₂
метана	— CH ₄
тяжелых углеводородов (этилен — C ₂ H ₄)	— C _n H _m
азота	— N ₂

Всего 100%

Состав газа различных генераторов приведен в табл. 6.
Теплотворная способность газа:

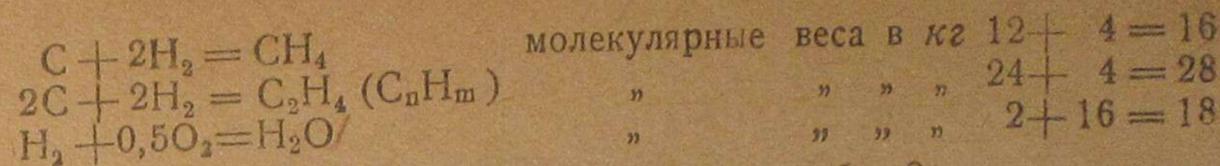
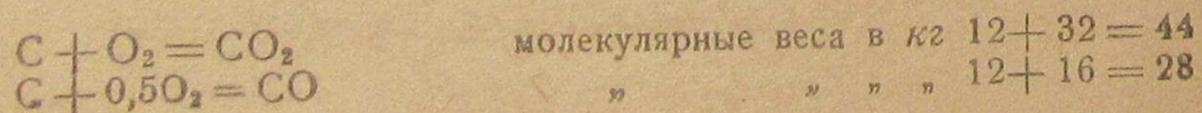
$$\text{вышая} - Q_r^в = 30,45CO + 30,50H_2 + 95,8CH_4 + 154C_nH_m \text{ кал/м}^3$$

$$\text{низшая} - Q_r^н = 30,45CO + 25,7H_2 + 86,3CH_4 + 145C_nH_m \text{ кал/м}^3,$$

где: 3045 теплотворная способность 1 м³ CO

2 570	"	"	1	"	H ₂
8 630	"	"	1	"	CH ₄
14 480	"	"	1	"	C _n H _m

Формулы химических реакций при газификации



Константы газов и паров приведены в табл. 2.

Для проверки принятого состава газа по материальному балансу более удобно пользоваться килограмм-молекулами газа, т. е. количествами килограммов газа, равными его молекулярному весу.

Объем килограмм-молекулы газа есть величина постоянная и равняется 22,4 м³ при 0° Ц и 760 мм рт. столба

Таблица элементов, входящих в 100 м³ сухого газа

Газ	C ^r	H ^r	N ₂ ^r	O ₂ ^r
CO ₂	CO ₂	—	—	CO ₂
CO	CO	—	—	0,5CO
H ₂	—	H ₂	—	—
CH ₄	CH ₄	2CH ₄	—	—
C _n H _m	2C _n H _m	2C _n H _m	—	—
O ₂	—	—	—	O ₂
N ₂	—	—	N ₂	—

5. Расход углерода на 1 м³ газа

$$C^r = \frac{12}{100 \cdot 22,4} (CO_2 + CO + CH_4 + 2 C_nH_m) \text{ кг/м}^3.$$

6. Выход сухого газа из 1 кг топлива

$$v_{с.г} = \frac{C^p - (C_{пр} + C_{см})}{0,536 (CO_2 + CO + CH_4 + 2C_nH_m)} \text{ м}^3/\text{кг},$$

где:

0,536 — вес углерода (в кг) содержащегося в 1 м³ CO₂, CO, CH₄ и в 0,5 м³ C_nH_m.

7. Азот

В газ переходит азот из топлива и воздуха:

$$N^r = N^p + N^в$$

в 1 м³ газа из топлива переходит азота:

$$\frac{N^p}{100} : v_{с.г} \text{ кг/м}^3$$

или

$$\frac{N^p \cdot 22,4}{100 \cdot v_{с.г} \cdot 28} \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

где:

28 — вес одной кг-мол. азота (в кг).

Из воздуха переходит в газ азота:

$$N^B = N^r - N^p.$$

В воздухе содержится по объему 79% азота и 21% кислорода, тогда количество воздуха, необходимое для газификации 1 кг топлива:

$$\frac{N^B}{100} : 0,79 \text{ м}^3/\text{кг}$$

или по весу:

$$\frac{N^B \cdot 29,0}{0,79 \cdot 22,4 \cdot 100} \text{ кг/кг}$$

где:

29 — вес одной кг-мол. воздуха (в кг).

из которого кислорода:

$$\frac{N^B \cdot 0,21}{0,79 \cdot 100} \text{ м}^3$$

или по весу:

$$\frac{N^B \cdot 0,21 \cdot 32}{100 \cdot 0,79 \cdot 22,4} = \text{кг},$$

где:

32 — вес одной кг-мол. кислорода (в кг).

8. Водород

В газ переходит водород из топлива и при разложении водяных паров:

$$H^r = H^{p'} + H^{H_2O}.$$

По Дюлонгу считаем, что свободный кислород топлива образует с водородом воду.

Тогда количество водорода, пошедшее с 1 кг топлива на образование воды Дюлонга:

$$\frac{O^{p'}}{100} : 8 \text{ кг}$$

или

$$\frac{O^{p'} \cdot 22,4}{100 \cdot 8 \cdot 2} \text{ м}^3,$$

где:

2 — вес одного кг-мол. водорода (в кг).

Воды Дюлонга образуется с 1 кг топлива:

$$\frac{9 \cdot O^{p'}}{100 \cdot 8} \text{ кг}.$$

Остальной водород из топлива переходит в газ:

$$\frac{H^{p'}}{100} - \frac{O^{p'}}{100 \cdot 8} \text{ кг}.$$

В 1 м³ сухого газа содержится — $\frac{1}{100} (H_2 + 2CH_4 + 2C_nH_m)$ м³ водорода или отнесенное к 1 кг топлива:

$$\frac{2 \cdot v_{c.r.}}{22,4 \cdot 100} (H_2 + 2CH_4 + 2C_nH_m) \text{ кг}.$$

Следовательно, в газ переходит водорода при разложении воды:

$$H^{H_2O} = \frac{2 \cdot v_{c.r.}}{22,4 \cdot 100} (H_2 + 2CH_4 + 2C_nH_m) - \frac{1}{100} \left(H^{p'} - \frac{O^{p'}}{8} \right) \text{ кг}$$

для чего необходимо разложить $9H^{H_2O}$ кг воды.

9. Кислород

Для образования газа в зону горения кислород поступает из воздуха и разложившейся воды:

$$O^r = O^B + O^{H_2O}.$$

На 1 м³ сухого газа расходуется кислорода: $\frac{1}{100} (CO_2 + 0,5CO + O_2)$ м³ или отнесенное к 1 кг топлива:

$$\frac{32 \cdot v_{c.r.}}{22,4 \cdot 100} (CO_2 + 0,5CO + O_2) \text{ кг}.$$

Следовательно, при разложении воды в газ переходит кислорода:

$$O^{H_2O} = \frac{32 \cdot v_{c.r.}}{22,4 \cdot 100} (CO_2 + 0,5CO + O_2) - \frac{N^B \cdot 0,21 \cdot 32}{100 \cdot 0,79 \cdot 22,4},$$

что соответствует $\frac{9}{8} O^{H_2O}$ кг воды.

Совпадение количеств разложившейся воды по балансам водорода и кислорода указывает на правильность принятого состава газа.

При несовпадении $9H^{H_2O}$ и $\frac{9}{8} \cdot O^{H_2O}$ необходимо внести количественное изменение в состав газа, при этом, если $9H^{H_2O}$ больше $\frac{9}{8} O^{H_2O}$, то необходимо увеличить кислородосодержащие компоненты и уменьшить водородные; если $9H^{H_2O}$ меньше $\frac{9}{8} O^{H_2O}$, — то наоборот.



II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. Расход рабочей смеси на двигатель

Габаритные размеры газогенератора рассчитываются по количеству топлива, затрачиваемому в единицу времени на двигатель.

Расход рабочей смеси в час для четырехтактного двигателя по его литражу:

$$V_{см} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot i \cdot \eta \cdot 60}{4 \cdot 2} \text{ м}^3 \text{ в час,}$$

где: $V_{см}$ — объемный расход смеси в $\text{м}^3/\text{час}$;

D — диаметр цилиндра двигателя в м ;

S — ход поршня в м ;

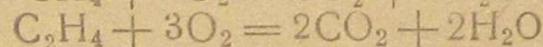
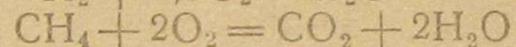
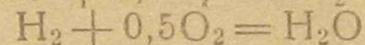
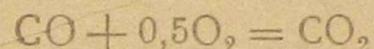
n — число оборотов коленчатого вала в минуту;

i — число цилиндров двигателя;

η — коэффициент наполнения двигателя, равный 0,7—0,8.

2. Расход воздуха на двигатель

Горение горючих компонентов газа в двигателе происходит по следующим реакциям:



Тогда теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 м^3 газа:

$$L_0 = \frac{1}{0,21 \cdot 100} [0,5(\text{CO} + \text{H}_2) + 2\text{CH}_4 + 3\text{C}_n\text{H}_m - \text{O}_2] \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

где:

CO , H_2 , CH_4 , C_nH_m и O_2 процентное содержание их в 1 м^3 газа по объему.

Действительный расход воздуха на 1 м^3 газа

$$L_g = \alpha L_0,$$

где:

$\alpha = \frac{L_g}{L_0}$ — коэффициент избытка воздуха, равный для газового топлива 1,05—1,20.

Тогда объем смеси, получаемый с 1 м^3 газа, будет:

$$v_{см} = (1 + \alpha L_0) \text{ м}^3$$

или

отнесенный к 1 кг топлива:

$$v'_{см} = (1 + \alpha L_0) v_{с.г.} \text{ м}^3$$

содержанием паров влаги и смолы в охлажденном и очищенном газе при $t = 20—40^\circ\text{C}$ из за малых величин — пренебрегаем.

3. Расход газа в час на двигатель

$$V_r = \frac{V_{см}}{1 + \alpha L_0} \text{ м}^3.$$

4. Расход топлива в час на двигатель

$$B = \frac{V_{см}}{(1 + \alpha L_0) v_{с.г.}} \text{ кг в час.}$$

5. Размеры топливника

Основным требованием устойчивого процесса газификации является развитие высокой и равномерной температуры в поперечном сечении слоя топлива, обеспечивающей получение газа высокой калорийности и максимальное разложение смол.

Для соблюдения этих условий необходимо правильно рассчитать диаметр камеры горения по ее напряженности.

Величина напряженности камеры горения — H , т. е. весового количества топлива, сжигаемого на 1 м^2 поперечного сечения зеркала газификации на уровне подвода воздуха принимается для дров: 600—800 $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{час}$; для древесного угля: 150—250 $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{час}$.

Тогда площадь сечения камеры горения будет:

$$F = \frac{B}{H} \text{ м}^2$$

или

диаметр камеры горения:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot B}{3,14 \cdot H}} \text{ м.}$$

Высота активной зоны горения, т. е. расстояние от среднего уровня подвода воздуха до днища зольника, принимается от 1 до 1,2 D .

Объем бункера определяется из условия непрерывной работы газогенераторной установки при одной загрузке в продолжение Z часов.

Тогда объем бункера определится из выражения:

$$V_б = \frac{B \cdot Z}{G},$$

где: Z — принимается 1,2—2 часа;

G — насыпной вес 1 m^3 древесных чурок, равный 250—350 кг, а древесного угля—150—200 кг.

Отношение высоты бункера к диаметру в существующих конструкциях газогенераторов:

$$\frac{H_6}{D_6} = s = 2,5 - 3$$

тогда:

$$V_6 = \frac{\pi \cdot D_6^2}{4} \cdot s \cdot D_6 = 0,785 \cdot s \cdot D_6^3,$$

откуда диаметр бункера:

$$D_6 = \sqrt[3]{\frac{1,274 \cdot V_6}{s}} \text{ м},$$

высота бункера:

$$H_6 = s \cdot D_6.$$

Основные размеры транспортных газогенераторов указаны в табл. 8.

6. Диаметр газопровода

Диаметр газопровода определяется по формуле:

$$d_r = \sqrt{\frac{4 \cdot V_t}{\pi \cdot c \cdot 3600}} \text{ м},$$

где:

V_t — объем газа в час, приведенный к температуре газа в рассчитываемом участке;

$$V_t = V_0 \frac{273 + t}{273}.$$

Средняя температура газа при выходе из генератора с наружным обогревом бункера — 350°C .

c — скорость газа 15—20 м/сек;

d_r — диаметр трубы в свету в м.

7. Диаметр наружного отверстия для воздуха, поступающего в генератор

$$d_b = \sqrt{\frac{4 \cdot V_b}{\pi \cdot v \cdot 3600}} \text{ м},$$

где: V_b — расход воздуха в час при температуре 25° в m^3
 v — скорость воздуха при входе — 20 м/сек.

8. Расчет поверхности охлаждения

Для получения нормальной мощности двигателя, газ перед смесителем должен иметь температуру $20-30^\circ \text{C}$ и не выше 40°C , так как при более повышенной температуре уменьшается тепловой заряд цилиндров, а следовательно, и понижается мощность двигателя (рис. 1).

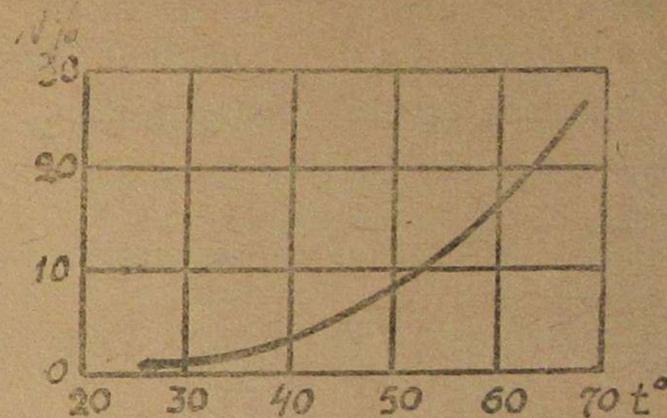


Рис. 1.

Понижение температуры газа происходит в очистителях-холодильниках за счет передачи тепла от газа наружному воздуху.

Количество тепла, передаваемое газом в каждом аппарате в час:

$$Q = V_r \cdot c_r \cdot (t_1 - t_2),$$

где: V_r — объем газа в m^3 в час;

c_r — теплоемкость газа 0,32;

t_1 — температура газа при входе в аппарат в $^\circ \text{C}$;

t_2 — температура газа при выходе из аппарата в $^\circ \text{C}$

Поверхность охлаждения:

$$F = \frac{Q}{K(t_{cp} - t_b)} \text{ м}^2,$$

где: K — коэффициент теплопередачи кал/ $m^2 \cdot \text{час}$ в $^\circ \text{C}$

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

t_b — температура окружающего воздуха.

Коэффициент теплопередачи K включает в себе сопротивления газа, стенки и воздуха

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda}}$$

где: α — коэффициент теплопередачи от газа к стенке охладителя в $\text{кал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{Ц}$;

α_1 — коэффициент теплопередачи от стенки к воздуху в $\text{кал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{Ц}$;

δ — толщина стенки в м ;

λ — коэффициент теплопроводности стенки в $\text{кал}/\text{м}^2$ в час при разности в 1°Ц и толщине в 1 м .

Так как охладители-очистители изготавливаются из тонкого железа 2—3 мм, имеющего высокую теплопроводность — 40—60, то величиной $\frac{\delta}{\lambda}$ в данном случае — пренебрегаем.

Передача тепла наружному воздуху происходит путем конвекции и лучеиспускания.

Количество тепла, переданное лучеиспусканием, определяется по формуле:

$$q = c \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \text{ кал}/\text{м}^2 \cdot \text{час},$$

тогда коэффициент теплоотдачи через лучеиспускание будет:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{c \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{t_1 - t_{\text{в}}} \text{ кал}/\text{м}^2 \cdot \text{час в}^\circ\text{Ц},$$

где: c — коэффициент лучеиспускания — $4 \text{ кал}/\text{м}^2 \cdot \text{час в}^\circ\text{Ц}$,
 t_1 и $t_{\text{в}}$ — температуры наружной стенки и воздуха

$$T_1 = t_1 + 273; \quad T_2 = t_2 + 273.$$

Коэффициент теплоотдачи через конвекцию:

$$\alpha_{\text{к}} = \alpha_1 - \alpha_{\text{л}}.$$

Коэффициенты теплоотдачи для очистителей-охладителей

Тип установки	α	α_1	Температура газа $^\circ\text{Ц}$		Температура окружающей среды $^\circ\text{Ц}$
			при входе	при выходе	
ЛТА					
Циклон I	40	100	340	250	30
Циклон II	28	48	240	200	
Радиаторный холодильник	47	31	190	70	
Тонкий очиститель	58	29	70	40	
ЗИС-21					
Для 3 горизонтальных очистителей-охладителей	39	53	340	70	30
Тонкий очиститель	37	25	70	40	

Температура газа при выходе из генератора с обогревом буфера принята $350\text{—}360^\circ\text{Ц}$.

Средняя температура газа при выходе из генератора с подогревом воздуха в средней части = 550°Ц , а без подогрева $610\text{—}620^\circ\text{Ц}$.

Указанные температуры относятся к древесному топливу с влажностью 12—15%.

С увеличением влажности топлива температура газа понижается.

При охлаждении газа в 3 горизонтальных очистителях установки ЗИС-21 перепад температур принят таким же, как и в 2 циклонах и холодильнике системы ЛТА.

9. Охлаждение газа водой

Для газогенераторных установок, предназначенных для работы на водном транспорте, стационарных станциях — применяется охлаждение и очистка газа водой.

Расход воды на охлаждение и очистку газа в скруббере

Расход сухого газа в час при нормальной нагрузке двигателя — $V_{\text{г}}$.

Содержание в газе водяных паров — $V_{\text{в. п.}}$.

Приход тепла в скруббер

Теплоемкость сухого газа при температуре — $t_{\text{г}}$.

$$C_{\text{г}} = \text{CO}_2 \cdot C_{\text{CO}_2} + \text{CO} \cdot C_{\text{CO}} + \text{H}_2 \cdot C_{\text{H}_2} + \text{CH}_4 \cdot C_{\text{CH}_4} + \\ + C_{\text{C}_n\text{H}_m} \cdot C_{\text{C}_n\text{H}_m} + \text{N} \cdot C_{\text{N}}$$

где:

C_{CO_2} , C_{CO} , C_{H_2} , C_{CH_4} , $C_{\text{C}_n\text{H}_m}$, C_{N} — теплоемкости соответствующих элементов газа.

Тепло, вносимое газом в час:

$$Q_{\text{г}} = V_{\text{г}} \cdot c_{\text{г}} \cdot t_{\text{г}} \text{ кал.}$$

Тепло, вносимое водяными парами:

$$Q_{\text{в. п.}} = V_{\text{в. п.}} (600 + 0,48t_{\text{г}}) \text{ кал.},$$

где: 600 кал. — теплота парообразования 1 кг воды в кал.,

0,48 „ — теплоемкость водяных паров.

Теплосодержанием смолы и пылью — пренебрегаем.

Температура охлаждающей воды: летом + 25°Ц ,

зимой + 5°Ц .

Тогда теплосодержание всего количества холодной воды:

летом — $25x$,

зимой — $5x$.

Общее количество тепла, внесенного в скруббер в час:

летом — $Q_r + Q_{в.п.} + 25x$.

зимой — $Q_r + Q_{в.п.} + 5x$.

Расход тепла

Теплосодержание холодного газа, выходящего из скруббера при температуре — t_r' , колеблющейся от 30 до 40 °C.

Принимаем теплоемкость холодного газа — 0,32.

Тогда теплосодержание холодного газа:

$$Q_r' = V_r \cdot c_r' \cdot t_r' \text{ кал.}$$

Теплосодержание насыщающей газ воды

Находим по табл. 5 влагосодержание газа при $t_r' - g_{в.п.}$ тогда

$$Q_{в.п.}' = V_r \cdot g_{в.п.}' \cdot \lambda \text{ кал.,}$$

где: λ — теплосодержание 1 м³ пара.

Тепло, уносимое из скруббера конденсатом и охлаждающей водой при температуре 50° C:

$$Q_v = V_r (g_{в.п.}' - g_{в.п.}) \cdot 50 + 50x$$

где: $g_{в.п.}$ — содержание водяных паров в 1 м³ газа при входе в скруббер в кг.

Потерю тепла в окружающую среду принимаем 5% от внесенного тепла с газом и водяными парами:

$$Q_l = 0,05 (Q_r + Q_{в.п.}') \text{ кал.}$$

Общее количество тепла, отводимого из скруббера в час:

$$Q_r' + Q_{в.п.}' + Q_v + Q_l$$

Количество тепла, внесенного в скруббер, равно отведенному, поэтому:

$$Q_r + Q_{в.п.} + 25x = Q_r' + Q_{в.п.}' + Q_v + Q_l$$

Это выражение представляет собой уравнение с одним неизвестным, из которого и определяется часовой расход воды летом а при решении уравнения:

$$Q_r + Q_{в.п.} + 5x = Q_r' + Q_{в.п.}' + Q_v + Q_l$$

определяется часовой расход воды зимой.

III. ПРИМЕРНЫЙ РАСЧЕТ ГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА

Топливо — древесные чурки с влажностью 15%.

1. Состав топлива в процентах по весу

Абсолютно сухое		Рабочий при $W = 15\%$
C = 50,7	или	43,1
H = 6,2	"	5,3
O = 40,2	"	34,2
N = 0,6	"	0,5
A = 2,3	"	1,9
W = 0,0	"	15,0
Всего 100,0%		100,0%

Теплотворная способность дров по формуле Менделеева:

$$\text{высшая: } Q_p^B = 81 \cdot 43,1 + 300 \cdot 5,3 - 26 \cdot 34,2 = 4192 \text{ кал/кг,}$$

$$\text{низшая: } Q_p^H = 4192 - 6(9 \cdot 5,3 + 15) = 3816 \text{ кал/кг.}$$

2. Элементы топлива, перешедшие в газ

Принимаем потерю с провалом и уносом 2% от веса топлива. Состав провала:

$$C - 66,9\%; H_2 = 1,0\%; O_2 = 2,8\%; A = 29,3\%.$$

Теплотворная способность провала по формуле Менделеева:

$$Q_{пр}^B = 81 \cdot 66,9 + 300 \cdot 1,0 - 26 \cdot 2,8 = 5646 \text{ кал/кг,}$$

$$Q_{пр}^H = 5646 - 6 \cdot 9 \cdot 1,0 = 5592 \text{ кал/кг.}$$

Тогда элементы, находящиеся в провале, отнесенном к 100 кг топлива будут:

$$C = 66,9 \cdot 0,02 = 1,34 \text{ кг}$$

$$H = 1,0 \cdot 0,02 = 0,02 \text{ "}$$

$$O = 2,8 \cdot 0,02 = 0,05 \text{ кг}$$

$$A = 29,3 \cdot 0,02 = 0,59 \text{ „}$$

$$\text{Всего} = 2,00 \text{ кг.}$$

Потерю неразложившейся смолы принимаем 1% от веса топлива.

Состав смолы:

$$C = 64,1\%; \text{ H} = 6,3\%; \text{ O} = 29,6\%.$$

Теплотворная способность смолы:

$$Q_{см}^R = 81 \cdot 64,1 + 300 \cdot 6,3 - 26 \cdot 29,6 = 6312 \text{ кал/кг,}$$

$$Q_{см}^B = 6312 - 6 \cdot 9 \cdot 6,3 = 5972 \text{ кал/кг.}$$

Элементы, уносимые со смолистыми веществами, отнесенные к 100 кг топлива:

$$C = 64,1 \cdot 0,01 = 0,64 \text{ кг}$$

$$H = 6,3 \cdot 0,01 = 0,06 \text{ „}$$

$$O = 29,6 \cdot 0,01 = 0,30 \text{ „}$$

Элементы, переходящие в газ из 100 кг рабочего топлива:

$$C = 43,1 - (1,34 + 0,64) = 41,1 \text{ кг}$$

$$H = 5,3 - (0,02 + 0,06) = 5,2 \text{ „}$$

$$O = 34,2 - (0,05 + 0,30) = 33,8 \text{ „}$$

$$N = \quad \quad \quad = 0,5 \text{ „}$$

$$W = \quad \quad \quad = 15,0 \text{ „}$$

3. Расчет состава газа

Принимаем для расчета состав газа в процентах по объему:

Углекислоты $CO_2 = 11,8$

Окиси углерода $CO = 17,8$

Водорода $H_2 = 14,3$

Метана $CH_4 = 2,5$

Тяжелых углеводородов $C_nH_m = 0,2$

Кислорода $O_2 = 0,8$

Азота $N_2 = 52,6$

Всего: $100,0\%$

Теплотворная способность газа:

$$\text{высшая } Q_r^B = 30,45 \cdot 17,8 + 30,50 \cdot 14,3 + 95,8 \cdot 2,5 + 154 \cdot 0,2 = 1247 \text{ кал/м}^3,$$

$$\text{низшая } Q_r^H = 30,45 \cdot 17,8 + 25,7 \cdot 14,3 + 86,3 \cdot 2,5 + 145 \cdot 0,2 = 1152 \text{ кал/м}^3.$$

Таблица элементов, входящих в состав 1 м³ сухого газа

Газ	м ³	C	H	N	O
CO ₂	0,118	0,118	—	—	0,118
CO	0,178	0,178	—	—	0,089
H ₂	0,143	—	0,143	—	—
CH ₄	0,025	0,025	0,050	—	—
C _n H _m	0,002	0,004	0,004	—	—
O ₂	0,008	—	—	—	0,008
N ₂	0,526	—	—	0,526	—
Всего	1,000	0,325	0,197	0,526	0,215

4. Расход углерода на 1 м³ сухого газа

$$C_2 = \frac{0,325 \cdot 12}{22,4} = 0,174 \text{ кг/м}^3.$$

5. Выход сухого газа с 1 кг топлива

$$v_{с.г} = \frac{0,411}{0,174} = 2,36 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

6. Расход воздуха для газификации топлива

Азот. В 1 м³ газа переходит из топлива азота:

$$0,005 : 2,36 = 0,002 \text{ кг/м}^3,$$

или

$$\frac{0,002 \cdot 22,4}{28} = 0,002 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

В 1 м³ газа содержится — 0,526 м³ азота, следовательно, с воздухом поступило азота:

$$0,526 - 0,002 = 0,524 \text{ м}^3.$$

Тогда количество воздуха на 1 м³ сухого газа поступает:

$$0,524 : 0,79 = 0,663 \text{ м}^3,$$

а расход воздуха на 1 кг топлива:

$$0,663 \cdot 2,36 = 1,56 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

В этом количестве воздуха содержится:

$$\begin{aligned} \text{по объему: кислорода} & - 0,21 \cdot 1,56 = 0,328 \text{ м}^3, \\ \text{азота} & - 0,79 \cdot 1,56 = 1,232 \text{ "}. \end{aligned}$$

по весу: кислорода

$$\frac{0,328 \cdot 32}{22,4} = 0,47 \text{ кг},$$

азота

$$\frac{1,232 \cdot 28}{22,4} = 1,54 \text{ кг},$$

воздуха

$$\frac{1,56 \cdot 29}{22,4} = 2,01 \text{ кг}.$$

Водород. Кислород топлива образует с водородом воду Дюлонга, В 1 кг топлива имеем 0,338 кг кислорода, тогда расход водорода на воду:

$$0,338 : 8 = 0,042 \text{ кг},$$

а количество воды Дюлонга:

$$0,042 \cdot 9 = 0,378 \text{ кг},$$

следовательно, в газ из 1 кг топлива переходит водорода:

$$0,052 - 0,042 = 0,01 \text{ кг}.$$

В 1 м³ сухого газа содержится — 0,197 м³ водорода или отнесенное к кг топлива:

$$\frac{0,197 \cdot 2,36 \cdot 2}{22,4} = 0,0415 \text{ кг}.$$

Тогда при разложении водяных паров переходит в газ водорода:

$$0,0415 - 0,01 = 0,0315 \text{ кг},$$

что соответствует:

$$0,0315 \cdot 9 = 0,284 \text{ кг воды}.$$

Кислород. Для газификации топлива кислород поступает из воздуха и разложившейся воды.

На 1 м³ газа расходуется — 0,215 м³ кислорода или отнесенное к 1 кг топлива:

$$\frac{0,215 \cdot 2,36 \cdot 32}{22,4} = 0,725 \text{ кг}.$$

Следовательно, при разложении воды переходит в час кислорода:

$$0,725 - 0,47 = 0,255 \text{ кг},$$

где: 0,47 кг — кислород, поступающий с воздухом на 1 кг топлива.

Для получения 0,255 кг кислорода необходимо разложить:

$$\frac{9}{8} \cdot 0,255 = 0,286 \text{ кг воды}.$$

Почти полное совпадение количеств разложившейся воды, необходимой для получения водорода и кислорода, указывает на правильность принятого состава газа.

7. Баланс воды

Приход:

- 1) Из 100 кг топлива получается воды 15,0 кг
- 2) От соединения водорода с кислородом (по Дюлонгу) 37,8 "
- 3) В 156 м³ воздуха при температуре 20° Ц и влагосодержаний 18,4 г/м³ приходит воды:
 $156 \cdot 0,018 = 2,8 \text{ "}$

Всего 55,6 кг

Расход:

- 1) Количество воды, разложившейся в газ на водород и кислород 28,5 кг
- 2) Количество воды, перешедшей в газ в виде пара (по разности) 27,1 "

Всего 55,6 кг

8. Вес 1 м³ сухого газа

CO ₂	= 0,118 м ³	или	0,232 кг
CO	= 0,178 "	"	0,223 "
H ₂	= 0,143 "	"	0,013 "
CH ₄	= 0,025 "	"	0,018 "
C _n H _m	= 0,002 "	"	0,003 "
O ₂	= 0,008 "	"	0,011 "
N ₂	= 0,526 "	"	0,657 "

Всего: 1,000 м³ или 1,157 кг

9. Состав и вес 1 м³ сырого газа

Из 1 кг топлива получается: 2,36 м³ сухого газа и 0,271 кг водяных паров.

Тогда на 1 м³ сухого газа приходится водяных паров:

$$0,271 : 2,36 = 0,115 \text{ кг}$$

или

$$\frac{0,115 \cdot 22,4}{18} = 0,143 \text{ м}^3.$$

Следовательно, 1 м³ сухого газа соответствует 1,143 м³ сырого газа или на 1 м³ сырого газа приходится:

$$1 : 1,143 = 0,875 \text{ м}^3 \text{ сухого газа.}$$

10. Состав сырого газа

CO ₂ = 0,118 · 0,875 = 0,103 м³	или 10,3%	или 0,202 кг
CO = 0,178 · 0,875 = 0,156 "	" 15,6%	" 0,195 "
H ₂ = 0,143 · 0,875 = 0,125 "	" 12,5%	" 0,011 "
CH ₄ = 0,025 · 0,875 = 0,022 "	" 2,2%	" 0,016 "
C _n H _m = 0,002 · 0,875 = 0,002 "	" 0,2%	" 0,003 "
O ₂ = 0,008 · 0,875 = 0,007 "	" 0,7%	" 0,010 "
N ₂ = 0,526 · 0,875 = 0,460 "	" 46,0%	" 0,575 "
H ₂ O = 0,143 · 0,875 = 0,125 "	" 12,5%	" 0,100 "

Всего 1,000 м³ или 100% или 1,112 кг

Таблица материального баланса на 100 кг топлива

Наименование статей	C	H ₂	O ₂	N ₂	Зола	Всего
Приход:						
C топливом	43,1	5,3	34,2	0,5	1,9	85,0
C влагой	—	1,7	13,3	—	—	15,0
C воздухом	—	—	47,0	154,0	—	201,0
C водяными парами	—	0,3	2,5	—	—	—
	43,1	7,3	97,0	154,5	1,9	301,0
Расход:						
Сухой газ	41,1	4,2	72,5	154,0	—	271,8
Влага газа	—	3,0	24,1	—	—	27,1
Смола	0,64	0,06	0,3	—	—	1,0
Провал и унос	1,34	0,02	0,05	—	1,9	3,3
	43,1	7,3	96,9	154,0	1,9	303,2

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА ПРИ ВЫХОДЕ ИЗ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ПО ТЕПЛОВОМУ БАЛАНСУ

При образовании:

1 кг-мол. CO ₂	выделяется тепло	97650 кал.
1 " " CO	" "	29430 "
1 " " CH ₄	" "	20870 "
1 " " C _n H _m	поглощается	9080 "

При испарении 1 кг-мол., влаги поглощается тепло 10550 кал.
" разложении 1 " " " " " " 57810 "

Тепло, выделяемое при разложении клетчатки по Менделееву — 18400 кал на 1 кг-мол, воды Дюлонга.

Потерю тепла на лучеиспускание газогенератора принимаем 40% от избыточного тепла, а остальное тепло расходуется на нагревание газа.

Зная количество газа и водяных паров, получаемых при газификации 100 кг топлива, находим по таблице теплосодержания газов температуру газа, соответствующую израсходованному теплу на его нагревание.

1. Количество сухого газа и водяных паров, получаемых из топлива

Объем сухого газа, получаемого из 100 кг топлива

CO ₂ = 27,8 м³	или 1,24 кг-мол.
CO = 42,0 "	" 1,87 "
H ₂ = 33,7 "	" 1,51 "
CH ₄ = 5,9 "	" 0,26 "
C _n H _m = 0,5 "	" 0,02 "
O ₂ = 1,9 "	" 0,09 "
N ₂ = 124,2 "	" 5,55 "

Всего 236,0 м³ или 10,54 кг-мол.

Количество воды переходит в газ из 100 кг топлива:

$$\frac{27,1 \cdot 22,4}{18} = 33,8 \text{ м}^3$$

или

$$1,51 \text{ кг-мол.}$$

2. Количество тепла, выделенного в газогенераторе

При образовании:

CO ₂ = 1,24 · 97650 = + 121086 кал.
CO = 1,87 · 29430 = + 55034 "

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 &= 0,26 \cdot 20\,870 = + 5\,426 \text{ кал.} \\ \text{C}_n\text{H}_m &= 0,02 \cdot 9\,080 = - 182 \text{ "} \end{aligned}$$

При испарении влаги поглощается тепло:

$$\frac{52,8 \cdot 10\,550}{18} = 30\,922 \text{ кал.}$$

При разложении водяных паров поглощается тепло:

$$\frac{23,5 \cdot 57\,810}{18} = 91\,340 \text{ кал.}$$

По Менделееву, при разложении клетчатки $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ выделяется тепло, приходящееся на 1 кг-мол. воды Дюлонга в количестве 18 400 кал.

Тогда количество тепла, выделяемого при образовании 37,8 кг воды Дюлонга будет:

$$\frac{37,8 \cdot 18\,400}{18} = 38\,640 \text{ кал.}$$

Всего выделено тепла: 97 742 кал.

Количество тепла, теряемое на лучеиспускание газогенератора, принимаем 40% от выделенного в нем тепла:

$$97\,742 \cdot 0,4 = 39\,097 \text{ кал.}$$

Остальное тепло расходуется на нагревание газа:

$$97\,742 - 39\,097 = 58\,645 \text{ кал.}$$

3. Температура газа

Температура газа при теплосодержании — 58 645 кал.

Теплосодержание газа, нагретого до 600 °C.

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= 1,24 \cdot 6\,311 = 7\,826 \text{ кал.} \\ \text{CO} + \text{H}_2 + \text{N}_2 &= 8,93 \cdot 4\,173 = 37\,265 \text{ "} \\ \text{CH}_4 &= 0,26 \cdot 8\,028 = 2\,087 \text{ "} \\ \text{O}_2 &= 0,09 \cdot 4\,293 = 385 \text{ "} \\ \text{C}_n\text{H}_m &= 0,02 \cdot 6\,182 = 124 \text{ "} \\ \text{H}_2\text{O} &= 1,51 \cdot 5\,036 = 7\,604 \text{ "} \end{aligned}$$

Всего 55 291 кал.

Теплосодержание газа, нагретого до 700 °C

$$\text{CO}_2 = 1,24 \cdot 7\,519 = 9\,324 \text{ кал.}$$

$$\text{CO} + \text{H}_2 + \text{N}_2 = 8,93 \cdot 4\,900 = 43\,757 \text{ кал.}$$

$$\text{CH}_4 = 0,26 \cdot 9\,786 = 2\,544 \text{ "}$$

$$\text{O}_2 = 0,09 \cdot 5\,040 = 454 \text{ "}$$

$$\text{C}_n\text{H}_m = 0,02 \cdot 7\,213 = 144 \text{ "}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 1,51 \cdot 5\,928 = 8\,951 \text{ "}$$

Всего 65 174 кал.

Интерполируем:

$$\begin{array}{r} 65\,174 \\ - 55\,291 \\ \hline 9\,883 \text{ кал.} \end{array} \quad \begin{array}{r} 58\,645 \\ - 55\,291 \\ \hline 3\,354 \text{ кал.} \end{array} \quad \frac{3\,354 \cdot 100}{9\,883} = 34^\circ$$

Температура газа при выходе из газогенератора

$$600 + 34 = 634^\circ\text{C.}$$

Указанная температура относится к случаю, когда не используют физическое тепло газа, выходящего из нижней части генератора.

V. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Расчет на 100 кг рабочего топлива (по высш. пределу).

1. Приход тепла

1. Внесено с теплотворной способностью топлива

$$4\,192 \cdot 100 = 419\,200 \text{ кал.}$$

2. Физическое тепло топлива, загружаемого в газогенератор при температуре 15 °C.

Теплоемкость топлива при влажности 15%

$$0,366 + \frac{15}{100} (1 - 0,366) = 0,461$$

$$100 \cdot 0,461 \cdot 15 = 691 \text{ кал.}$$

3. Физическое тепло, внесенное с воздухом при температуре — 20 °C

$$201 \cdot 0,24 \cdot 20 = 965 \text{ кал.}$$

4. Тепло, внесенное с влагой воздуха при температуре — 20 °C

$$2,8 (600 + 0,48 \cdot 20) = 17\,08 \text{ кал.}$$

Таблица теплового баланса

№ п/п	Статьи прихода тепла	Кал.	Прод.	№ п/п	Статьи расхода тепла	Кал.	Прод.
1	Химическое тепло топлива	419 200	99,2	1	Химическое тепло газа	293 820	69,7
2	Физическое " воздуха	691	0,2	2	Физическое " водяных паров	47 867	11,2
3	" влаги	965	0,2	3	Тепло провала	24 500	5,8
4	воздуха	1 708	0,4	4	Химическое тепло смолы	11 292	2,6
				5	Потеря тепла на лучеиспускание	6 312	1,5
				6		39 097	9,2
	Всего приход тепла	422 564	100		Всего расход тепла	422 888	100

Всего внесено в газогенератор тепла:

$$419\ 200 + 691 + 965 + 1\ 708 = 422\ 564 \text{ кал.}$$

2. Расход тепла

1. Химическое теплосодержание 236 м^3 газа:

$$1245 \cdot 236 = 293\ 820 \text{ кал.}$$

2. Физическое теплосодержание газа

$$236 \cdot 0,32 \cdot 634 = 47\ 867 \text{ кал.}$$

3. Потеря тепла с водяными парами:

$$27,1 (600 + 0,48 \cdot 634) = 24\ 500 \text{ кал.}$$

4. Потеря тепла с 2 кг провала:

$$2 \cdot 5646 = 11\ 292 \text{ кал.}$$

5. Потеря тепла с 1 кг смолы:

$$1 \cdot 6\ 312 = 6\ 312 \text{ кал.}$$

Физической теплотой смолы пренебрегаем.

6. Потеря тепла на лучеиспускание — 39 097 кал.

Коэффициент полезного действия газогенератора по высшему пределу:

$$\frac{2,36 \cdot 127}{4192} = 70\%$$

по низшему пределу:

$$\frac{2,36 \cdot 1152}{3816} = 71\%$$

Таблица 1

Теплоемкости газов на единицу объема

°С	O ₂ ; CO; N ₂	CO ₂	H ₂	H ₂ O	CH ₄
0	0,311	0,393	0,305	0,381	—
100	0,311	0,403	0,306	0,372	0,463
200	0,312	0,411	0,308	0,371	0,490
300	0,312	0,420	0,309	0,371	0,517
400	0,313	0,429	0,311	0,372	0,542
500	0,314	0,438	0,312	0,373	0,568
600	0,315	0,446	0,314	0,376	0,598
700	0,316	0,454	0,316	0,378	0,623
800	0,316	0,462	0,317	0,382	0,651
900	0,318	0,469	0,319	0,387	0,679
1000	0,319	0,477	0,321	0,392	0,705
1100	0,321	0,483	0,322	0,397	0,730
1200	0,322	0,490	0,324	0,403	0,758
1300	0,323	0,496	0,325	0,409	—

Таблица 2

Константы газов и паров

Газ	Формула	Атомн.	Молекулярный вес	Удельный вес при 0° Ц 760 мм рт. столба кг/м ³	Удельный объем при 0° Ц 760 мм рт. столба м ³ /кг	Теоретич. количество потребного для сжигания	
						кислорода м ³ на м ³ газа	воздуха м ³ на м ³ газа
Водород	H ₂	2	2,016	0,09	11,106	0,5	2,38
Кислород	O ₂	2	32	1,429	0,7	—	—
Азот	N ₂	2	28,08	1,251	0,797	—	—
Окись углерода	CO	2	28	1,25	0,8	0,5	2,38
Углекислота	CO ₂	3	44	1,977	0,509	—	—
Воздух	—	—	28,94	1,293	0,774	—	—
Пар	H ₂ O	3	18,02	0,804	1,242	—	—
Метан	CH ₄	5	16,03	0,717	1,397	2	9,52
Ацетилен	C ₂ H ₂	4	26,02	1,162	0,861	2,5	11,9
Этилен	C ₂ H ₄	6	28,03	1,252	0,8	3,0	14,3
Этан	C ₂ H ₆	8	30,05	1,342	0,745	3,5	16,7
Пропан	C ₃ H ₈	11	44,06	1,968	0,508	5,0	23,8

Таблица 3

Теплотворная способность горючих газов

Наименование газа	Теплотворная способность 1 м ³ газа при 0° и 760 мм рт. столба к кал.		Низшая теплотворная способность кг-мол. газа при 0° и 760 мм рт. столба к кал.
	высшая	низшая ¹	
Водород H ₂	3 050	2 570	57 570
Окись углерода CO	3 045	3 045	68 210
Метан CH ₄	9 580	8 630	193 310
Ацетилен C ₂ H ₂	16 070	13 460	301 500
Этилен C ₂ H ₄	15 420	14 480	324 350
Этан C ₂ H ₆	16 600	15 180	340 030
Пропан C ₃ H ₈	23 560	21 660	485 180
Бутан C ₄ H ₁₀	30 630	28 270	633 250

Таблица 4

Теплосодержание 1 килограмм-молекулы различных газов при различных температурах

t° Ц	O ₂	H ₂ ; CO N ₂	H ₂ O	CO ₂ SO ₂	CH ₄	Воздух
100	693	673	810	810	1 038	677
200	1 395	1 355	1 630	1 893	2 196	1 363
300	2 106	2 046	2 461	2 926	3 474	2 059
400	2 826	2 746	3 305	4 009	4 872	2 763
500	3 555	3 455	4 162	5 139	6 390	3 476
600	4 293	4 173	5 035	6 311	8 028	4 198
700	5 040	4 900	5 928	7 519	9 786	4 929
800	5 796	5 636	6 842	8 759	11 664	5 670
900	6 561	6 381	7 781	10 027	13 662	6 419
1 000	7 335	7 135	8 750	11 317	15 780	7 177
1 100	8 118	7 898	9 753	12 625	18 018	7 944
1 200	8 910	8 670	10 795	13 945	20 376	8 720
1 300	9 711	9 451	11 881	15 275	—	9 506
1 400	10 521	10 241	13 019	16 607	—	10 300
1 500	11 340	11 040	14 212	17 938	—	11 103

¹ Кнорре — Тепловые расчеты котельных установок по газовому анализу.

Таблица 5

Содержание влаги в воздухе (газе) и упругость водяного пара при различных температурах

Температура t° Ц	Упругость водяных паров в мм рт. столба	Содержание влаги в 1 м ³ сухого воздуха при t° Ц в гр	Содержание влаги в 1 м ³ воздуха при насыщении его при t° Ц в г.
1	2	3	4
- 10	2,09	2,3	2,4
- 5	3,11	3,4	3,5
0	4,60	4,89	4,92
5	6,53	6,83	7,02
10	9,17	9,39	9,86
15	12,7	12,82	13,35
20	17,39	17,22	18,92
25	23,55	22,93	25,84
30	31,55	30,21	34,99
32	35,36	33,64	39,12
34	39,57	37,46	44,57
36	44,20	41,51	49,89
38	49,30	46,00	56,05
40	54,91	50,91	62,91
41	57,91	53,52	66,64
42	61,06	56,25	70,57
43	64,35	59,09	74,73
44	67,79	62,05	79,12
45	71,39	65,14	83,76
46	75,16	68,36	88,66
47	79,09	71,73	93,85
48	83,20	75,33	99,32
49	87,50	78,86	105,1
50	91,98	82,63	111,2
51	96,66	86,64	117,7
52	101,54	90,66	124,6
53	106,64	94,92	131,9
54	111,95	99,34	139,6
55	117,48	103,9	147,7
56	123,24	108,7	156,4

Температура t° Ц	Упругость водя- ных паров в мм рт. столба	Содержание вла- ги в 1 м³ сухого воздуха при t° Ц в гр	Содержание влаги в 1 м³ воздуха при насыщении его при t° Ц в г.
1	2	3	4
57	129,25	113,6	165,5
58	135,51	118,8	175,8
59	142,01	124,1	185,7
60	148,79	129,6	196,7
61	155,84	135,4	208,9
62	163,17	141,3	220,9
63	170,79	147,5	234,2
64	178,71	153,9	248,4
65	186,95	160,5	263,6
66	195,50	167,3	279,8
67	204,38	174,4	297,2
68	213,60	181,8	315,7
69	223,16	189,4	335,9
70	233,09	197,2	357,4
71	243,39	205,3	380,6
72	254,07	213,7	408,7
73	265,15	222,4	432,9
74	276,62	231,4	462,3
75	288,52	240,6	494,4
76	300,34	250,1	529,3
77	313,60	260,0	567,6
78	326,81	270,2	609,5
79	340,49	280,7	656,5
80	354,64	291,6	706,8
81	369,29	302,8	763,4
82	384,44	314,3	827,0
83	400,10	326,2	898,2
84	416,30	338,4	978,6
85	433,04	351,0	1070
86	450,30	361,0	1175
88	486,61	391,2	1439
90	525,39	420,0	1810

Таблица 6

Состав газа различных генераторов

№ п/п	Тип газогенера- тора	Вид топлива	Влажность в % по весу	Содержание компонентов в % по объему							Низкая тепло- проводность -особенно -важно
				CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	O ₂	C _n H _m	N ₂	
1	ЛТА	Щепа	20	12,2	18,6	3,8	11,9	0,8	0,2	52,5	1168
2	НАТИ-3	Чурки	16	11,4	18,4	3,0	16,4	0,6	—	50,5	1242
3	ЦНИИВТ	Чурки разн. пород	15	12,1	18,8	1,9	14,5	0,5	—	52,2	1104
4	ЗИС-21	"	15	9,0	21,0	1,0	16,0	—	—	53,0	1138
5	Берлие	Березовые чурки	30	13,3	15,2	2,7	14,0	1,8	—	53,0	1048
6	"	"	—	9,8	19,5	2,5	16,3	1,7	—	50,2	1228
7	Имберт	"	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	Кромаг	Смесь бука и ели	—	9,7	21,0	0,9	18,5	0,2	0,2	49,5	1218
9	Гумбольд Дейтц	Чурки разных пород	12	8,2	21,9	3,1	11,5	1,6	—	53,7	1231
10	Абоген	Древесный уголь	—	2,4	31,7	2,6	5,6	—	—	58,7	1333

Таблица 7

Состав органической массы различных пород древесины

Порода дерева	Состав в % по весу				Золы в % от абс.-сух. дерева	Низшая теплотворн. способность от г. массы кал/кг
	C ₀	H ₀	O ₀	N ₀		
Дуб	50,0	6,05	42,65	1,3	1,58	4390
Береза	49,4	6,3	43,2	1,1	0,81	4460
Бук	48,5	6,3	44,3	0,9	0,99	4500
Липа	49,4	6,8	43,7			4540
Клен	49,8	6,3	43,9			4440
Сосна	49,9	6,3	43,8		1,22	4560
Ель	49,6	6,4	43,1	0,9	0,8	4510
Древесный уголь	91,6	3,2	5,2			8072

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Вознесенский — Легкие газогенераторы, 1938 г.
2. М. Д. Артамонов — Автотракторные газогенераторы, 1937 г.
3. Пояснительная записка к проекту газогенераторной установки „Газогенераторстроя“.
4. В. М. Ангуфьев и Казаченко — Теплоотдача и сопротивление конвективных поверхностей нагрева, 1938 г.
5. Г. Ф. Кнорре — Тепловые расчеты котельных установок по газовому анализу.
6. Hütte, т. I.
7. Клейнерман — Газогенераторные установки для автомобилей, 1938 г.
8. Гинзбург — Газогенераторные установки, ч. II, 1937 г.
9. Грум-Гржимайло — Пламенные печи, т. I.

Таблица

Основные размеры транспортных газогенераторов

Тип	Топливо	Бункер			Топливник		Высота от уровня дна котла до уровня лачи	В % от длины	Диаметр и число отверстий для подачи воздуха в зону горения
		диаметр мм	высота мм	объем л	диаметр на уровне подвода воздуха мм	форма			
ЛТА	Щепя	500	1080	215	485—550	350	28	7,5 × 18	
ЗИС-21	Уголь	400—496	1000	265	340	500	51	9,5 × 10	
Дейт	Чурки	498	1360	277	325	320	19,3	4 × 7 и 6 × 8	
Менк	„	500	1450	257	410	300	34	8 × 15	
Имберг	„	500	1280	460	360	482		12,8 × 5	
Берлие	„	575—501	1356	300	226	333		10 × 10	
Кромар	„	528—495	1537	192		570		5 × 50	
Гозн-Пулен	Уголь	530	1060	82				20 × 1	
		350	855						

Таблица 9

Размеры очистителей и охладителей в транспортных газогенераторных установках

Тип установки	Мощность л. с.	Количество и поверхность охлаждения м ²				Охлажда- ющая поверхность в м ²	Емкость в л
		циклон	радиаторный холодильник	багажный очиститель	тонкий очиститель		
ЛГА	48	2 × 0,5	1 × 2,7	—	1 × 2,42	6,12	535
ЗИС-21	48	—	—	3 × 0,97	1 × 3,44	6,35	311
Имберг	76	1 × 1	—	3 × 1,20 3 × 0,98	—	7,54	—
Берлие	45	—	—	3 × 1,06 3 × 0,73	—	6,6	502
Кромаг	—	—	—	6	—	5,37	300
Менк и Гамброк	60	2 × 0,5	1 × 3,81	—	—	5,7	264
Дейтц	69	—	труба 1,51	—	—	—	125,8
Гоэн-Пулен (угольная)	—	—	—	—	—	—	—