

~~662~~
~~Г-342~~

60

А. Б. Генцин

**ПОЛУЧЕНИЕ
И ПРИМЕНЕНИЕ
ГЕНЕРАТОРНОГО
ГАЗА**

**НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА**

574/53



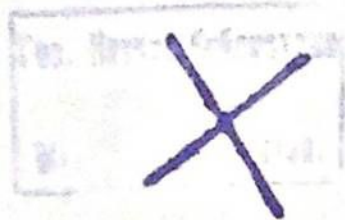
1952

А. Б. ГЕНИН

**ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ
ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА**



ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА РЕЧНОГО ФЛОТА СССР
ЛЕНИНГРАД 1952 МОСКВА



~~544/53~~

662
Г. 342

В книге содержатся основные сведения о древесном рабочем топливе и различных схемах его газификации. Приводятся описания конструкции стационарных газогенераторов прямого процесса и судовых газогенераторов обращенного процесса для газификации древесного топлива. В книге приведены примерный расчет по определению производительности газогенератора при переводе нагревательных печей с мазута на газ, а также тепловой и конструктивный расчет газогенератора.

В заключение даются описания некоторых типов рекуператоров для подогрева воздуха, сведения о газовых горелках для сжигания горячего и очищенного газа, описание опыта плавки чугуна на древесном генераторном газе и меры безопасности при обслуживании печи, работающей на газе.

12
16970

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧ.-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР

9081 21
60

ВВЕДЕНИЕ

В промышленных предприятиях Министерства речного флота нагревательные печи имеются в корпусно-котельных, кузнечных и литейных цехах. Печи используются для нагрева листов и профильного проката перед гибкой, для нагрева заготовок к прессам, молотам и ковочным машинам и для отжига различных изделий. Кроме того, в этих же цехах имеются открытые кузнечные горны, горны для нагрева листов и сушила для сушки форм и стержней. На всех предприятиях МРФ, кроме Киевского судоремонтного завода им. Сталина и Саратовского завода, где используется природный газ, указанные агрегаты работают на мазуте или на дальнепривозном твердом топливе.

Министром речного флота, в приказе от 1/II 1950 г. было отмечено, что положение с использованием местного топлива в предприятиях Министерства неудовлетворительное. Этим же приказом директора заводов были обязаны разработать и осуществить необходимые мероприятия по обеспечению полного использования топливных отходов лесопиления взамен угля и жидкого топлива.

По литературным источникам, при лесопилении выход готовых пиломатериалов составляет около 60%, а 40% составляют разные отходы в виде: горбылей—10%, реек—10%, опилок и срезов—12%, коры и мусора—5%, и торцовки—3%. Если даже принять, что 5—10% отходов может быть использовано для изготовления тары и других изделий широкого потребления, то и при этом 30—35% отходов лесопиления являются топливными отходами.

Наиболее простым и вместе с тем рациональным способом использования отходов лесопиления и других видов местного твердого топлива в условиях промпредприятия—является предварительная их газификация и последующее сжигание генераторного газа. Полное сжигание генераторного газа с малым избытком воздуха обеспечивает качественный нагрев изделий и удобство обслуживания нагревательных печей. Сжигание генераторного газа в промышленных печах имеет ряд преимуществ перед непосредственным сжиганием твердого топлива в топках печей и не уступает в ряде случаев по своим технологическим возможностям жидкому топливу.

По данным проф. Рафаловича производительность термических печей, переведенных с мазута на газ из чурок увеличивались примерно на 33%; опасность местных перегревов понизилась, благодаря чему качество продукции возросло. Вместе с тем значительно увеличилась стойкость нижних топок; при мазуте кладка последних, а также и под, на них опирающийся, разрушались довольно быстро.

Газификацию дров и древесных отходов можно сочетать с одновременным получением достаточно качественной смолы для нужд верфей деревянного судостроения и судоремонтных заводов.

По своей экономической эффективности и рентабельности утилизация жидких лесохимических продуктов, полученных при газификации древесины, может быть поставлена на первое место среди других процессов комплексного использования древесины. На тех предприятиях, где технически возможно и экономически целесообразно, следует создавать одну газогенераторную станцию для централизованного газоснабжения всех возможных потребителей, включая и силовые установки. Однако во многих случаях на судоремонтных заводах, в мастерских или затонах, где потребление газа небольшое и сезонное, наиболее рациональным явится применение индивидуальных газогенераторов или одного газогенератора для небольшой группы печей.

ГЛАВА I

СОСТАВ И ВЛАЖНОСТЬ РАБОЧЕГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

§ 1. Состав топлива в зависимости от влажности

По химическому составу древесина различных пород мало отличается, поэтому для тепловых расчетов принимается средний состав.

Основную часть древесины составляют органические вещества, состоящие в среднем из 50% углерода, 6% водорода, 43,7% кислорода и 0,3% азота. Средний рабочий состав и теплотворность дров в зависимости от влажности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение среднего рабочего состава дров в зависимости от влажности

Наименование	Обозначение	Размерность	Влажность дров W^P в % (относит.)							
			0	10	20	25	30	35	40	45
Углерод	C^P	%	49,5	44,5	39,6	37,1	34,6	32,1	29,7	27,2
Водород	H^P	%	5,9	5,3	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5	3,2
Кислород	O^P	%	43,3	39,0	34,6	32,5	30,4	28,2	26,0	23,8
Азот	N^P	%	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Зола	A^P	%	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6
Нижняя теплотворность . .	Q_{II}^P	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$	4330	3890	3470	3235	3020	2800	2600	2370
Высшая теплотворность . .	Q_{IV}^P	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$	4650	4180	3720	3485	3240	3000	2785	2540

Влажность топлива измеряется в весовых единицах и выражается обычно в процентах. Если вес влаги топлива отнесен к первоначальному весу образца, то это будет относительная влажность, если же вес влаги отнесен к весу абсолютно сухой части образца, то эта влага будет абсолютной. В литературе относительная влажность зачастую не оговаривается, в то время как абсолютная влажность всегда отмечается.

Согласно ОСТу, дрова по относительной влажности делятся на сухие—влажностью до 25%, полусухие—влажностью от 25 до 35% и сырые—влажностью от 35 до 50%.

При учете дров по весу допускается приближенное определение степени влажности дров по опытным данным среднего веса складочного кубометра согласно табл. 2.

Таблица 2

Степень влажности дров	Максимальный вес складочного кубометра дров некоторых пород в кг				
	дуб	береза	осина	сосна	ель
Сухие	540	472	360	383	337
Полусухие	623	545	415	442	389
Сырые	810	708	540	574	560

Проф. И. И. Палеев в статье „Методы повышения эффективности и экономичности использования древесины при газификации“ отмечает, что в печах с высокими температурами отходящих газов уменьшение теоретической температуры горения газа вызывает резкое увеличение удельных расходов условного топлива. Так, например, в мартеновской печи, отапливаемой древесным генераторным газом, увеличение влажности древесины с 30 до 50% должно по расчетам привести к увеличению расхода условного топлива примерно в два раза.

§ 2. Сушка древесного топлива

Так как дрова при заготовке имеют повышенную влажность, то их необходимо до употребления просушить. В табл. 3 приведены средние данные, характеризующие влажность древесины при естественной сушке.

Скорость сушки после срубки будет различна в зависимости от того, является ли древесина полностью, частично или вовсе неокоренной. Длина и толщина поленьев также отражаются на скорости сушки.

Таблица 3

Порода дерева	Влажность при срубке в январе (%)	Влажность (%) после срубки через			Потеря влажности (%) по прошествии		
		6 мес.	12 мес.	18 мес.	6 мес.	12 мес.	18 мес.
Сосна	54,4	29,3	18,5	15,8	25,1	35,9	38,6
Ель	42,0	28,6	16,7	14,8	13,4	25,3	27,2
Береза	44,3	25,3	18,1	16,0	19,0	26,2	28,3
Осина	50,0	31,0	21,6	15,9	19,0	28,4	34,1
Дуб	39,0	29,6	23,8	20,7	9,4	15,2	18,3

Скорость высыхания в период естественной воздушной сушки древесины при одинаковой величине поленьев и плотности укладки зависит от метеорологических условий (температуры и относительной влажности воздуха), скорости и направления ветра, величины штабеля и местоположения древесины в самом штабеле. Более старая древесина сохнет равномернее молодой. Хвойные породы сохнут быстрее лиственных, а лиственные мягкие породы быстрее, чем твердые.

При естественной воздушной сушке влагосодержание древесины стремится к равновесному состоянию с влажностью воздуха. При большой влажности древесины и относительно малом влагосодержании воздуха происходит процесс выделения влаги из древесины в атмосферу. Наоборот, при понижении температуры воздуха и увеличении его влагосодержания—увлажнение ранее высушенных дров.

На рис. 1 приведены кривые равновесного состояния влажности древесины в зависимости от относительной влажности воздуха при 21, 39 и 100° С.

Движение влаги внутри древесины происходит довольно медленно и зависит, главным образом, от формы и длины куска. Мелкоизмельченная древесина (опилки, щепа, чурки) сравнительно быстро способна изменять свою влажность, тогда как древесина более крупных размеров поглощает или выделяет влагу значительно медленнее.

Для того чтобы получить необходимую температуру горения газа в печах, влажность древесного топлива не должна быть выше 30%. Если такая влажность не может быть обеспечена из-за кратковременности естественной сушки, то топливо следует подвергнуть искусственной сушке. Для искусственной сушки могут быть использованы отходящие газы от печей или же расходоваться часть генераторного газа. Предварительная подсушка влажной древесины является обязательной, так как это улучшает качество газа и позволяет резко снизить расход топлива.

При выборе режима сушки древесины следует иметь в виду, что влагопроводность древесины при прочих равных условиях в значительной степени зависит от температуры. Так, например, при повышении температуры древесины с 60° до 80° влагопроводность возрастает в 2,5 раза, а при повышении темпе-

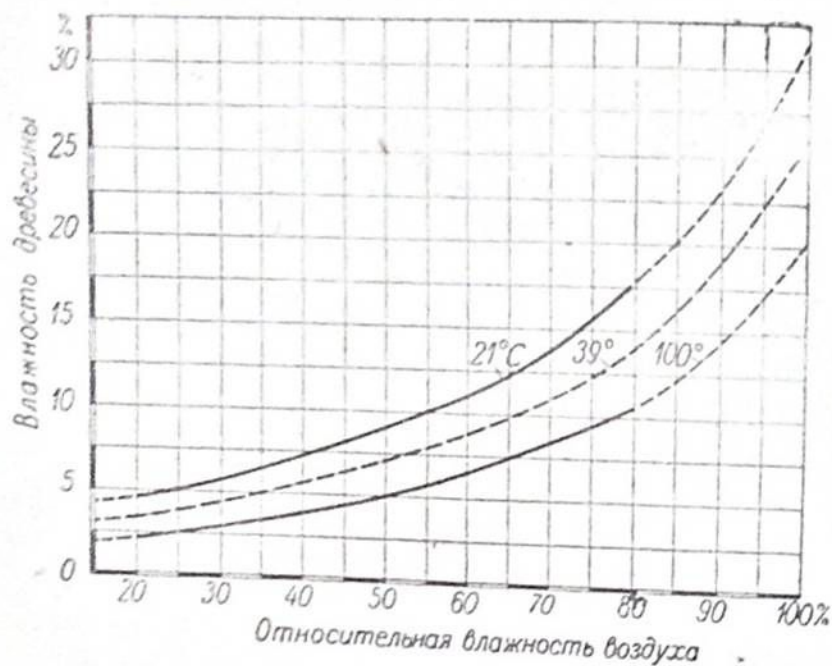


Рис. 1. Зависимость влажности древесины от относительной влажности и температуры воздуха при равновесном состоянии.

ратуры с 60° до 100° влагопроводность возрастает в 5 раз. Однако повышать температуру нагрева древесины выше 150° С не следует, так как при 170—180° С начинаются процессы разложения.

ГЛАВА II

ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОЦЕССЕ ГАЗИФИКАЦИИ

В зависимости от технических требований к качеству генераторного газа твердое топливо в стационарных установках газифицируют по схеме прямого или обращенного процесса или в двухзонных газогенераторах, в которых нижняя часть работает по прямому, а верхняя по обращенному процессу, а также в газогенераторах с двумя газозборами.

Основное отличие схем процессов газификации состоит в различном взаимодвижении топлива и воздуха (паровоздушной смеси) в слое.

§ 3. Изменение древесного топлива при прямом процессе газификации

Рассмотрим сначала последовательность изменений древесного топлива при газификации по прямому процессу, который характеризуется противотоком топлива и воздуха (паровоздушной смеси) (рис. 2).

Топливо — дрова загружаются в газогенератор сверху и опускаются вниз по мере газификации нижних слоев.

Воздух или паровоздушная смесь подводится снизу под решетку, а образовавшийся генераторный газ отводится сверху. Вследствие противотока происходит интенсивный теплообмен и нагрев дров за счет физической теплоты генераторного газа. В верхних слоях топлива вскоре после загрузки начинается испарение влаги. Продолжительность процесса сушки зависит от по-

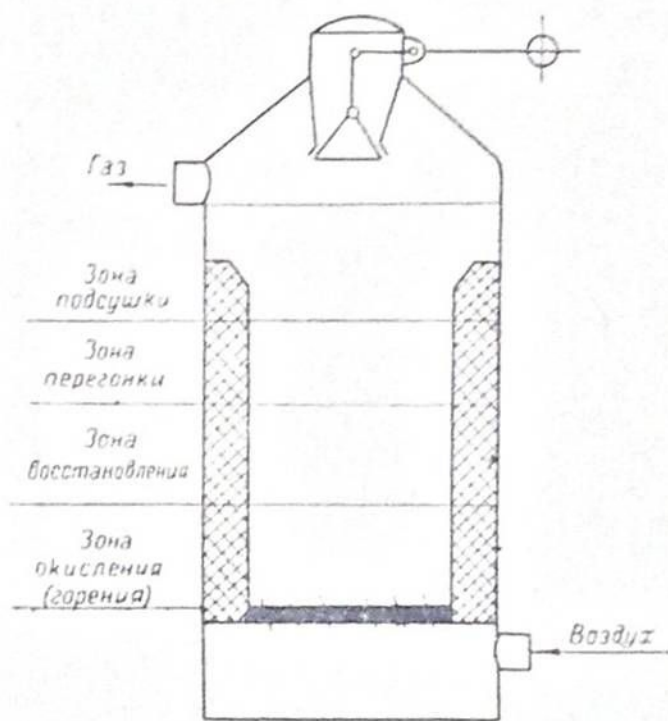


Рис. 2. Схема газогенератора прямого процесса.

роде и влажности дров, длины кусков, плотности и высоты слоя, температуры и скорости движения газового потока. По мере опускания слоя, дрова соприкасаются с более горячими газами, что приводит к дальнейшему нагреву и полной просушке кусков топлива. С повышением температуры наступает процесс сухой перегонки древесины, сопровождающийся образованием и выделением газообразных и парообразных продуктов. Газообразные продукты сухой перегонки представляют собой смесь углекислого газа (CO_2), окиси углерода (CO), метана (CH_4), водорода (H_2) и разных углеводородов (C_nH_m). К парообразным продуктам сухой перегонки относится вода, уксусная кислота, метиловый спирт, ацетон и смола.

Теоретически допускается, что разложение древесины в процессе сухой перегонки начинается при температурах даже немного ниже 100° С, однако, в пределах до 200° С реакция протекает очень медленно и из древесины выделяются, главным образом, пары воды. При дальнейшем повышении температуры

до 280° С выделяются CO₂ и CO. При 275° С наблюдается весьма интенсивное обугливание древесины с выделением большого количества тепла (экзотермическая фаза); 280—380° С стадия образования уксусной кислоты, спирта и начало выделения смолы. От 380 до 500° С происходит образование, главным образом, тяжелой смолы. Выход смолы и кислоты при всех прочих равных условиях зависит от породы древесины, что видно из данных табл. 4.

Таблица 4

Наименование пород древесины	Выход на абсолютно сухую древесину, %	
	смолы	кислоты
Береза	23,33	7,96
Осина	26,68	5,18
Сосна	29,10	4,21
Ель	25,00	3,51

Средние значения выходов продуктов разложения абсолютно сухой древесины в процессе перегонки приведены в табл. 5.

Таблица 5

Наименование продуктов швелевания	Выход, кг/кг	Теплотворность высш. ккал/кг	Теплосодержание	
			ккал.	%
Уголь древесный	0,3065	7605	2331	50,1
Швель-газ ¹	0,2805	3613	1013	21,7
Смола	0,130	7260	944	20,3
Кислоты	0,028	1500	42	1,0
Спирты	0,005	5310	27	0,6
Альдегиды, эфиры, кетоны	0,001	3640	36	0,8
Вода разложения	0,249	—	—	—
Тепло разложения (по разности)	—	—	257	5,5
Абсолютно сухая древесина	1,000	4650	4650	100,0

¹ Швель-газ — газ, выделяющийся при сухой перегонке.

Выход продуктов сухой перегонки зависит также от влажности древесины, температурного режима и скорости обугливания.

Ленинградским Научно-исследовательским лесохимическим институтом (ЛенНИЛХИ) проведены исследования по газификации щепы различной влажности в производственной установке с использованием побочных продуктов. Полученные данные приведены в табл. 6, из которой видно, что с повышением влажности щепы с 31,7% до 42% уменьшились выходы смолы с 15,2 до 11,1%, а кислоты с 2,79% до 1,89%. Соответственно увеличился выход газа с 1,7 нм³/кг абсолютно сухой древесины до 1,87 нм³/кг. С увеличением выхода газа содержание влаги в газе, отнесенное к 1 нм³, несколько уменьшилось.

Таблица 6

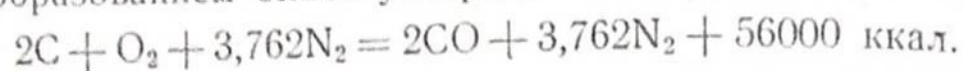
Влияние влажности щепы на выход продуктов газификации

Влажность щепы, % (отп.)	Содержание паров в газе на выходе из генератора г/нм ³			Выход на абсолютно сухую древесину			Теплотворность газа низшая ккал/нм ³
	смолы	кислоты	воды	газа нм ³ /кг	смолы %	кислоты %	
33,5	81,9	15,7	533	1,72	14,1	2,70	1636
37,7	72,8	13,8	506	1,83	13,0	2,53	1610
42,0	59,2	10,1	517	1,87	11,1	1,89	1603

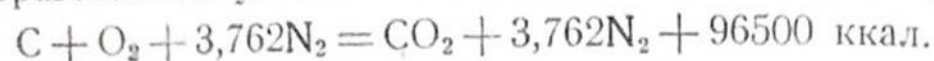
Сильное нагревание и связанный с этим быстрый ход реакции всегда дают большее количество газов при небольшом сравнительно количестве смолы, уксусной кислоты, древесного спирта и угля. Если побочные продукты утилизируются как химическое сырье или полуфабрикаты, то в верхней части газогенератора устраивают швель-шахту, чем достигается увеличение времени и уменьшение скорости нагрева, а следовательно, и увеличение выхода смолы, уксусной кислоты и спирта.

По мере опускания слоя обугленной древесины продолжается ее нагрев и повышение температуры до раскаленного состояния за счет физического тепла продуктов газификации, образовавшихся вблизи решетки. Чем выше температура выжига древесного угля, тем более однородным он является по своему химическому составу и тем больше в нем содержание углерода. Таким образом, при прямом процессе газификации вблизи решетки в зоне горения во взаимодействие с кислородом воздуха вступает почти один углерод топлива. При газификации углерода протекают реакции:

а) с образованием окиси углерода

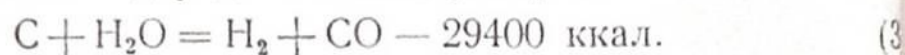


б) с образованием углекислого газа



Во избежание развития высоких температур (1300—1400°С) а также для частичного использования выделившегося тепла при газификации углерода к воздуху добавляют водяной пар. Реакции разложения водяного пара углеродом протекают в зоне восстановления, расположенной над зоной горения:

а) с образованием водорода и окиси углерода



б) или углекислого газа и водорода



В зоне восстановления, где практически отсутствует свободный кислород, протекает также и реакция восстановления части углекислого газа до окиси углерода



В верхних слоях топлива при понижении температуры происходит образование метана из углерода и водорода по реакции:



Продукты газификации, образовавшиеся в зоне горения в зоне восстановления, поднимаясь кверху, смешиваются с продуктами сухой перегонки и влагой, выделившейся в зоне подсушки. Парогазовая смесь либо сначала поступает в охлаждающе-очистительные устройства, либо направляется непосредственно к местам потребления.

§ 4. Изменение древесного топлива при обратном процессе газификации

Полное разложение парообразных продуктов сухой перегонки органической массы и получение бессмоляного газа может быть достигнуто при газификации древесного топлива по обратному процессу, схема которого изображена на рис. 3. Обратный процесс газификации характеризуется протокотом газифицируемого топлива, воздуха и газа в слое.

Топливо загружают в газогенератор сверху, откуда по мере расходования нижележащих слоев оно спускается вниз под действием силы тяжести.

Воздух, необходимый для газификации, подводится с периферии или в центральную часть газогенератора на некоторой высоте над решеткой. Зона горения находится вблизи подвода воздуха. Обугленные, частью обгоревшие, куски топлива опускаются вниз, образуя зону восстановления. Продукты газификации отводятся из слоя топлива вниз.

Отличие схемы обратного процесса от схемы прямого процесса газификации не только в том, что зона восстановления расположена под зоной горения. При обратном процессе топливо за время нахождения в верхней части над зоной горения в отличие от прямого процесса сравнительно мало подготавливается для газификации. Подсушка дров в бункере может быть осуществлена при использовании физического тепла генераторного газа для наружного обогрева стенки бункера и путем теплопроводности от нижних слоев к верхним, а также посредством излучения тепла, выделившегося в зоне горения. Эффективность нагрева кусков, не опирающихся со стеной, незначительна, так как древесина является плохим проводником тепла. При достаточной плотности слоя топлива теплоизлучение сказывается на небольшом расстоянии от зоны горения.

Наблюдения при эксплуатации газогенераторов показывают, что часть испарившейся влаги вблизи зоны горения поднимается кверху и конденсируется на более холодной верхней части бункера, крышки и стекает вниз. При загрузке дров различной влажности более сухие дрова будут даже несколько увлажняться в бункере. Большая часть паров воды, выделившихся из топлива, направляется вниз в зону газификации и в перегретом виде уходит с газом. Продукты сухой перегонки сгорают или разлагаются под действием углерода при высоких температурах. Следовательно, наименование зон подсушки и сухой перегонки при обратном процессе является чисто условным и отличным от зон подсушки и сухой перегонки при прямом процессе газификации.

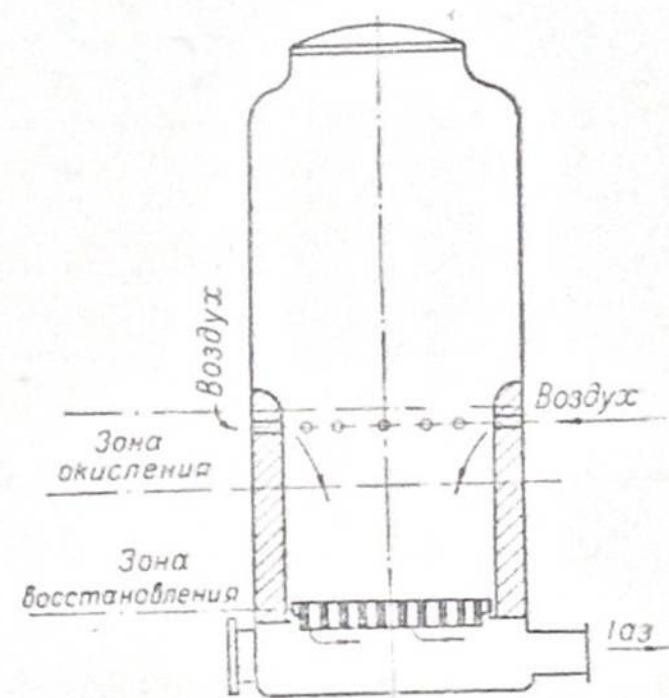


Рис. 3. Схема газогенератора обратного процесса.

При обратном процессе топливо в менее подсушенном и подогретом виде поступает в зону горения, в зону высоких температур, где, кроме горения углерода, параллельно с ним происходят изменения, характерные для зон подсушки и сухой перегонки в прямом процессе. Если разность температур газа и температуры кусков древесины достигает 300°C и выше, возможно наружное обугливание древесины без прогретия внутренних частей ее даже до 100°C .

Схема разложения древесины при обратном процессе может быть представлена в следующем виде: сушка и пирогаенное разложение с поверхности закончилось, идет бурное экзотермическое разложение и горение, в то время как во внутренних слоях только началось или уже идет пирогаенное разложение и подсушка. Образовавшиеся трещины способствуют выходу газообразных продуктов сухой перегонки. Последние частью сгорают, частью разлагаются под действием углерода при высоких температурах. Обугленное и раскаленное с поверхности топливо опускается в нижнюю часть, где протекают эндотермические реакции восстановления углекислого газа в окись углерода и разложения водяного пара. Температура слоя топлива в зоне восстановления непрерывно снижается по мере удаления от зоны горения.

При низких температурах в зоне горения и недостаточно развитой поверхности в зону восстановления может попасть часть топлива, в котором еще не закончилось полностью разложение — обугливание древесины, следствием чего является неполное разложение паров смолы.

В связи с тем, что вся влага топлива проходит зоны окисления и восстановления, повышенное содержание влаги резко снижает температуру в слое, при этом возможно неполное разложение смолы. Понижение температуры в зоне горения, как следствие этого, прохождение смолы в газ может иметь место также при длительной работе со сравнительно небольшой интенсивностью газификации. Следовательно, трудности, сопутствующие получению бессмольного газа, заложены в самой схеме обратного процесса.

В отличие от прямого процесса в газогенераторах с обратным процессом высота активного слоя строго фиксирована, что отрицательно отражается на составе и калорийности газа при изменении газопроизводительности. Подача воздуха по периферии или в центре сквозь слой топлива не обеспечивает равномерного распределения его по всему сечению. Движение газа и топлива в одном направлении ведет к слеживанию слоя, заполнению зазоров мелким углем, золой и повышению сопротивления газогенератора.

Совмещение во времени и в пространстве ряда физико-химических процессов в обратных газогенераторах вызывает

необходимость наличия высоких температур, большой активной и свободной поверхности топлива.

Высокие температуры в газогенераторах с обратным процессом обеспечиваются применением сухого топлива и интенсивным подогревом воздуха и топлива. Нормальная относительная влажность древесного топлива для судовых газогенераторов доходит до 20–25%; при этом в зоне горения температуры бывают порядка $1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$, а в зоне восстановления они понижаются до $900\text{--}600^{\circ}\text{C}$.

ГЛАВА III

СХЕМЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ С ДВУМЯ ОТБОРАМИ ГАЗА И С ДВУМЯ ЗОНАМИ ГАЗИФИКАЦИИ

§ 5. Схемы газогенераторов с двумя отборами газа

Технологическая особенность газификации древесного топлива в газогенераторах прямого процесса с двумя отборами газа состоит в том, что одновременно с газом, отводимым через верхний патрубок, содержащий продукты сухой перегонки, из камеры газификации через второй патрубок отводится горячий, бессмольный газ (рис. 4). Для того чтобы в зону газификации поступала хорошо обугленная древесина, не содержащая смолы, необходимо подвести к ней достаточное количество тепла с теплоносителем — генераторным газом.

Практически установлено, что при полном использовании физического тепла генераторного газа, поступающего из зоны газификации в верхнюю часть газогенератора, в швельшахту, может быть обеспечена подсушка и сухая перегонка древесины с влажностью порядка 40% (отн.).

При загрузке в газогенератор древесного топлива влажностью меньше 40%,

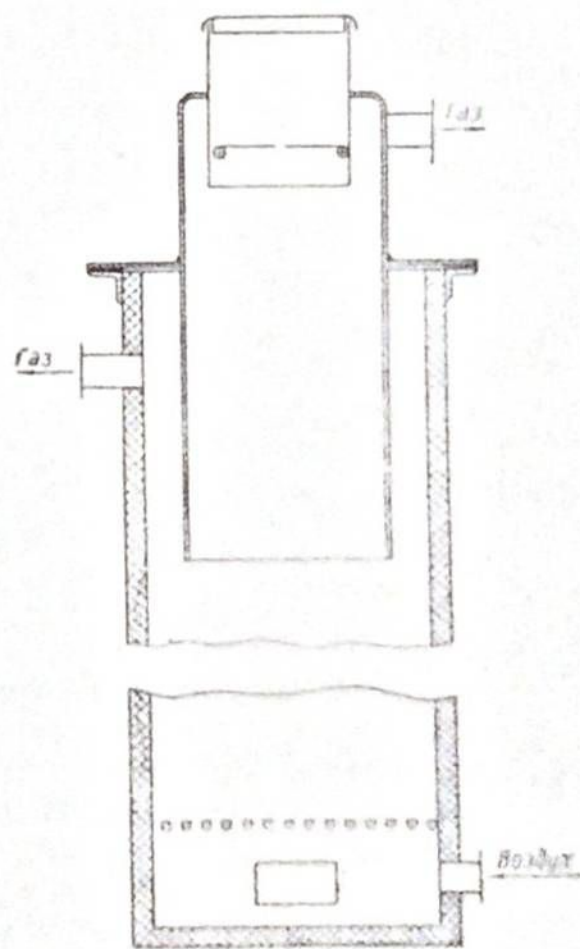


Рис. 4. Схема газогенератора прямого процесса с двумя отборами газа.

часть газа без ущерба для протекания процессов сушки сухой перегонки может быть отведена непосредственно зоны газификации. Количество горячего газа, которое может быть отведено через нижний патрубок, в зависимости от влажности древесного топлива, приведено на рис. 5.

Как указывалось выше, при обычном проведении процесса тепла, выделяющегося в зоне газификации, недостаточно для подсушки и обугливания древесины влажностью больше 40%. Частичное повышение температуры газа, поднимающегося в верхнюю часть, в швельшахту, может быть достигнуто уменьшением количества пара в паровоздушной смеси, подводимой под решетку, что приведет к снижению содержания

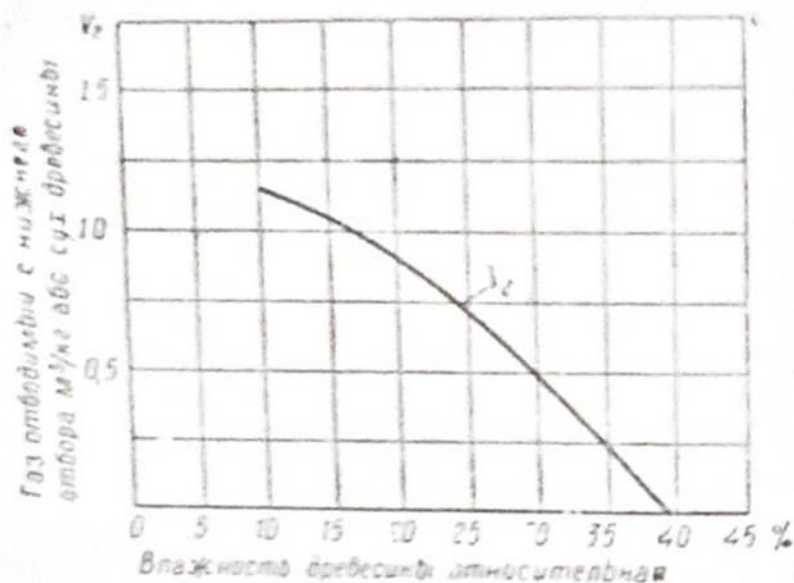


Рис. 5. Изменение количества отводимого газа с нижнего отбора в зависимости от влажности древесины.

водорода в газе. Подогрев воздуха, поступающего для газификации, также приводит к повышению температуры газа на выходе из зоны газификации, что позволит увеличить количество газа, отводимого через нижний патрубок, минуя швельшахту.

Однако недостаточно ограничиться подведением тепла в швельшахту, необходимо обеспечить условия для передачи тепла от газа к древесине и древесному углю. При недостаточном количестве топлива в швельшахте, а следовательно, недостаточной поверхности теплообмена часть тепла будет недоиспользована для сушки и обугливания. Результатом этого будет повышение температуры газа на выходе из верхнего патрубка и понижение температуры газа на выходе из нижнего патрубка. Следствием недостаточного обугливания древесины в швельшахте будет попадание продуктов сухой перегонки и прежде

всего смолы в горячий газ, отводимый через нижний патрубок. Газ, отбираемый через верхний патрубок, может быть направлен для сжигания к местам потребления, в очистительные устройства в случае утилизации смолы, или возвращен в смеси с воздухом в зону газификации.

На рис. 6 изображена схема газогенератора с двумя отборами газа, предназначенного для получения бессмольного газа. Газ из верхнего патрубка инжектируется воздухом и подводится в нижнюю часть газогенератора в зону газификации.

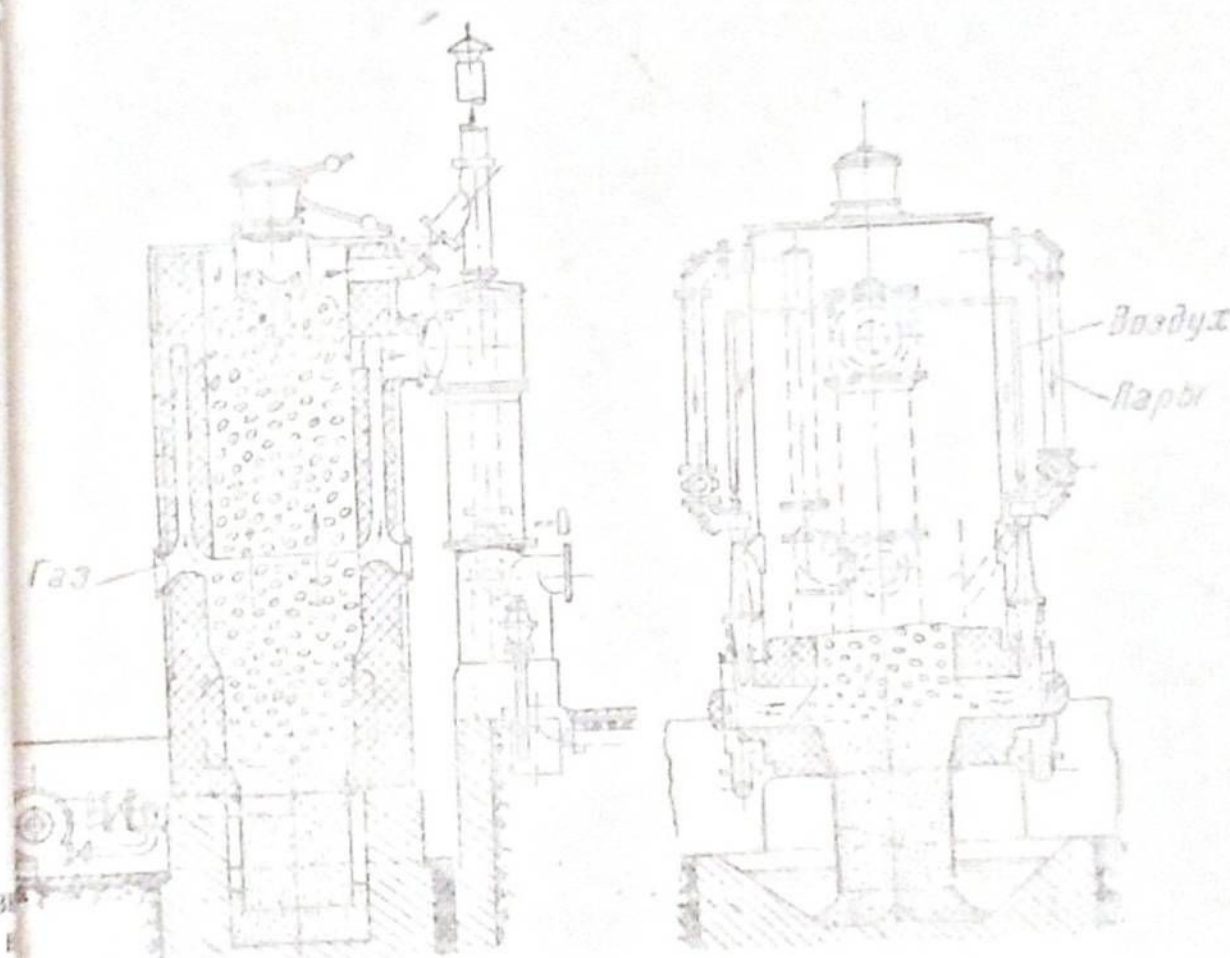


Рис. 6. Газогенератор прямого процесса с сжиганием продуктов сухой перегонки твердого топлива.

При такой схеме может быть обеспечено полное разложение смолы и части влаги топлива, если количество газа, отводимого через верхний патрубок, будет достаточным для сушки и обугливания древесины в слое над нижним газоотводом.

Разложение паров смолы может быть также достигнуто, если газ из верхнего патрубка будет подводится в зону газификации другого газогенератора прямого или обращенного процесса.

§ 6. Схемы двухзонных газогенераторов

Для получения бессмоляного газа древесное топливо можно газифицировать в двухзонных газогенераторах, в которых верхняя часть работает по схеме обращенного процесса, а нижняя по схеме прямого процесса. Схема такого двухзонного газогенератора изображена на рис. 7.

Нормальное протекание процесса газообразования в таких газогенераторах возможно при соблюдении следующих условий:

1) Если в нижнюю часть газогенератора будет поступать достаточно обугленная древесина, не содержащая смолы.

2) Если высота расположения газоотборного патрубка от решетки будет достаточной, чтобы исключить попадание свободного кислорода в горячий газ.

Бессмоляной газ можно получить при газификации любого вида твердого топлива — дров (щепы, опилок), торфа, соломы, бурых и каменных углей, если газификацию производить в газогенераторе, схема которого изображена на рис. 8.

Газогенератор цилиндрической или призматической формы внутри разделен в верхней части переборкой 1 на две части с отдельными топливозагрузочными устройствами 2.

Переборка 1 может быть установлена вертикально, но лучше придать ей небольшой наклон, с целью увеличения сечения к низу, как изображено на рис. 8, в левой части 3, куда загружается основное топливо, предназначенное для газификации, — дрова, торф, жирный уголь и т. д. Наклон переборки 1, а следовательно, увеличение сечения, будет способствовать разрушению сводов при разбухании торфа или спекания углей. Слои топлива ограничены решеткой 4, под которой находится зольник 5 с лючком 6. Решетка может быть любой конструкции и различной в обеих частях газогенератора. В левой части 3 над решеткой 4 расположены один или несколько рядов фурм 7, которые в горизонтальной плоскости находятся под переборкой 1. В правой части газогенератора 8, в верхней части сбоку, находится газоотборный патрубок 9. Для устранения попадания и уноса топлива газовым потоком перед патрубком 9 имеется щиток 10. Снаружи газогенератор может иметь воздушную или пароводяную рубашку, а внутри быть с футеровкой или без футеровки.

Схематически действие газогенератора протекает в следующем порядке: смолосодержащее топливо загружается в левую часть 3. В правую часть 8 загружается вспомогательное топливо — антрацит, коксик, полукокс или древесный уголь.

Воздух или паровоздушная смесь через фурмы 7 подводится в слой предварительно разожженного топлива. Подвод вторич-

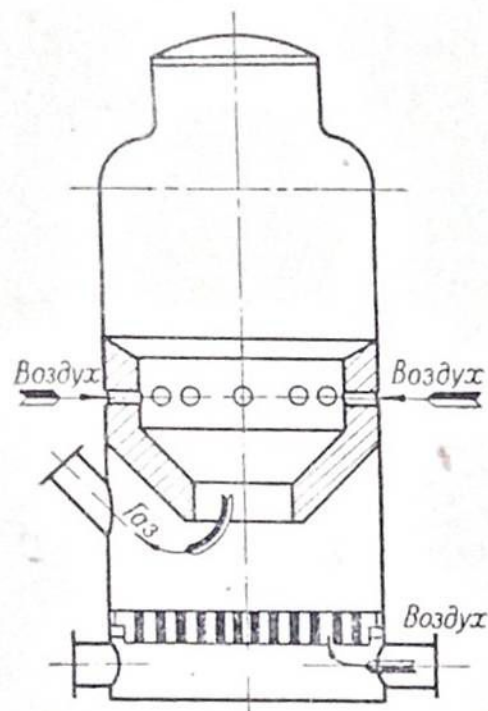


Рис. 7. Схема двухзонного газогенератора.

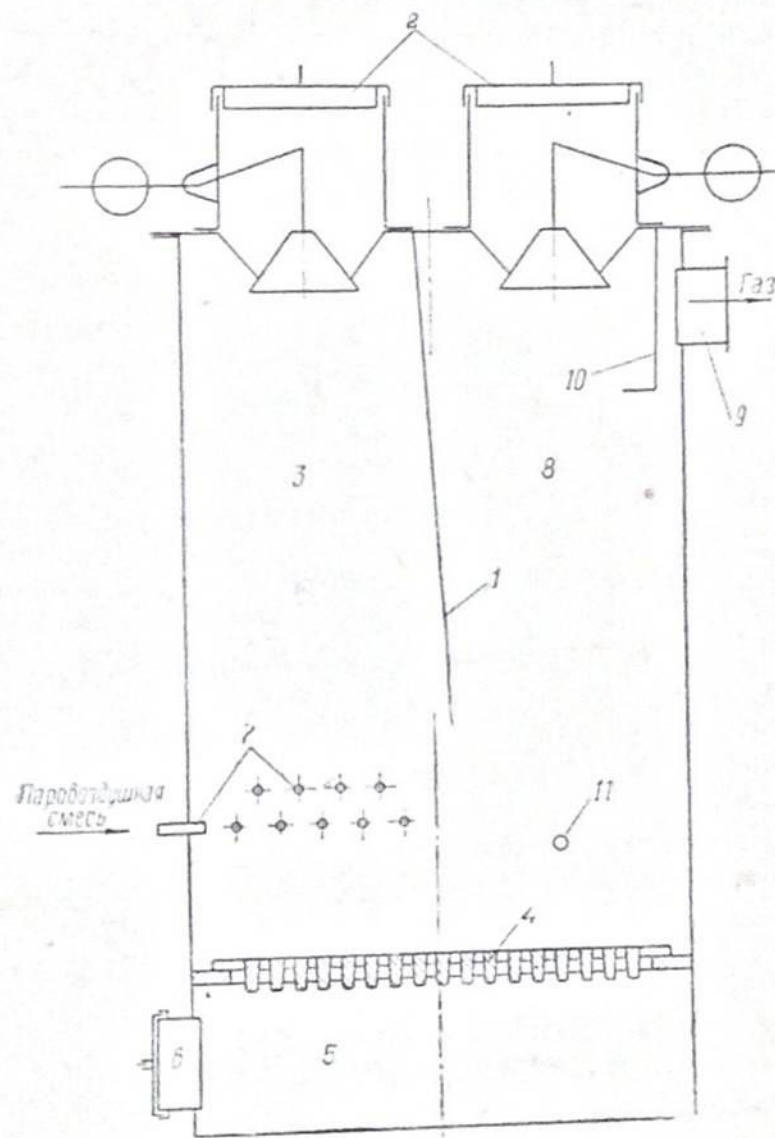


Рис. 8. Схема универсального газогенератора для получения бессмоляного газа при газификации любого вида твердого топлива.

ного воздуха для сжигания газа при розжиге, чтобы накалил слой вспомогательного топлива, производится через трубу 11. Продукты газификации, нагретые до высокой температуры, проходя через слой вспомогательного топлива, находящегося в правой части 8, нагревают его в нижней части до раскаленного состояния.

Парообразные продукты сухой перегонки топлива — спирт, кислота, фенолы и др., проходя через раскаленный вспомогательного топлива, будут разлагаться на газообразные компоненты, а последние вместе с продуктами газификации отводятся через патрубок 9.

Зола и шлак периодическим встряхиванием подвижных колосников проваливаются в зольник, откуда удаляются.

ГЛАВА IV

СОСТАВЛЯЮЩИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА И ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Из ознакомления с термодинамическими изменениями древесного топлива в процессе газификации уже известно, что генераторный газ состоит из горючих и негорючих компонентов. К горючим компонентам относятся — CO , H_2 , CH_4 и C_nH_m , к негорючим — CO_2 , N_2 и H_2O . От качества генераторного газа зависит тепловой эффект, который можно получить при сжигании. Рассмотрим основные физико-химические характеристики компонентов генераторного газа.

§ 7. Горючие компоненты газа

1) Окись углерода (CO) — бесцветный газ, без запаха. Молекулярный вес 28. Плотность по отношению к воздуху при 0°C и 760 мм рт. ст. 0,967. 1 л окиси углерода при нормальных условиях весит 1,25 г. В древесном генераторном газе окиси углерода содержится от 12 до 23%. Теплотворность окиси углерода 3045 ккал/м³. Теоретическое количество воздуха, требуемое для сжигания 1 м³ окиси углерода, равно 2,39 м³. Средняя удельная теплоемкость при постоянном давлении (1 ат.) при $+18^\circ\text{C}$ — 0,251 ккал/кг⁰C. Высшая скорость воспламенения смеси с воздухом 33 см/сек., с кислородом 110 см/сек. Предел взрываемости при смешении с воздухом от 12,8 до 75%. Содержание окиси углерода в воздухе в количестве 0,34% смертельно для человека.

2) Водород (H_2) — бесцветный газ, без запаха и вкуса, молекулярный вес 2,0156. 1 л водорода при 0°C и 760 мм рт. ст. весит около 0,0899 г. Удельный вес водорода (по воздуху) при 0°C и 760 мм рт. ст. равен 0,06952. Содержание водорода в древесном генераторном газе составляет от 11,0 до 18,0%. Теплотворность водорода: высшая 3048 ккал/м³, низшая 2580 ккал/м³.

Теоретическое количество воздуха, необходимое для сжигания 1 м³ водорода, равно 2,39 м³.

Удельная теплоемкость при постоянном давлении $C_p = 3,408$ ккал/кг⁰C. Температура пламени водорода 2182°C . Предел взрываемости при смешении с воздухом от 4,15 до 75%. Высшая скорость воспламенения: смеси с воздухом 267 см/сек., смеси с кислородом 890 см/сек. Высокие скорости воспламенения водорода имеют весьма существенное значение; по сравнению с углеводородными газами и окисью углерода водород обладает значительно лучшими свойствами, как горючий газ, и его присутствие в промышленных газах повышает их качество при сжигании в газовых горелках.

3) Метан (CH_4) — бесцветный газ, в чистом состоянии с слегка чесночным запахом. Молекулярный вес 16,03. Плотность метана по воздуху — 0,5544. 1 л метана при 0°C и 760 мм рт. ст. весит 0,717 г. Содержание метана в генераторном газе от 0,6% до 3,5%. Теплотворность метана: высшая 9527 ккал/м³, низшая — 8520 ккал/м³. Теоретическое количество воздуха, требуемое для сжигания 1 м³ метана, равно 9,54 м³. Теплоемкость метана при 0°C : при постоянном давлении $C_p = 0,531$ ккал/кг⁰C, при постоянном объеме $C_v = 0,406$ ккал/кг⁰C.

Пределы взрываемости: с воздухом от 5,35 до 14,9%, с кислородом от 5,0 до 59,0%.

Температура воспламенения смеси с воздухом $680-750^\circ\text{C}$, с кислородом $600-700^\circ\text{C}$. Высшая скорость воспламенения смеси метана с воздухом 35 см/сек., с кислородом — 330 см/сек.

4) Высшие углеводороды (C_nH_m) содержатся в генераторном газе в незначительных количествах, порядка 0,2%. В ряде случаев высшие углеводороды даже не определяют при анализе, относя их условно к метану.

§ 8. Негорючие компоненты газа

1) Углекислый газ (CO_2) — бесцветный газ с едва ощутимым запахом, растворяется в воде со слабым кислотным вкусом. Молекулярный вес — 44,0. Плотность по воздуху при 0°C и 760 мм рт. ст. равна 1,529. 1 л углекислого газа при нормальных условиях весит 1,977 г. Содержание углекислого газа в генераторном газе может колебаться примерно от 5,0 до 12,0%.

2) Азот (N_2) — инертный газ без цвета, запаха и вкуса. Молекулярный вес 28,016. Плотность по воздуху при 0°C и 760 мм рт. ст. равна 0,967, а 1 л азота при тех же условиях весит около 1,25 г. Содержание азота в генераторном газе колеблется примерно от 48 до 55%.

3) Водяной пар (H_2O) — всегда содержится в генераторном газе, даже при газификации воздухом таких маловлажных топлив, как антрацит. Содержание водяного пара в древесном

генераторном газе может колебаться в значительных пределах так как зависит от первоначальной влажности твердого топлива, температурного режима и схемы процесса газификации. Влагосодержание охлажденного и осушенного газа зависит от температуры газа и соответствует полному насыщению при данной температуре. Влагосодержание насыщенного газа в зависимости от температур приведено ниже в табл. 17.

ГЛАВА V

КОНСТРУКЦИИ НЕКОТОРЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ ПРЯМОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

§ 9. Газогенератор цилиндрической формы большой производительности

В СССР большие газогенераторы для газификации щепы впервые были установлены в 1930 г. на стекольном заводе „Белый Бычок“.

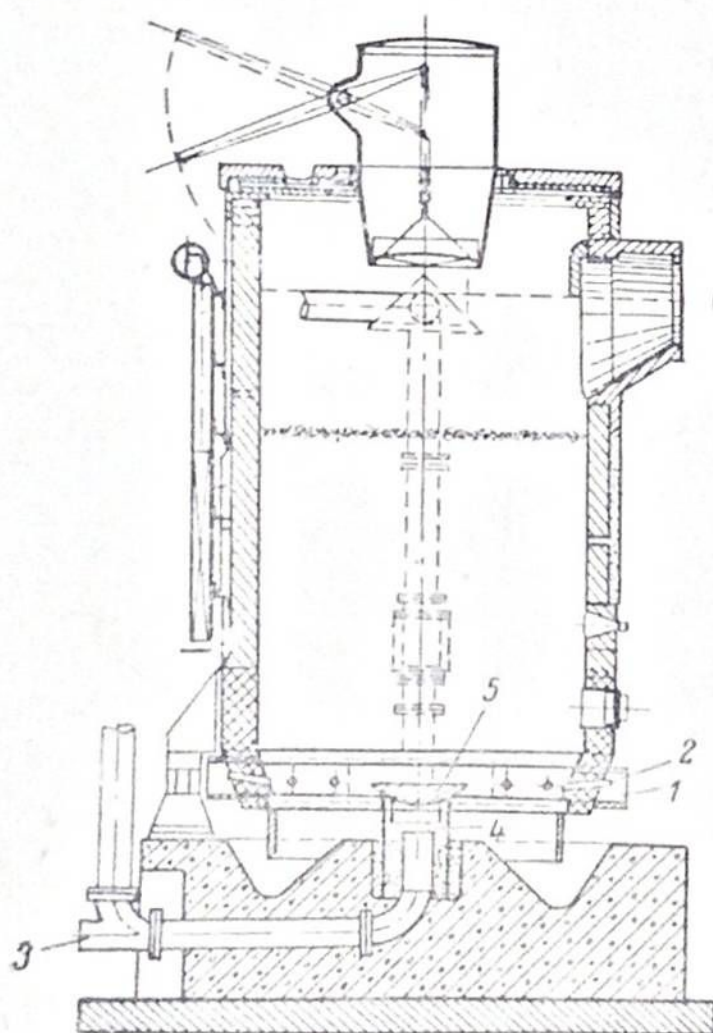


Рис. 9. Стационарный газогенератор прямого процесса для газификации щепы.

Кроме того, видно из рис. 9, в газогенераторе предусмотрен периферийный и центральный подводы воздуха. Периферийный подвод воздуха осуществляется кольцевой железной коробкой 1 и 16 фурмами, расположенными вниз в конусной части генератора. В центр воздуха поступает по чугунной трубе 3 и распределяется по сечению специальным устройством, состоящим из чугунного кольца 4 и сферической чаши 5. Диаметр газогенератора равен 3,0 м, газифицирует 30—40 т щепы в сутки.

Показатели газификации древесной щепы в цилиндрическом газогенераторе Стеклозавода диаметром 3,0 м с ручным золоудале-

нием по данным ВНИГИ следующие. Газифицирует 25 т/сутки, считая на абсолютно сухую древесину. Интенсивность газификации 150 кг/м² час на абс. сухое топливо. Время пребывания топлива в газогенераторе 2,9 час.

При влажности щепы $W^p = 30,0$ получен следующий средний состав сухого газа в процентах по объему:

CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m	N ₂
6,8	0,5	28,5	15,0	2,6	0,4	46,2

Низшая теплотворность $Q_n^r = 1510$ ккал/м³.

Высшая теплотворность $Q_b^r = 1610$ ккал/м³.

Выход газа $V^r = 1,4$ м³/кг.

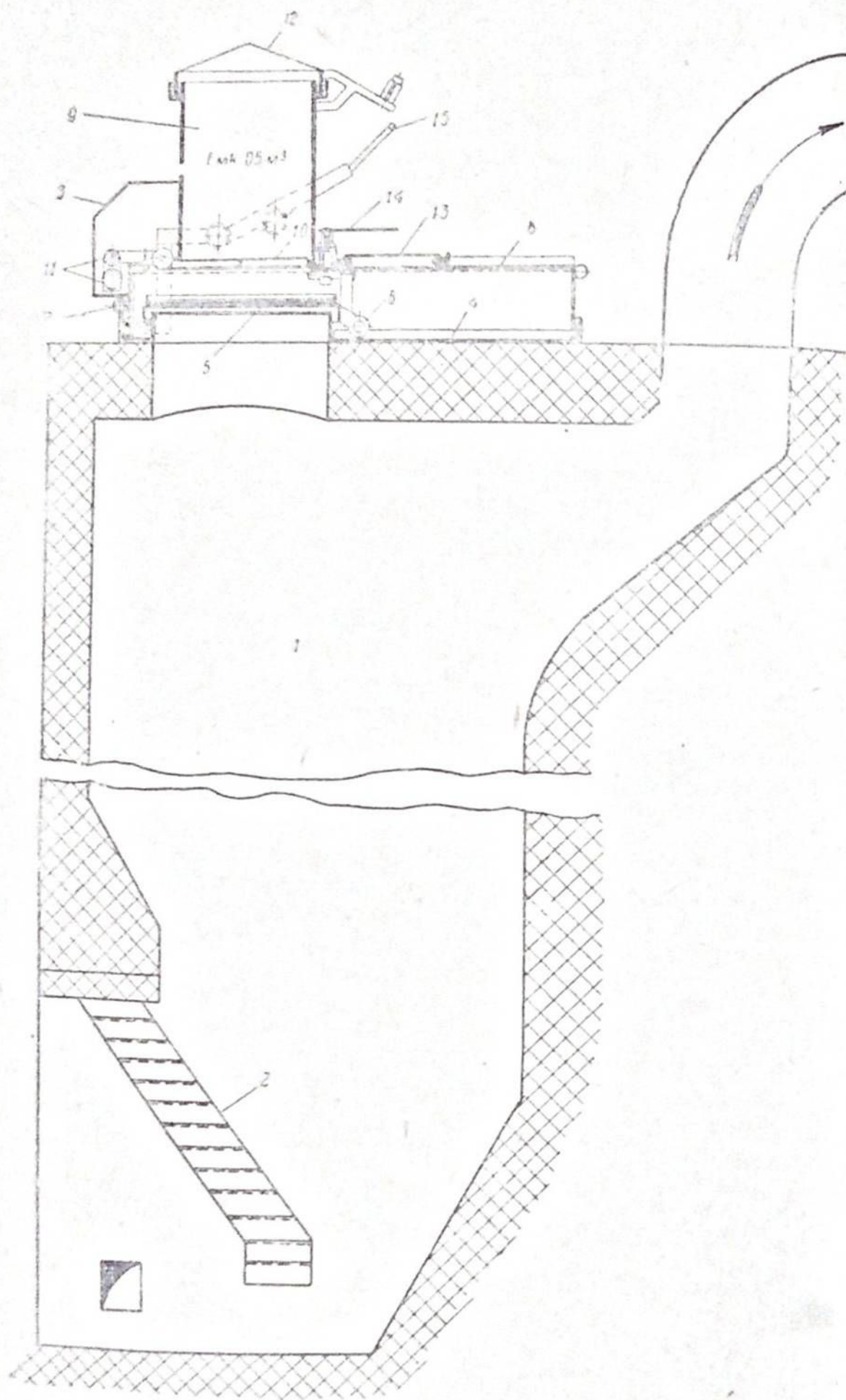
Содержание смолы 42 г/м³.

§ 10. Газогенератор призматической формы

На рис. 10 изображен стационарный газогенератор прямого процесса, шахта или камера газификации 1 которого прямоугольной формы и выложена из кирпича.

Конструктивными особенностями газогенератора является ступенчатая решетка 2 и загрузочная коробка 3 конструкции В. А. Воробьева с двойным гидравлическим затвором. Уклон решетки способствует сдвигу топлива по мере его выгорания. Если уклон решетки больше угла естественного откоса топлива, оно само сползает по мере выгорания. Наклон колосников, увеличивая поверхность и живое сечение решетки по сравнению с горизонтальной, уменьшает скорость входа воздуха и гидравлическое сопротивление газогенератора. Ступенчатые колосники позволяют газифицировать мелкое топливо, дающее большой провал при горизонтальных колосниках, что имеет значение при работе на отходах лесопиления, содержащих опилки.

Загрузочное устройство — коробка конструкции мастера В. А. Воробьева — состоит из следующих основных деталей: нижней рамы 4, в которой для прохода топлива имеется горловина, закрываемая крышкой 5; в раме по обоим продольным краям и в середине до горловины приварены направляющие для роликов 6 и катка 7; верхней рамы 8, на которой монтируется загрузочный бункер 9, имеющий откидное днище 10 с противовесом 11 и крышка 12. Кроме того, на верхней раме имеется люк для осмотра механизма с крышкой 13.



Во избежание преждевременного открытия откидного днища 10 в коробке имеется замок 14, который заблокирован также с механизмом крышки 5 люка нижней рамы 4.

Загрузка топлива производится следующим образом. Открыв крышку бункера 12, заваливают топливо в бункер 9, затем закрывают крышку 12. Нажатием на рукоятки 15 поднимают крышку люка нижней рамы 5 и отводят ее вправо в пространство между верхней и нижней рамами. Отводят в сторону рукоятку замка 14, после чего под действием веса топлива днище бункера 10 откидывается и топливо через открытую горловину нижней рамы опускается в газогенератор. После провала топлива днище 10 под действием пружин 11 закрывается. Сначала поворачивают обратно рукоятку замка 14, затем устанавливают на свое место крышку 5 люка нижней рамы 4. Попадание воздуха в газопровод при загрузке топлива исключено, так как в нижней раме по всему периметру соединения ее с верхней рамой имеется гидравлический затвор. Гидравлический затвор имеется также и в крышке бункера.

ЛенНИЛХИ проведены сравнительные исследования газификации дров и щепы по прямому процессу, а также выявлено влияние размеров щепы на выход газа, смолы и кислоты.

Данные полученные при указанных исследованиях приведены в табл. 7 и 8.

Таблица 7

Наименование показателей	Размерность	Щепа 25—100 мм	Дрова длиной 750 мм
Интенсивность газификации по абс. сухому топливу	кг/м ² час	315	90
Время нахождения древесины в газогенераторе	час	2—3,5	8—12
Температура газа на выходе	°С	78	150—200
Выход на абс. сухую древесину:			
газа	нм ³ /кг	1,84	2,02
смолы	%	11,6	9,6
кислоты	%	2,5	2,1
Теплотворность сухого газа высшая	ккал/нм ³	1745	1540
Кпд газогенератора по газу	%	67	60,8
Кпд по газу + смола + кислота	%	86,6	76,4

Из табл. 7 видно, что при применении щепы интенсивность газификации была в 3,5 раза больше, чем при газификации дров.

Несмотря на то, что нагрев дров происходил медленнее, чем нагрев щепы, и продолжался в 3,5—4 раза дольше, выход смолы и кислоты был даже несколько меньше, чем при газификации щепы. Хотя и имел место более быстрый нагрев

Рис. 10. Стационарный газогенератор прямого процесса с наклонной решеткой.

щепы, все же выход газа был на 0,25 нм³/кг меньше, чем при газификации дров, но при этом теплотворность газа была 200 ккал/нм³, а кпд газогенератора по газу на 6,2% выше.

Измельчение щепы по длине волокон вызывает увеличение выхода побочных продуктов газификации, что видно из данных, приведенных в табл. 8.

Таблица

Размеры щепы по длине волокон, мм	Выход на 1 кг абс. сухой древесины, %		
	смолы	кислоты	спирта и других органич. соединений
70	23,5	2,9	3,3
38	26,9	4,1	3,1
21	31,0	4,2	3,3

Измельчение щепы поперек волокон также увеличивает выход смолы.

Согласно производственным нормам, принятым Всесоюзным совещанием в 1940 г. при газификации древесной щепы влажностью 30% интенсивность процесса может быть 420-520 кг/м² час. При высоте слоя топлива равном 5 м и температуре паровоздушной смеси 45-48°С состав сухого очищенного газа характеризуется следующими величинами: СО₂ — 6,5%, СО — 29,0%, СН₄ — 3,4%, Н₂ — 14,0%, О₂ — 0,2%, N₂ — 46,9%.

Теплотворность газа низшая — 1540—1560 ккал/нм³.

Выход газа — 1,3 нм³/кг, выход смолы — 9,0%.

Кпд газификации по газу — 0,67.

§ 11. Газогенератор цилиндрической формы средней производительности

На рис. 11 изображен газогенератор прямого процесса цилиндрической формы, выложенный внутри футеровкой. Диаметр камеры газификации 1 в свету равен 780 мм. Расстояние от решетки 2 до газоотводного канала 3 равно 1,9 м, максимальная высота слоя топлива равна 1,7 м. Для очистки зольника имеется люк 4, а для замены колосников и полной очистки газогенератора от топлива служит люк 5. Для устройства сводов предусмотрены шуровочные отверстия 6 с прокладками. Загрузка топлива производится через люк бункера, снабженного внизу вторым затвором колокольного типа. Отвод газа производится через патрубок 9. Для удобства загрузки топлива газогенератор углублен ниже пола на 1860 мм.

Испытания такого газогенератора показали, что он по своей производительности обеспечивал питание газом трех термических камерных печей с площадью пода 2,1 м² каждая. В час газифицировалось от 90 до 263 кг, считая на абсолютно сухую древесину, при этом интенсивность газификации составляла от 191 до 560 кг/м² час (на абсолютно сухую массу древесины).

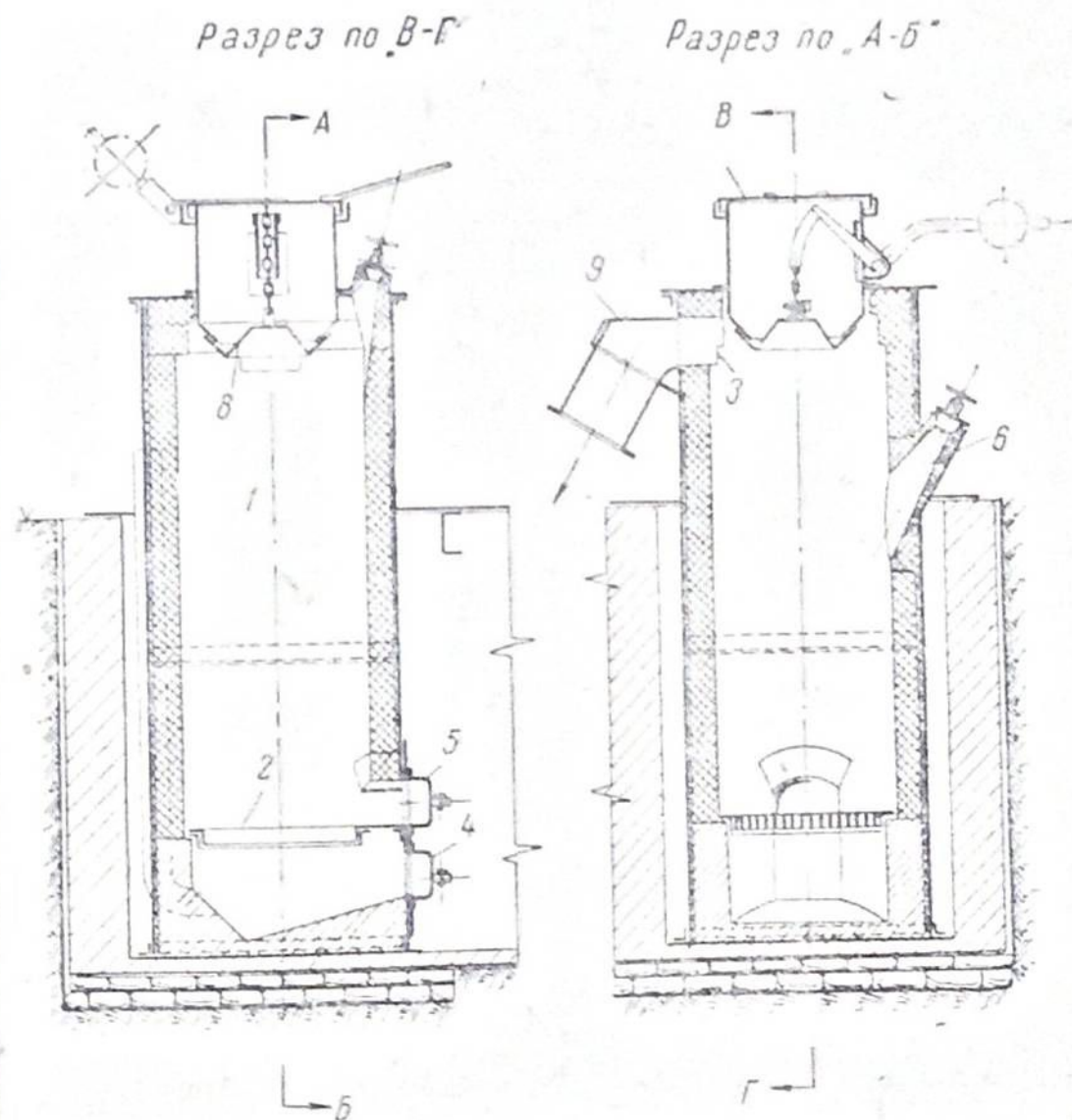


Рис. 11. Стационарный газогенератор прямого процесса для газификации древесных чурок.

Эксплуатация газогенератора происходила на древесных чурках размерами 100×80×80 мм. Влажность древесных чурок колебалась от 25 до 46% (отн.).

Изменение интенсивности газификации с 287 до 560 кг сухой древесины на 1 м² час при влажности чурок 43% заметного влияния на теплотворность газа не оказало. Гидравлическое сопротивление газогенератора составляло 25—30 мм вод.

ст. Расход воздуха для газификации 1 кг абсолютно сухой древесины колебался от 0,65 до 1,49 м³ и в среднем составил 1,21 м³. Выход сухого газа при этом составлял 1,98 м³/кг сухой древесины.

Газогенератор был установлен вблизи печей. Газопровод между газогенератором и печами был изолирован асбестовым картоном. Падение температуры газа в трубопроводах составляло 1—3°С/пог. м; конденсации паров и уксусной кислоты при влажности чурок до 40% не наблюдалось. В газопроводах и тарельчатых клапанах отлагалась смола.

Эксплуатационные показатели газогенератора приведены в табл. 9.

Таблица 9

Влажность чурок, %	Высота слоя топлива, м	Время нахождения топлива, час.	Интенсивность газификации, кг/м ² час ¹	Состав сухого газа, %						Теплотворн. сухого газа низш. ккал/м ³	Температура газа на выходе, °С	Влажность газа г/м ³
				CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂			
43,0	1,5	1,6	287 508	9,1	0,3	26,1	4,4	1,6	58,5	1067	163	364
43,0	1,7	1,73	326 578	9,2	0,6	25,3	5,0	3,3	56,6	1181	109	374
45,0	1,7	1,81	287 520	9,6	0,2	24,5	4,7	3,4	57,6	1159	116	440

Расчетные характеристики генераторного газа, получаемого из древесного топлива различной влажности и крупности кусков, в газогенераторах прямого процесса приведены в табл. 10, а показатели натурных испытаний некоторых типов стационарных газогенераторов прямого процесса приведены в табл. 11.

¹ В числителе интенсивность газификации отнесена к абсолютно сухой древесине, а в знаменателе к рабочему топливу.

Таблица 10

Наименование	Размерность	Шепа 75 × 75 × × 15 мм		Чурки		Дрова	
		l = = 200 мм	∅ = = 120 мм	l = 1 м	∅ = = 150 мм	l = 1 м	∅ = = 150 мм
Влажность относит.	%	40	25	40	25	40	25
Интенсивность газификации по рабоч. топлив.	кг м ² час	350—450		300—400		150— 200	200— 250
Высота слоя топлива	мм	3000	2500	4000	3000	5000	4000
Выход сухого газа с 1 кг рабочего топлива	м ³ /кг	1,2	1,5	1,3	1,6	1,3	1,6
Состав сухого газа:							
CO ₂	%	7,0	5,0	3,5	6,0	9,0	8,5
CO	%	28,0	28,0	27,0	29,0	25,0	27,0
CH ₄	%	3,6	3,6	3,4	3,4	3,2	3,4
H ₂	%	14,0	16,0	12,0	12,0	11,0	12,0
O ₂	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
N ₂	%	47,2	47,2	49,9	49,4	51,1	48,9
Теплотворность низшая:							
а) сухого газа	ккал м ³	1550	1600	1450	1500	1350	1450
б) рабочего газа	ккал м ³	1350	1550	1250	1450	1100	1350
Содержание влаги	г/м ³	450	300	400	250	375	225
Содержание смолы	г/м ³	60	60	40	40	30	30
Температура газа на выходе	°С	100	150	150	200	100	150
Расход воздуха	м ³ /кг	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0

Таблица II

Наименование показателя	Размер кусков топлива			
	Чурки		Щепа 60—70 мм	Дрова длиной 1000 мм крупной колки
	250 × × 80 × × 80 мм	100 × × 80 × × 80 мм		
1. Характеристика газогенератора	Сечение круглое, диаметр решетки 0,65 м	Сечение круглое диаметр 0,78 м	Сечение круглое диаметр 3,0 м	Сечение прямоугольное Площадь решетки 2,7 м ²
2. Характеристика дутья	Воздушное	Воздушное	Паровоздушное	Паровоздушное
3. Влажность топлива относит. W ^p	24,5	45	30	20—45
4. Средний состав сухого газа:				
CO ₂ %	8,8	9,6	6,8	8,2
CO %	27,8	24,5	28,5	28,6
CH ₄ %	3,2	3,4	2,6	3,9
C ₂ H ₂ %	0,6	—	0,4	—
H ₂ %	10,0	4,7	15,0	18,3
O ₂ %	0,3	0,2	0,5	0,5
N ₂ %	49,3	57,6	46,2	40,5
5. Теплотворность сухого газа, Q _н ^p ккал/м ³	1465	1160	1530	1675
6. Высота слоя топлива, м	3,2	1,7	—	—
7. Время нахождения топлива в генераторе, час	—	1,8	2,5	8,0
8. Температура газа на выходе, °C	380	115	120	120
9. Влажность газа, г/м ³	276	400	—	—
10. Интенсивность газификации на абсолютно-сухую древесину, кг м ² час	400	290	150	200
Источники материалов— данные натурных испытаний	РИИЖТ	Завод	ВНИИЖТ	ВНИИЖТ

Средние
эксплуатационные
данные
завода

ГЛАВА VI КОНСТРУКЦИИ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ ОБРАЩЕННОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

§ 12. Газификация древесного топлива в газогенераторе РИИЖТа¹

Получение бессмольного газа при газификации смолистых топлив (дрова, торф) представляет практический интерес не только для силовых (стационарных и транспортных) установок. Бессмольный генераторный газ является более экономичным и в тех случаях, когда полученная при газификации топлива по прямому процессу смола не утилизируется как химическое сырье, когда в нагревательные и другие печи подается для сжигания как горячий, так и охлажденный очищенный газ. Для получения бессмольного газа топливо газифицируют обычно по обращенному процессу. Однако газогенераторы обращенного процесса на древесном топливе пока еще не нашли широкого применения в газопечных установках по следующим основным причинам. При газификации крупных поленьев (длиной 0,5—1,0 м), загруженных навалом, образуются протары и, как следствие этого, низкая теплотворность газа. Газификация щепы по обращенному процессу еще недостаточно освоена, а измельчение больших количеств дров на чурки вряд ли является рациональным, так как это сопровождается значительным повышением стоимости и потерей топлива в виде опилок.

В РИИЖТе проведено экспериментальное исследование газопечных установок малой мощности на некоторых видах твердого топлива. Опыты по газификации древесины велись по прямому, обращенному и двухзонному процессу. Испытания проводились на дровах смешанных лиственных пород влажностью 24—29% и длиной поленьев 200—300 мм в газогенераторе цилиндрической формы диаметром в свету равным 1000 мм.

В опубликованном отчете по испытаниям указывается, что при газификации дров пришлось вообще отказаться и от обращенного и от двухзонного процессов, так как получаемый газ имел пониженную теплотворность и в печах нельзя было поддерживать достаточно высокую температуру. Решено было применить прямой процесс газификации с отбором горячего газа из нижней части газогенератора. При этом происходило частичное разложение смол и печь оказалось возможным снабжать горячим газом.

Сопоставим составы газов, полученных в РИИЖТе при газификации древесного топлива по прямому и обращенному процессам. Средние составы сухих газов характеризуются следующими причинами, приведенными в табл. 12.

¹ Ростовский Институт инженеров железнодорожного транспорта.

Таблица

Наименование процесса	Состав газа в % по объему							Теплотворность низшей ккал/м ³
	CO ₂	CO	CH ₄	C _m H _n	H ₂	O ₂	N ₂	
Обращенный . . .	16,18	13,81	3,03	0,36	13,26	0,35	53,01	1070
Прямой	9,84	25,50	3,03	0,67	9,80	0,36	50,80	1385

Сравнение эффективности процессов газификации только по значениям теплотворности полученного газа является недостаточным и может привести к неправильным выводам.

Как видно из табл. 12, низшая теплотворность газа обращенного процесса примерно на 30% меньше теплотворности газа прямого процесса. Сравнение сумм компонентов, содержащих углерод, показывает, что в 1 м³ газа обращенного процесса указанных компонентов на 17% меньше, чем в газе прямого процесса, следовательно, и выход газа с рабочего топлива будет на 17% больше при обращении в процессе. При сжигании горячего неочищенного газа следует учитывать также и физическое тепло. Так как температура газа при выходе из камеры газификации газогенераторов обращенного процесса всегда выше температуры газа на выходе из генераторов прямого процесса, то с учетом физических потерь тепла газа кпд газогенераторов будут почти одинаковыми даже если учесть и теплотворность незначительных количеств смолы, которые в данном случае получались при прямом процессе.

Наконец, следует рассмотреть причины, определяющие данный состав газа обращенного процесса, чтобы выявить являются ли эти причины общими, характеризующими схему процесса или условия, в которых проводился эксперимент. При произвольной загрузке в газогенератор дров длиной 200—300 мм они укладываются неравномерно, образуя свободные зазоры. Подвод воздуха через 12 фурм диаметром 30 мм, расположенных по окружности, конечно не мог обеспечить равномерное распределение воздуха по сечению. При указанных условиях часть газа, по видимому, догорала в самом генераторе, что подтверждается отношением $CO : CO_2 = 13,81 : 16,18 = 0,85$. При правильном ведении процесса газификации при влажности дров 25% в автотракторных и судовых газогенераторах отношение $CO : CO_2 = 1,7 - 2,0$, при этой теплотворности сухого газа составляет около 1200 ккал/м³. При произвольной загрузке дров, диаметре камеры газификации равном 1000 мм и периферийном подводе воздуха, боковой газ вряд ли можно получить по обращенному процессу.

§ 13. Некоторые особенности газификации швырка по обращенному процессу

Трудности, встретившиеся при первых попытках газифицировать дрова длиной 300—500 мм — застревание поленьев в бункере, неравномерное горение и газообразование, повышенное измельчение угля в камере газификации, казались непреодолимыми.

Трудности действительно вызываются удлинением кусков древесного топлива при переходе от чурок к швырку, так как при этом уменьшается более активная торцевая поверхность. Загрузка древесных чурок в газогенератор производится мешками, корзинами и пр. Как бы плотно ни слеживались отдельные чурки между собой, все же слой топлива в целом получается довольно рыхлым. Однако и при древесных чурках для диаметров камер газификации в 300—400 мм не при любых скоростях и пористости слоя периферийный подвод воздуха обеспечивает равномерное горение по всему сечению, что приводит к образованию в центре непрогорающего слоя и возможности попадания смолы в газ.

Подвод воздуха в газогенератор и его равномерное распределение по сечению при переходе от древесных чурок к швырку усложняется.

Попытки газификации длинных дров в газогенераторах цилиндрической формы при произвольной их загрузке или путем связывания мелких пучков шпагатом не дали положительных результатов. Дрова застревали, заклинивались в бункере, а образовавшиеся своды с трудом разрушались даже при шуровке ломом. Необходимо было организовать загрузку дров в газогенератор так, чтобы добиться плавного и равномерного опускания их в камеру газификации. Опыт Центрального научно-исследовательского института речного флота (ЦНИИРФ) показывает, что плавная подача топлива в камеру газификации может быть осуществлена двумя способами:

- а) горизонтальной укладкой дров полено к полону в случае прямоугольной формы сечения бункера и камеры газификации;
- б) вертикальной загрузкой вязанок дров, одновременно по всему сечению бункера в случае круглой формы сечения камеры газификации.

В обоих случаях дрова поступают в камеру в довольно плотной укладке, что значительно уменьшает величину свободной поверхности между кусками топлива и затрудняет проникновение воздуха в центр.

При вертикальной загрузке дров, поленья, попадая в зону высоких температур торцами, быстро подсушиваются, обугливаются и воспламеняются с нижнего торца. Нагрев, подсушка и обугливание распространяются вдоль поленьев вверх, по мере

их опускания в зону горения. Зазоры между поленьями, образовавшиеся вследствие разной скорости распространения огня вдоль поленьев, способствуют проникновению воздуха в камеру газификации.

При прямоугольной форме газогенератора проникновение воздуха в центр более затруднено. Воздух, выходящий из фурм, ударившись о ближайшее полено, меняет свое направление и устремляется вдоль стенки к месту отбора газа. Горение поленьев начинается с боковых поверхностей с образованием тонкой шейки и последующего излома в средней части. Неравномерное распределение воздуха по сечению ведет к образованию низкокалорийного периферийного газа, при котором возможно неполное разложение паров смолы.

Предварительный подогрев воздуха, подготовка — подсушка топлива до зоны горения, а также аккумуляция тепла фурмой самой камеры ускоряют процесс газификации швырка и являются необходимым условием для нормального протекания процесса газообразования.

Опыт эксплуатации газогенераторов конструкции ЦНИИРФ доказал возможность получения бессмольного газа при газификации швырка любых пород. Отсюда следует, что с уменьшением кусков при переходе от чурок к швырку, хотя уменьшается величина свободной и активной поверхности топлива, однако это не лимитирует процессы сушки и сухой перегонки в зоне высоких температур и в зоне горения. Химический анализ древесного генераторного газа не выявил различия в составе и теплотворности газа при газификации чурок и швырка одной и той же влажности.

§ 14. Конструктивное устройство газогенератора ЦНИИРФ-12

Газогенератор ЦНИИРФ-12, изображенный на рис. 12, разработан в 1940 году по нашему авторскому свидетельству. По своей производительности он рассчитан для газификации 60—70 кг дров в час.

Газогенератор имеет цилиндрическую форму, он изготовляется из листовой углеродистой стали толщиной 2—5 мм. По высоте имеются три фланцевых разъема, из которых один в бункере 1, другой соединяет между собой подвесную часть камеры газификации 2 посредством плиты с кожухом нижней газовой камеры. Последним зольник крепится к средней части газогенератора. Бункер цилиндрической формы диаметром 500 мм и высотой 1375 мм.

Отфланцованная часть крышки входит в уплотнительную канавку и прижимается с помощью пружины 5 из рессорной стали, которая с одной стороны шарнирно крепится к бункеру, а с другой скобой накидывается на крюк 6 с регулировочным винтом.

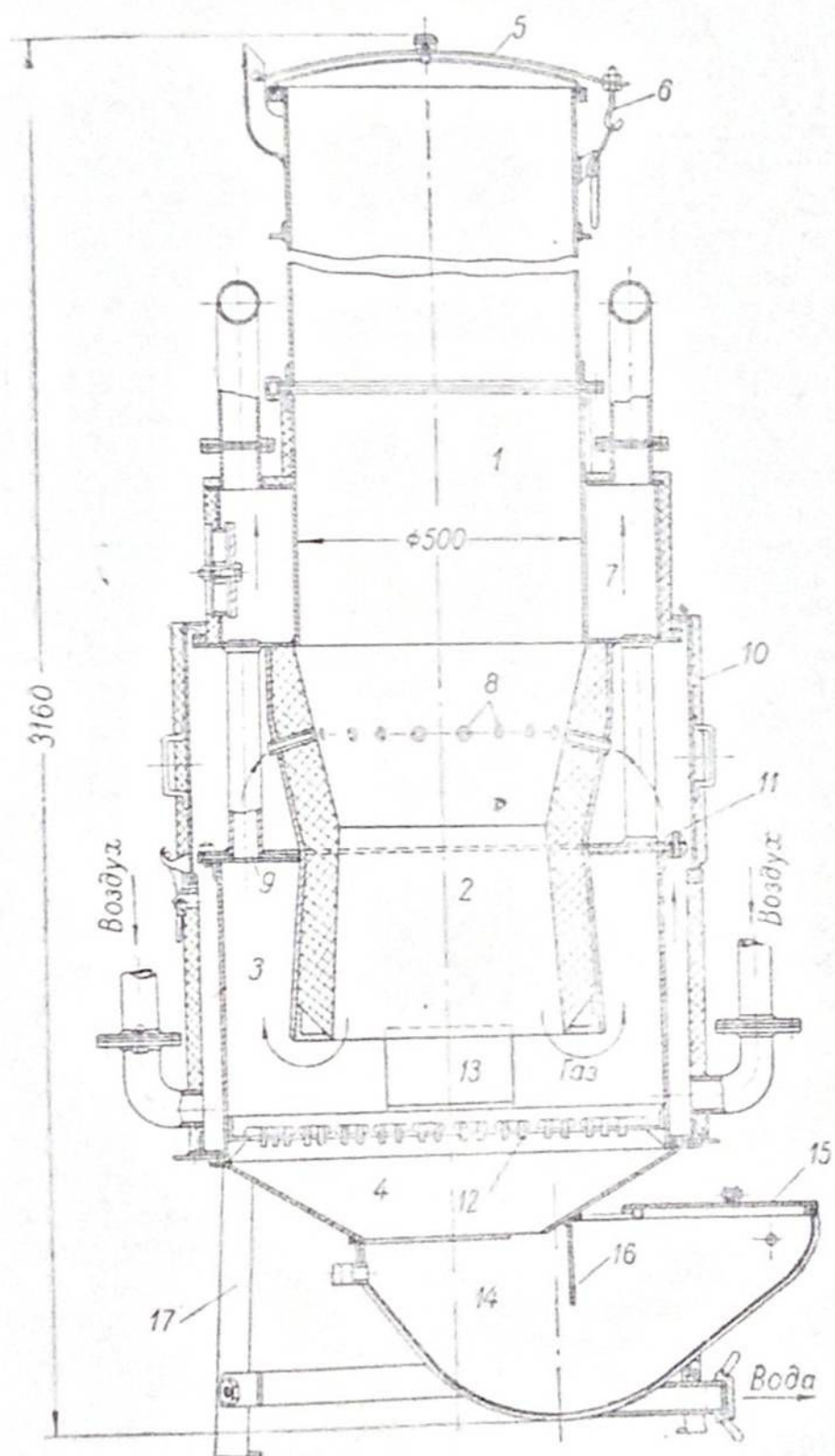


Рис. 12. Газогенератор ЦНИИРФ-12.

ными гайками, которые позволяют изменять натяжение жины. Для создания большей герметичности крышки — в ней части бункера имеется канавка, уплотняемая асбестом. В крышке бункера имеется лючок для замера высоты топлива в газогенераторе. Нижняя часть бункера является внутренним кожухом газовой коробки 7.

Съемный наружный кожух газогенератора 10 представляет собой цилиндр, изготовляемый из 2-мм стали, по высоте имеет два разъема. Верхняя часть кожуха, предназначенная для осмотра наиболее нагретых частей газогенератора во время работы, крепится с помощью трех замков, аналогично крышке бункера. Нижняя часть кожуха крепится болтами к плите зольника и в случае надобности осмотра или ремонта может быть легко снята без нарушения остальных узлов газогенератора.

Для уплотнения верхнего кожуха служат кольцеобразные канавки, набитые порошкообразным асбеститом. Для удобства поднятия кожуха предусмотрены две ручки. В нижней части кожуха приварены два патрубка для крепления воздухоподводящих труб.

Камеру газификации образуют два усеченных сваренных меньшими сечениями конуса, которые изнутри выложены огнеупорным шамотным кирпичом. Футеровка расположена на кольцеобразном угольнике, приваренном к нижней части конуса. Угол наклона верхнего конуса выбран так, чтобы загружаемые дрова несколько задерживались около фурмы, в зоне горения. Обугленные и измельченные куски топлива опускаются в нижнюю часть, объем которой увеличивается по направлению к решетке. К нижнему конусу топливника приварена плита, которая опирается на фланец наружного кожуха. В верхний конус вварены воздушные фурмы.

С целью уменьшения толщины воздушного слоя и увеличения подогрева воздуха, наружный кожух почти вплотную прилегает к фланцу, а для прохода воздуха в болтах 11 сверлены отверстия.

Для равномерного отбора газа из кольцеобразного пространства и подогрева воздуха служат трубки 9, которые с одной стороны приварены к плите, а с другой к газовой коробке бункера. В нижней части газогенератора расположен зольник, который состоит из двух частей: верхнего конуса и выгнутой трубы 14 квадратного сечения. Труба в конце закрывается крышкой 15 с уплотнением. Во избежание попадания воздуха в газогенератор во время чистки зольника при работе, в трубе вварена пластина 16, образующая водяной затвор при заданном уровне воды в зольнике перед открыванием крышки лючка. Имеется контрольный пробный краник.

В верхней части зольника находится чугунная решетка 12, состоящая из восьми секций. Для удобства

замены отдельных секций решетки предусмотрен лючок 13, расположенный над колосниковой решеткой. Кольцо из уголкового железа, на котором лежат секции, приваривается к кожуху зольника, а для придания большей прочности — под кольцом приварены ребра жесткости.

Газогенератор крепится к фундаменту посредством четырех стоек 17 из углового железа, приваренных к плите зольника.

Схема действия газогенератора. Топливо — дрова швырок размером $500 \times 65 \times 65$ мм, предварительно плотно уложенные в кольцо, загружаются в верхнюю часть газогенератора — бункер. Из бункера дрова под действием силы тяжести опускаются вниз по мере газификации нижних слоев. При полной загрузке газогенератора топливом до уровня фурм укладывается 4 вязанки, что составляет примерно 2-часовой запас при работе на максимальной производительности. Топливо во время пребывания в верхней части бункера незначительно нагревается и подсушивается. Интенсивный нагрев поленьев, прилегающих к стенке бункера, происходит в последние 30 минут до поступления в зону горения, за счет физического тепла генераторного газа, проходящего через газовую коробку. При этом из дров, находящихся над фурмами, выделяются не только пары воды, но и часть газообразных летучих.

Воздух, необходимый для газификации в судовых условиях, засасывается в газогенератор под влиянием разрежения, создаваемого двигателем. В газопечных установках при сжигании горячего неочищенного газа воздух может нагнетаться вентилятором, а при сжигании охлажденного газа после скруббера должна быть установлена газодувка, которая будет нагнетать газ в печь. При наличии газодувки воздух будет засасываться в газогенератор под действием вакуума, создаваемого газодувкой. По двум трубам воздух подводится в нижнюю часть пространства, образованного съемным кожухом и наружной стенкой топливника. Затем через отверстия, высверленные в болтах, воздух подходит к фурмам, а пройдя фурмы попадает в камеру газификации. На своем пути воздух нагревается до $200-250^{\circ}\text{C}$ за счет тепла, отдаваемого газом через стенку топливника и газоотборные трубки.

Благодаря интенсивному подогреву воздуха и подсушке дров до зоны горения оказалось возможным добиться нормальной газификации дров влажностью до 40—45% (отн.).

Продукты газификации вместе с азотом воздуха и водяным паром при температуре $500-700^{\circ}\text{C}$ выходят из топливника и направляются в пространство, образуемое подвесной частью топливника и внутренним цилиндром газогенератора. Через газоотборные трубы газ поступает в газовую коробку, откуда отводится по трубам в скруббер для охлаждения и очистки или непосредственно к месту потребления.

Зола и угольная мелочь, провалившиеся сквозь колосниковую решетку, могут периодически удаляться зольника скребком во время работы в связи с наличием дьяного затвора. Механические примеси, увлекаемые газопотоком, выделяются в газовой коробке, откуда выгребаются через боковые лючки, часть отмывается при охлаждении газа.

При стендовых испытаниях газогенератора ЦНИИРФ-18 полуметровых дровах различной влажности получен состав газа, который в среднем характеризуется величинами, приведенными в табл. 13.

Таблица

Влажность дров, % (отн.)	Состав сухого газа в объемных %					Теплотворность газа, ккал/м ³		Выход хого газа, м ³ /ч работы топлив
	CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂	низшая	высшая	
20,0	10,6	20,9	1,9	15,5	51,1	1180	1290	2,1
23,0	10,6	19,9	2,1	14,5	52,9	1160	1250	2,1
38,0	13,0	16,7	2,0	16,4	51,9	1100	1200	1,7
40,0	15,6	13,0	2,4	15,9	53,1	1030	1110	1,68

§ 15. Конструктивное устройство газогенератора ЦНИИРФ-18

Газогенератор ЦНИИРФ-18, изображенный на рис. 13, прямоугольной формы предназначен для газификации полуровых дров при горизонтальной укладке полен.

Газогенератор состоит из трех основных частей:

1) Бункер 1 с двумя конденсационными камерами в стенках, обращенных к торцам полен.

2) Камера газификации 3, футерованная шамотом и кирпичом и ограниченная внизу колосниковой решеткой. Стенки камеры газификации, обращенные к торцам полен, отвесные, а стенки, обращенные к боковым поверхностям полен, вверху образуют сужение, а внизу расходятся, увеличивая сечение камеры. В суженной части расположены ряды фурмы 5. Снаружи фурмы выходят в верхнюю воздушную камеру 7. Нижняя часть камеры газификации и часть зольника снаружи окружены воздушной камерой 8.

3) Зольник 9, имеющий гидравлический затвор. В поддонах газогенератора предусмотрена труба 10 для подвода воздуха под решетку и труба 11 для отвода продуктов горения из бункера. Труба 11 служит одновременно для розжиг

топлива. В бункере имеется автоматический сигнальный указатель 12 наименьшей допустимой высоты уровня топлива.

Топливо — полуметровые дрова через верхний люк загружаются в бункер в горизонтальном положении и опускаются вниз под действием силы тяжести.

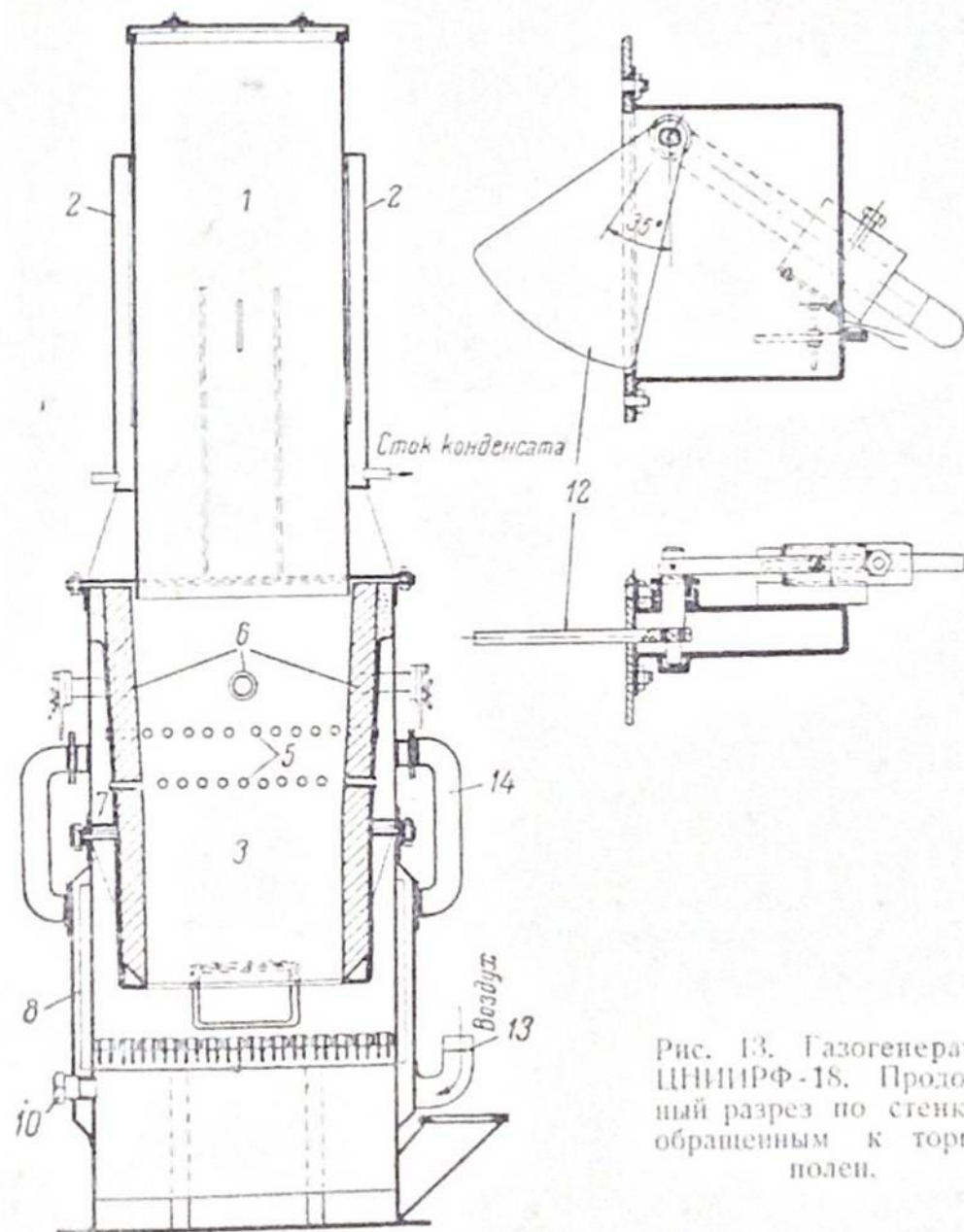


Рис. 13. Газогенератор ЦНИИРФ-18. Продольный разрез по стенкам, обращенным к торцам полен.

воздух нагнетается или засасывается через четыре трубы 13 в нижнюю часть воздушной камеры 8. При движении вверх воздух омывает стенку камеры газификации и нагревается за счет тепла генераторного газа. По восьми перепускным трубам 14 воздух подводится в предфурменную камеру 7, откуда через фурмы попадает внутрь камеры газификации.

Генераторный газ вместе с неразложившимся паром из камеры газификации отводится из слоя топлива над решеткой и направляется вверх к газоотборному патрубку и далее к месту потребления или в очистительно-очистительное устройство.

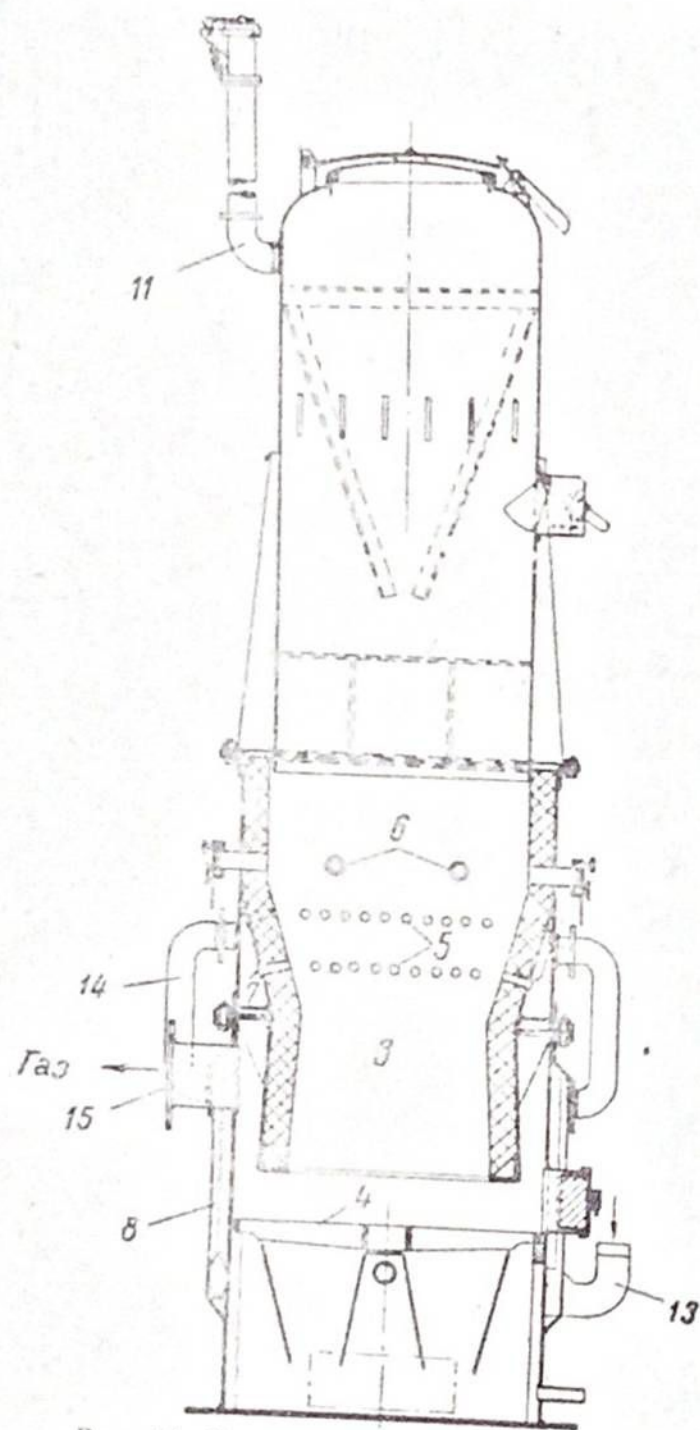


Рис. 14. Газогенератор ЦНИИРФ-18. Продольный разрез по стенкам, обращенным к боковым поверхностям полень.

Интенсивность газификации:

- а) отнесенная к сечению верхнего ряда фурм $315 \text{ кг/м}^2 \text{ ч}$
 б) отнесенная к сечению нижнего ряда фурм $465 \text{ кг/м}^2 \text{ ч}$

(верхняя цифра относится к абсолютно сухой древесине, а нижняя к влажности 30% отн.).

Минимальное сечение $500 \times 450 \text{ мм}$.

Число фурм — 76, диаметр фурмы — 8 мм.

Расстояние от нижнего ряда фурм до нижней кромки камеры газификации 500 мм.

Расстояние от нижней кромки камеры до решетки 125 мм.

Основные параметры судовых газогенераторов для газификации полуметровых дров зафиксированы в ГОСТ 5581-50.

Параметры этих газогенераторов могут быть перенесены в газопечные установки при создании индивидуальных стационарных газогенераторов, производительностью до 120 кг/час, считая на топливо влажностью 22% абс.¹ Интенсивность газификации, отнесенная к плоскости фурм, может быть принята равной $400-450 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$. Высота зоны газификации, считая от уровня фурм до места выхода газового потока из слоя топлива может составлять согласно ГОСТ 5581-50 от 400 до 500 мм для дров влажностью свыше 25%. Для газогенераторов производительностью до 60-70 кг/час рекомендуется цилиндрическая форма (круглое сечение), а при большей производительности призматическая форма (прямоугольное сечение).

Зола и угольная мелочь частично уносятся газопотоком и выделяются при очистке, а частично проваливаются в зольник 9. Очистка зольника производится через люк по необходимости при действующем газогенераторе, благодаря наличию гидравлического твора.

Конструктивные расчетные характеристики газогенератора

Производительность по газифицируемому топливу:

а) на абсолютно сухую массу 100 кг/ч

б) при влажности 30% (отн.) 143 кг/ч

Внутренние размеры бункера в плане $530 \times 620 \text{ мм}$.

Внутренние размеры камеры газификации:

а) на уровне верхнего ряда фурм $530 \times 600 \text{ мм}$,

б) на уровне нижнего ряда фурм $510 \times 525 \text{ мм}$.

§ 16. Газогенератор обращенного процесса повышенной производительности

Создание газогенераторов обращенного процесса большой производительности затруднялось, главным образом, невозможностью обеспечить равномерное распределение воздуха по сечению камеры газификации, что в особенности отрицательно сказывалось при газификации полуметровых дров.

Разработанный автором настоящей брошюры проект газогенератора, схема которого изображена на рис. 15, удовлетворительно разрешает вопрос равномерного распределения воздуха по сечению.²

Этот газогенератор призматической формы состоит из двух основных частей: верхней — бункера 1 и нижней — камеры газификации 2, с зольником 3 для сухого золоудаления.

Бункер состоит из двух прямоугольных сварных коробок с металлическими распорками 8 между внутренними стенками.

Камера газификации внутри разделена на отсеки, которые имеют футеровку из огнеупорного кирпича. Наружные стенки 4, обращенные к торцам полень, отвесные, а противоположные им — внутренние 5, ниже фурм наклонены так, что образуют

1 Влажность 22% абс. согласно ГОСТ 2720-44 является предельной для древесных чурок, газифицируемых в автотракторных газогенераторах.

2 Авторское свидетельство за № 434603-П, класс 24, подкл. е, гр. 3/03.

небольшое сужение отсеков камеры газификации и уширение газоотводного канала 6, проходящего по всей длине газогенератора и разделяющего его пополам. Над газоотводным

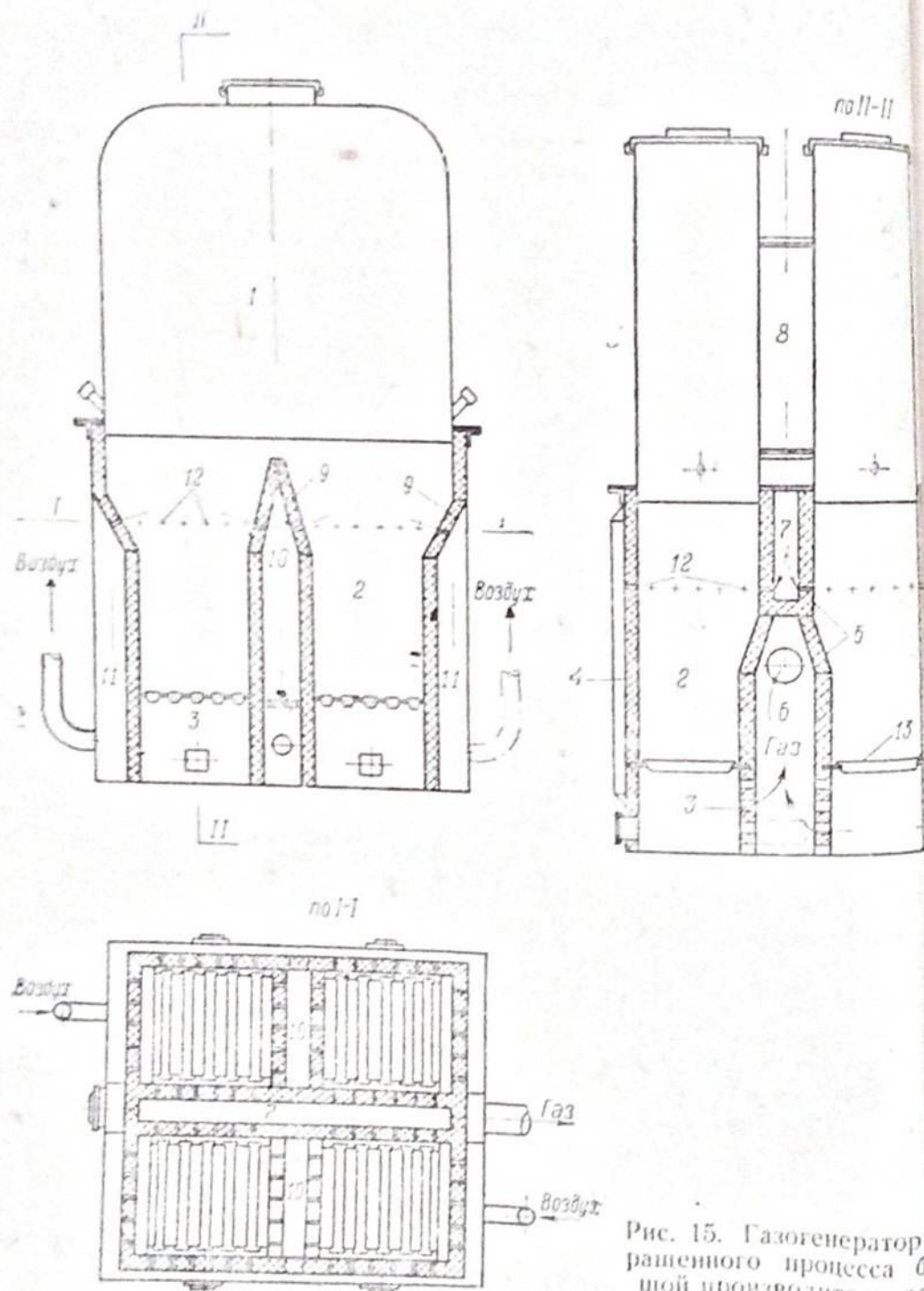


Рис. 15. Газогенератор с обратным процессом газификации для повышения производительности

лом находится воздушная камера 7 с фурмами в двух продольных стенках.

Стенки камеры газификации 9, обращенные к боковым поверхностям полен вблизи воздушных фурм, наклонены

внутри. Давление вышележащего слоя топлива передается на образовавшиеся заплечики. Расстояние между противоположными стенками 9 на уровне фурм зависит от производительности газогенератора и интенсивности газификации, так как расстояние между другими стенками 4 и 5 определяется длиной полен. Внутренние стенки 9 образуют поперечные воздушные камеры, которыми камера газификации разделяется на 4 отсека. Отсеков может быть 6, 8 и больше в зависимости от длины газогенератора. Между наружными стенками и кожухом камеры газификации также имеется воздушная камера 11, с которой соединены внутренние воздушные камеры 7 и 10.

Топливо загружается через два люка в бункер, откуда под действием силы тяжести опускается вниз по мере газификации нижележащих слоев.

Воздух нагнетается или засасывается в наружную воздушную камеру 11, откуда попадает во внутренние камеры 7 и 10. Здесь воздух подогревается и через фурмы 12 попадает в отсеки камеры газификации. Для более равномерной подачи воздуха в среднюю часть газогенератора в торце верхней части камеры 10 имеются фурмы.

Продукты газификации отсасываются вниз через решетку 13 в зольник, откуда через зазоры в продольных стенках попадают в газоотводный канал 6 и далее по трубе направляются в охлаждающе-очистительную систему или к местам потребления.

Зола и угольная мелочь, провалившиеся через зазоры между колосниками решетки, периодически удаляются из зольника. Для возможности чистки зольника во время работы газогенератора в зольнике или под ним устраивается гидравлический затвор.

ГЛАВА VII

СТАЦИОНАРНЫЙ ДВУХЗОННЫЙ ГАЗОГЕНЕРАТОР ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

§ 17. Конструкция двухзонного газогенератора

На рис. 16 изображен двухзонный газогенератор, верхняя часть которого работает по схеме обратного процесса, а нижняя — по схеме прямого процесса. Этот газогенератор на протяжении ряда лет успешно эксплуатируется на отходах лесопильного производства и на получаемом газе работает двигатель мощностью 150 л. с.

Форма газогенератора прямоугольная; он выложен внутри шамотным кирпичом. Поперечное сечение газогенератора пред-

ставляет собой квадрат со стороной в верхней части камеры газификации 1 равной 850 мм, а в суженной части у газовой окон 2 — 750 мм. Высота верхней камеры газификации равна 1700 мм. Ниже газовых окон на расстоянии 665 мм находится

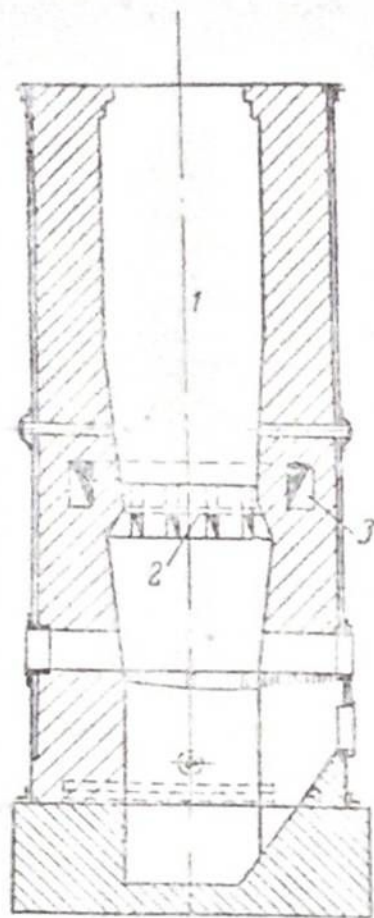


Рис. 16. Стационарный двухзонный газогенератор.

горизонтальная чугунная колосниковая решетка с живым сечением, равным 40%. Под решеткой находится зольник с гидравлическим затвором. Общая высота газогенератора до фундамента равна 3500 мм.

Конструктивной особенностью газогенератора является отсутствие фундамента для подвода воздуха в верхнюю камеру. Воздух засасывается через загрузочный люк, который во время работы газогенератора открыт. Продукты газификации, пройдя газовые окна 2, попадают в канал 3, а оттуда отводятся к охлаждающим и очистительным устройствам. Топливом для газификации служат горбы и рейки, разделанные на куски длиной 130—520 мм, которые загружаются произвольно — навалом.

§ 18. Сравнение показателей газификации древесного топлива обращенному и двухзонному процессу

При газификации топлива влажностью 23—47% только в верхней зоне по обращенному процессу получен генераторный газ, средний состав которого приведен в табл. 14.

Таблица 14

Влажность дров % (отн.)	Интенсивность газификации, кг/м ² час		Длина кусков дров мм	Состав сухого газа, %					Теплотворность газа ккал/м ³		Выход сухого газа за м ³ /кг рабочего топлива
	по рабочему топливу	по сухой массе		CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂	высшая	низшая	
23	255	186	130—520	15,3	14,3	2,7	12,9	54,8	1090	1010	2,1
38	310	192	260	16,4	11,6	1,9	14,6	55,5	980	895	1,8
43	314	180	130—520	17,2	11,2	1,9	14,5	55,2	965	880	1,66
47	335	179	260—520	16,8	12,0	2,3	12,9	56,0	980	900	1,5

При одновременном подводе воздуха сверху через открытый люк и под колосниковую решетку топливо газифицировалось по двухзонному процессу.

Испытание газогенератора по двухзонному процессу производилось на топливе длиной 260—520 мм, при этом под решетку подводился воздух или паровоздушная смесь. Состав газа, полученный по двухзонному процессу, приведен в табл. 15.

Таблица 15

Влажность дров % (отн.)	Интенсивность газификации, кг/м ² час		Характер нижнего дутья	Состав сухого газа, %					Теплотворность газа ккал/м ³		Выход сухого газа за м ³ /кг рабочего топлива
	по рабочему топливу	по сухой массе		CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂	высшая	низшая	
23	237	182	Пар + возд.	15,8	13,6	2,6	14,9	53,1	1120	1020	2,1
38	300	186	Воздух	12,3	19,2	2,5	11,0	55,0	1160	1080	1,6
47	300	163	Пар + возд.	15,4	14,2	2,5	13,7	54,2	1090	1000	1,45

Теплотворность газа, полученного при газификации топлива влажностью 23% почти не отличается от теплотворности газа, полученного при обращенном процессе из топлива той же влажности, в то время как при влажности 38 и 47% теплотворность газа двухзонного процесса на 80—110 ккал/м³ больше, чем газа обращенного процесса. При газификации топлива по двухзонному процессу требовалось очень квалифицированное обслуживание и наблюдение.

Проведенные балансовые испытания при влажности отходов древесины 23% и длине кусков 260 мм показали, что содержание смолы составляет при обращенном процессе 0,36 г/м³, а при двухзонном процессе 3,75 г/м³.

Расходная часть теплового баланса характеризовалась следующими относительными величинами (в процентах).

	Двухзонный процесс	Обращенный процесс
1. Теплотворность сухого газа	66,95	65,18
2. Теплосодержание сухого газа	7,97	8,84
3. Теплосодержание влаги газа	6,82	8,00
4. Теплотворность смолы	2,29	0,51
5. Теплотворность провала и уноса	2,15	4,18
6. Тепловыделение в окружающую среду по разности	13,82	13,29
Итого	100,00	100,00

Обслуживание газогенератора при газификации древесного топлива по двухзонному процессу было утомительным, требовалось тщательное регулирование распределения воздуха, ведение неослабного наблюдения за верхней зоной «глазки».

Вследствие неустойчивости режима работы двухзонного газогенератора, температура в печах очень часто падала ниже нормы.

ГЛАВА VIII

ОЧИСТКА, ОХЛАЖДЕНИЕ И ОСУШКА ГАЗА

В большинстве случаев газ по выходе из генератора может быть подан к горелкам без предварительной очистки, охлаждения. Характер очистки, а также необходимость охлаждения и осушки газа зависят от влажности твердого топлива, схемы процесса газификации и температуры газа, подводимого к горелкам.

При газификации древесного топлива по схеме прямого процесса высокий слой топлива является одновременно фильтром, предотвращающим унос золы и угольной мелочи с газовым потоком. В этом случае при сжигании горячего топлива никакой очистки не требуется, при сжигании же охлажденного газа, а также при газификации влажных дров необходима осушка и очистка газа от смолы и других продуктов сухой перегонки.

При газификации древесного топлива по схеме обратного процесса или в газогенераторах с двухзонным процессом в случае сжигания горячего газа, его необходимо предварительно очистить от механических примесей, а при относительно большом расстоянии от газогенератора до места потребления и в случае сжигания холодного газа, его необходимо, кроме того, охладить и осушить.

Осушка газа способствует нормальной и бесперебойной эксплуатации газопроводов и значительно уменьшает их коррозию. Осушка влажного газа, происходящая одновременно с охлаждением, позволяет повысить температуру горения и коэффициент отъема тепла в рабочем пространстве печи, а также уменьшить расход энергии на транспортировку газа, вследствие уменьшения его объема.

§ 19. Сухая очистка газа

Содержание золы и угольной пыли в древесном генераторном газе может колебаться в пределах от 2 до 20 г/м³. Предельно допустимое содержание пыли в газе для нагревательных печей составляет 0,5 г/м³, что может быть достигнуто

даже при грубой очистке газа посредством пылесадительных камер или циклонов.

а) Очистка газа в пылесадительных камерах основана на выпадении твердых частиц из газа под действием силы тяжести при резком расширении сечения и при изменении направления движения газового потока. В пылесадительных камерах выводится около 60—80% взвешенных в газе частиц. Более мелкие и легкие частицы уносятся газовым потоком. В связи с подачей к местам потребления горячего газа, как пыледловительные камеры, так и газопроводы выкладываются внутри футеровкой из огнеупорного кирпича. Футеровка выполняется толщиной в четверть или полкирпича. Как видно из рис. 17, пылесадительная камера проста по конструкции и надежна в эксплуатации. Недостатком пылесадительных камер является их громоздкость.

б) Для очистки газа от механических примесей могут быть применены циклоны, которые менее громоздки, чем пылесадительные камеры. Осаждение пыли в циклонах происходит под действием центробежной силы, направленной горизонтально.

Циклоны широко применяются в промышленности, что объясняется их простотой, компактностью и надежностью в эксплуатации.

Как видно из рис. 18, газовый поток, войдя в циклон через патрубок, расположенный тангенциально, совершает путь по окружности, вокруг центральной газоотводной трубы, и опускается спирально по стенке конуса до самого его низа. Дойдя до дна конуса, газовый поток поворачивает вверх и направляется в газоотводную трубу, принимая очертания винтообразно вращающегося столба с диаметром, почти равным диаметру отводной трубы.

При вращении газового потока в циклоне под действием центробежной силы происходит осаждение твердых частиц. Частицы в циклоне совершают криволинейный путь, передвигаясь от наружной поверхности газоотводной трубы к стенке циклона. Степень очистки газа в циклонах зависит от ряда

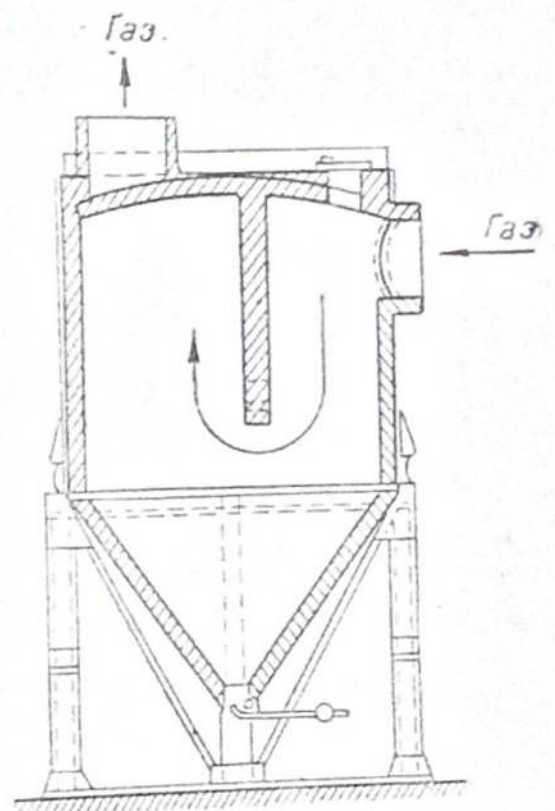


Рис. 17. Схема пылесадительной камеры.

величин — скорости входа и вязкости газа, величины удельного веса и концентрации примесей, диаметра ширины входного патрубка и числа оборотов газа в циклоне.

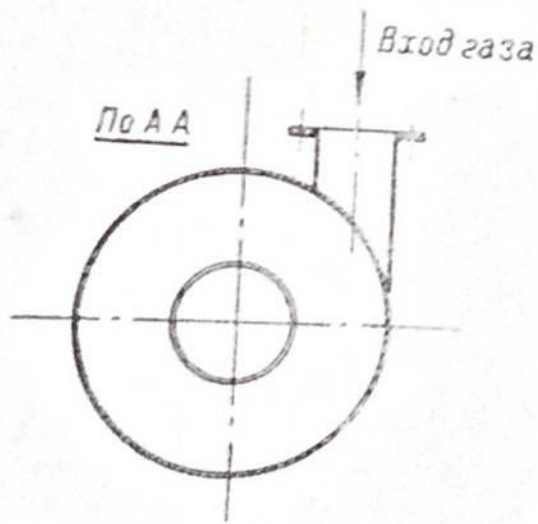
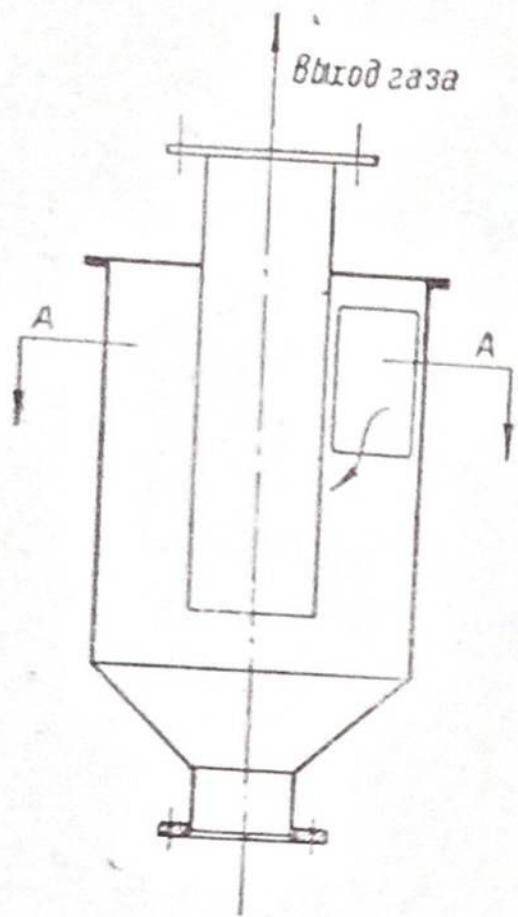


Рис. 18. Схема циклона.

С увеличением скорости газового потока до 15 м/сек. степень очистки значительно растет. Увеличение скорости газового потока до 25 м/сек. не дает заметного эффекта, но при этом значительно возрастает сопротивление на входе и унос газовым потоком осажденных частиц. Степень очистки газа в циклонах, в зависимости от их конструкции и крупности частиц, может достигать 80—90%.

Существенным недостатком циклонов является: значительное гидравлическое сопротивление, складывающееся из потерь давления при входе и выходе, сопротивления трения о стенки, ударных струй и вихреобразования.

§ 20. Очистка и охлаждение газа водой

На больших центральных газогенераторных станциях, улавливаются для использования смола и другие продукты сухой перегонки, применяются специальные способы очистки, которые в настоящей работе не рассматриваются. Ниже приводятся способы очистки и охлаждения влажного газа, содержащего твердые механические примеси и часть неиспользуемых продуктов сухой перегонки твердого топлива.

Мокрая очистка газа осуществляется обычно с его охлаждением и осушкой. Очистка и охлаждение газа водой могут быть осуществлены двумя способами: в поверхностных теплообменниках или в скрубберах при непосредственном соприкосновении газа с водой. Последний способ является более простым и надежным.

На рис. 19 приведено изображение стационарного скруббера. Газ подводится снизу под решетку и, пройдя весь слой насадки, отводится сверху. Навстречу газу стекает вода, орошающая насадку. Теплая загрязненная вода стекает из скруббера в гидравлический затвор, а оттуда в канализацию.

Для увеличения поверхности контакта газа с водой скрубберы заполняют различного рода насадками — цилиндрическими кольцами, у которых наружный диаметр равен высоте, деревянными рейками или досками, поставленными на ребро, или кусковым материалом неправильной геометрической формы — кварцем, коксом. Характеристики указанных видов насадок приведены в табл. 16, из которой видно, что наибольшую поверхность и свободный объем имеет насадка из цилиндрических колец.

Кусковая насадка обладает относительно малой поверхностью в единицу объема, имеет небольшой свободный объем и оказывает относительно большее сопротивление газовому потоку. По сравнению с другими кусковыми материалами, кокс обладает некоторыми преимуществами — малый вес, дешевизна и доступность.

Развитая, благодаря большой пористости, поверхность единицы объема сухого кокса не используется для контакта газа с водой, так как во время работы поры заполняются водой. При заполнении скруббера кусками кокса разных размеров, без предварительной сортировки его, объем фильтрующего пространства резко уменьшается и сопротивление увеличивается. Насадка, состоящая из кусков одинаковой крупности, менее подвержена засорению, чем насадка, состоящая из кусков разной крупности.

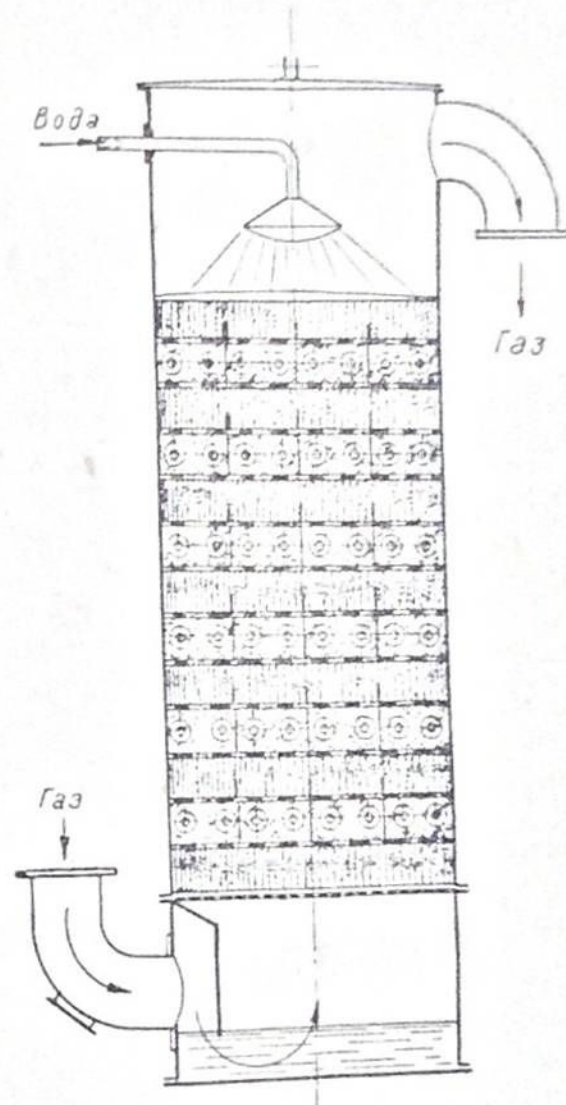


Рис. 19. Стационарный скруббер.

Характеристики некоторых скрубберных насадок

Тип насадки и величина элемента	Количество элементов в 1 м ³ объема	Поверхн. 1 м ³ насадки в м ²	Свободн. объем (порозность)	Вес 1 м ³ насадки в кг
Цилиндрические кольца керамиковые (наружный диаметр × высоту)				
15 × 15 мм	210 000	369	0,74	750
25 × 25 мм	52000	220	0,81	650
40 × 40 мм	13250	115	0,68	720
50 × 50 мм	5750	92	0,75	625
75 × 75 мм	1700	62	0,74	610
Деревянная хордовая насадка:				
100 × 25 × 12,5 мм	265	61	0,67	200
100 × 50 × 12,5 мм	160	36	0,69	190
100 × 25 × 25 мм	200	50	0,50	300
100 × 50 × 25 мм	130	33	0,65	210
150 × 25 × 25 мм	130	46	0,50	300
Кусковая насадка неправильной формы:				
кварц 50 мм	—	63	0,45	1420
кварц 150 мм	—	21	0,44	1440
кокс 75 мм	—	41	0,58	500
кокс 150 мм	—	19	0,59	430

В стационарных установках значительное распространение получили скрубберы с деревянной хордовой насадкой, которая оказывает меньшее сопротивление газовому потоку. Хордовая насадка укладывается в скруббер в виде решеток из реек размером, указанным в табл. 16 с пластинами между ними стянутыми болтами. Решетки укладывают так, чтобы направление реек в одном ряду было перпендикулярно направлению реек в другом, чем достигается удлинение пути газа и увеличение поверхности контакта с водой. Иногда для увеличения поверхности контакта применяют рейки в виде треугольников. В деревянных рейках иногда в нижней части устраивают зубчатые вырезы, чем достигается более равномерный сток воды по длине рейки. Для распределения воды, поступающей на орошение, применяются различные устройства — форсунки, лейки, корыта. В связи с наличием насадки в скруббере необходимости в тонком распыливании воды, так как в самой насадке отдельные капли сливаются между собой и стекают в виде непрерывных струек или тонких пленок.

Содержание влаги в горячем газе по выходе из генератора колеблется в значительных пределах и зависит от влажности газифицируемого топлива, схемы процесса и температурного режима. Водяной пар, выходящий с газом из генераторов обращенного или двухзонного процессов, находится в перегретом состоянии. В связи с этим процесс охлаждения газа складывается из двух фаз, соответствующих перегретому и насыщенному состоянию водяного пара. В первой фазе охлаждение газа сопровождается испарением части воды и увеличением влагосодержания газа до полного насыщения. Предельное влагосодержание газа в зависимости от температуры приведено в табл. 17. Во второй фазе охлаждение газа сопровождается конденсацией водяного пара, т. е. осушкой газа.

Таблица 17

Зависимость содержания насыщенного водяного пара в газе от температуры

Температура °С	Парциальное давление водяного пара P мм рт. ст.	Объемное содержание водяного пара при 760 мм рт. ст. % 100 P / 760	Количество пара г на 1 м ³ газа (0° С, 760 мм рт. ст.)		Температура °С	Парциальное давление водяного пара P мм рт. ст.	Объемное содержание водяного пара при 760 мм рт. ст. % 100 P / 760	Количество пара г на 1 м ³ газа (0° С, 760 мм рт. ст.)	
			влажного	сухого				влажного	сухого
0	4,6	0,61	4,8	4,9	55	118,0	15,5	125	148
5	6,5	0,85	6,9	7,0	60	149,4	19,7	158	197
10	9,2	1,21	9,7	9,9	65	187,5	24,8	198	263
15	12,8	1,68	13,5	13,8	70	233,7	30,7	247	357
20	17,5	2,30	18,5	19,0	75	289,1	38,0	306	403
25	23,8	3,13	25,1	26,0	80	355,1	46,7	375	705
30	31,8	4,18	33,6	35,1	85	433,6	57,0	458	1070
35	42,2	5,55	44,6	47,3	90	525,8	69,2	586	1800
40	55,3	7,28	58,5	63,1	95	633,9	83,4	670	4040
45	71,9	9,46	76,0	84,0	100	760,0	100,0	804	
50	92,5	12,2	97,8	111					

В скруббере газ может быть охлажден до 25–30° С. В правильно действующем скруббере, вследствие противотока, температура охлажденного газа превышает всего лишь на 5–8° температуру охлаждаемой воды. Расход воды для охлаждения древесного газа составляет примерно 8–10 л на 1 м³ сухого газа или 15–25 л на 1 кг дров.

Для задерживания капель воды, механически увлекаемых газовым потоком, над оросительными устройствами находится сухая насадка из кокса или цилиндрических колец.

Гидравлическое сопротивление скруббера при данном типе насадки растет с увеличением скорости газового потока и плотности орошения. Под плотностью орошения понимают количество орошающей жидкости в м³/час, отнесенное на 1 м² общего поперечного сечения скруббера. Диаметр скруббера выбирают обычно с таким расчетом, чтобы скорость газа в сечении, заполненном насадкой, т. е. действительная скорость составляла от 0,5 до 1,0 м/сек., а плотность орошения превышала 15 м³/м² час.

Объем насадки определяют в зависимости от количества тепла, которое необходимо отвести от газового потока, коэффициента теплоотдачи и удельной поверхности данной насадки. Зная объем насадки и сечение скруббера, легко найти высоту насадки. В стационарных скрубберах насадку зачастую делают на несколько секций по высоте.

ГЛАВА IX

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ПРИ ПЕРЕВОДЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ НА ГЕНЕРАТОРНЫЙ ГАЗ

§ 21. Рациональные схемы промышленных газогенераторных установок

В зависимости от требований, предъявляемых к генераторному газу, расстояния между газогенератором и агрегатом, потребляющим газ, а также характера использования смолы могут быть рекомендованы следующие принципиальные схемы питания термических печей газом:

1) При сжигании в печах горячего неочищенного газа с индивидуальных или групповых газогенераторов, установленных на расстоянии 10—15 м от печей. Для этой цели могут быть применены газогенераторы прямого процесса с одним верхним отбором газа. При этом схема всей установки является наиболее простой. Вентилятором воздух нагнетается по решетку газогенератора, а газ отводится по трубам к горелкам печей, где, после смешения с необходимым количеством воздуха, сгорает.

2) При одновременном сжигании горячего неочищенного и охлажденного очищенного газа в печах, находящихся на различном расстоянии от газогенератора или газостанции. В этом случае следует применять газогенераторы прямого процесса с двумя газоотборами (рис. 4). Газ, отводимый

верхнего патрубка, содержащий пары смол, подводится к печам, расположенным вблизи газогенератора. Бессмольный газ, отбираемый из средней части газогенератора, в зависимости от местных условий, очищенный горячий или охлажденный, направляется в печи, отстоящие на большем расстоянии от газостанции.

3) При сжигании в печах очищенного и охлажденного газа, полученного в газогенераторах, установленных на значительном расстоянии от печей; может быть осуществлено несколькими путями:

а) При газификации древесного топлива с использованием смолы для технологических нужд предприятий МРФ. В этом случае газификация древесины должна производиться в газогенераторах прямого процесса со швельшахтой. Выбор рационального способа очистки газа от смолы зависит от технических условий на смолу и производительности газогенераторной станции.

б) При газификации древесного топлива с получением бессмольного газа.

Получение бессмольного газа, как было сказано, возможно в газогенераторах с обращенным процессом, с двухзонным процессом, или в газогенераторах прямого процесса со специальными устройствами для сжигания или разложения в них смолы. В этих случаях, кроме газогенератора, в установке должны быть и охладительно-очистительные устройства. В установках с охлаждением и очисткой газа даже при нагнетании воздуха в газогенератор после скруббера монтируется газодувка, которая отсасывает охлажденный газ и нагнетает его через сухой фильтр к местам потребления.

§ 22. Теоретический расчет сгорания топлива

При переводе существующих печей с жидкого топлива на генераторный газ следует не только сохранить, а в ряде случаев даже повысить их производительность. Для правильного решения данного вопроса необходимо знать, как влияют отдельные факторы на температурный режим, коэффициент полезного действия и производительность печи.

Исходной величиной, определяющей производительность нагревательных пламенных печей, является теоретическая температура сгорания (с учетом диссоциации), зависящая от теплотворности сжигаемого топлива и коэффициента избытка воздуха. Если теплотворность жидкого топлива колеблется незначительно, то теплотворность генераторного газа, как уже отмечалось выше, может значительно изменяться в зависимости от влажности газифицируемого топлива, схемы процесса и конструкции газогенератора.

Следовательно, первое, от чего будет зависеть сохранение

или повышение производительности печи, это теплотворная способность генераторного газа. Получение газа с большей теплотворной способностью возможно при газификации предварительно подогретого топлива и подвода в зону газификации подогретого воздуха.

Теплотворность сухого генераторного газа определяется следующими формулам:

$$Q_n^r = 30,45 \cdot CO + 25,8 H_2 + 85,2 \cdot CH_4 \text{ ккал/нм}^3$$

высшая теплотворность

$$Q_n^r = 30,45 \cdot CO + 30,48 \cdot H_2 + 95,3 \cdot CH_4 \text{ ккал/нм}^3$$

где содержание CO, H₂ и CH₄ в %.

Теплотворность генераторного газа практически колеблется в пределах от 1100 до 1500 ккал/нм³.

Теоретическая температура сгорания определяется не только теплотворностью сжигаемого топлива, но и объемом воздуха который одновременно с топливом вводится в печь. Для жидкого топлива теоретический расход воздуха определяется по формуле:

$$L_0 = 0,85 \frac{Q_n^p}{1000} + 2,0 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

Теплотворность топочного мазута может быть принята $Q_n^p = 9400$ ккал/кг, при этом теоретический расход воздуха определен по формуле (9), будет $L_0 = 10,0$ нм³/кг.

Так как добиться полного сгорания жидкого топлива с теоретическим количеством воздуха очень трудно, то в практике расходуют больше, чем теоретически необходимо. Практический расход воздуха может быть определен по формуле:

$$L = \alpha L_0 = \alpha \left(0,85 \frac{Q_n^p}{1000} + 2,0 \right) \text{ нм}^3/\text{кг},$$

где: α — коэффициент избытка воздуха.

Для топочного мазута принимают $\alpha = 1,2 - 1,3$.

Объем продуктов горения жидкого топлива может быть определен по формуле:

$$V' = 1,11 \frac{Q_n^p}{1000} + (\alpha - 1) L_0 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

Если принять коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,3$ и подставить в формулу (11) значения Q_n^p и L_0 , получим:

$$V' = \frac{1,11 \cdot 9400}{1000} + (1,3 - 1) 10,0 = 13,4 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

При этом содержание воздуха в продуктах полного сгорания составит:

$$V_n = \frac{(\alpha - 1) L_0}{V'} 100 = \frac{(1,3 - 1) 10,0}{13,4} 100 \cong 22,4\%.$$

При отсутствии подогрева воздуха начальное теплосодержание газов (продуктов горения) определяется как отношение

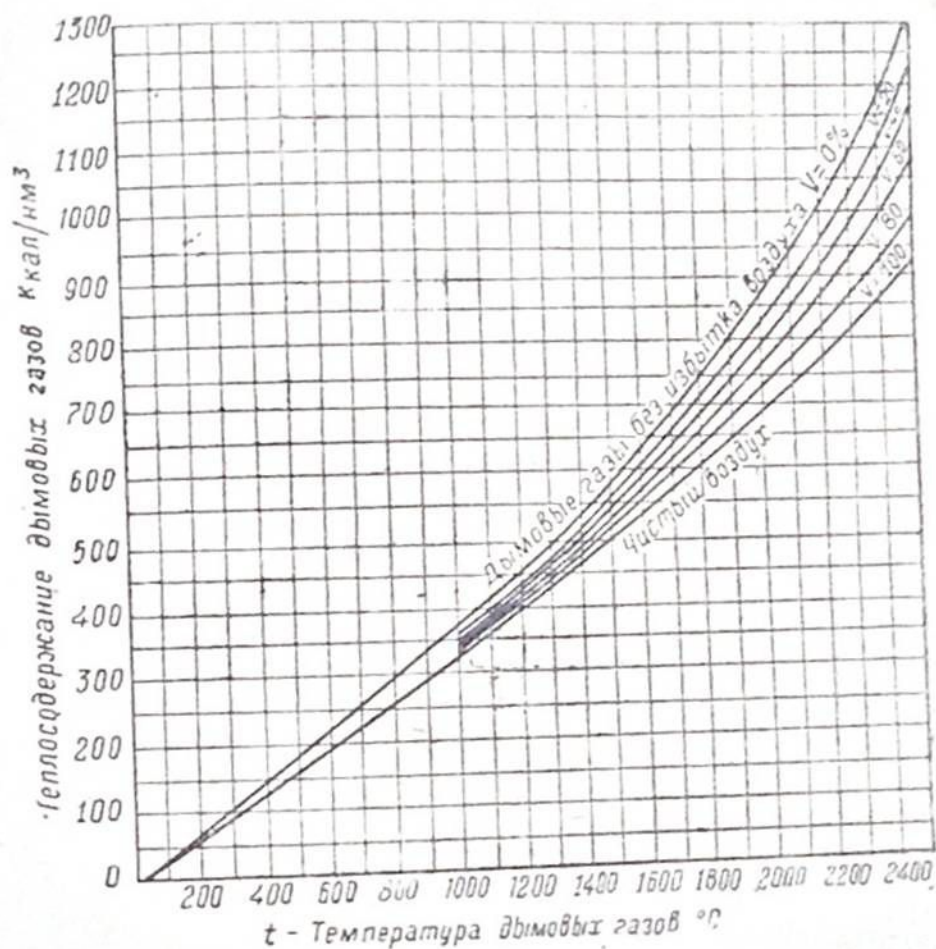


Рис. 20. I-t-диаграмма сгорания.

теплотворности к объему продуктов горения. В нашем примере при $\alpha = 1,3$ начальное теплосодержание продуктов горения:

$$i_{нач} = \frac{Q_n^p}{V'} = \frac{9400}{13,4} \cong 700 \text{ ккал/нм}^3.$$

При наличии предварительного подогрева воздуха его теплосодержание суммируется с теплотворностью топлива. Подогрев воздуха повышает начальное теплосодержание продуктов горения.

На рис. 20 изображена I-t-диаграмма, по которой, зная $i_{нач}$ и V_n , легко найти теоретическую температуру сгорания (t_r). В нашем примере при $V_n = 22,4\%$ и $i_{нач} = 700$ ккал/нм³

$t_r = 1780^\circ \text{C}$. Учитывая диссоциацию некоторой части продуктов сгорания при высокой температуре, теоретическую температуру принимаем равной $t_{r1} = 1750^\circ \text{C}$, что подтверждается также диаграммой на рис. 21, заимствованной у профессора И. М. Рафаловича.

Сделаем аналогичный примерный расчет для определения теоретической температуры сгорания генераторного газа. Для расчета примем теплотворность газа $Q_n^r = 1500$ ккал/нм³, коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,1$. При сжигании коэффициент избытка воздуха может быть принят в пределах 1,05–1,15. Для большей сравнимости результатов допустим, что воздух не подогревается. Расход воздуха для газоборудования с низшей теплотворностью менее 3000 ккал/нм³ может быть определен по формуле:

$$L = \alpha L_0 = \alpha \left(0,875 \frac{Q_n^r}{1000} \right) \text{ нм}^3/\text{нм}^3.$$

Подставив ранее принятые значения α и Q_n^r , получим:

$$L = 1,1 \left(0,875 \frac{1500}{1000} \right) \cong 1,1 \cdot 1,31 \cong 1,44 \text{ нм}^3/\text{нм}^3.$$

Объем продуктов сгорания генераторного газа можно определить по формуле:

$$V'' = 0,725 \frac{Q_n^r}{1000} + 1,0 + (\alpha - 1) L_0 \text{ нм}^3/\text{нм}^3.$$

В нашем примере:

$$V'' = 0,725 \frac{1500}{1000} + 1,0 + (1,1 - 1) \cdot 1,31 \cong 2,22 \text{ нм}^3/\text{нм}^3.$$

При этом содержание воздуха в продуктах сгорания будет равно:

$$V_v = \frac{(\alpha - 1) L_0}{V''} \cdot 100 = \frac{(1,1 - 1) \cdot 1,31}{2,22} \cdot 100 \cong 6,0\%.$$

Начальное теплосодержание продуктов сгорания генераторного газа будет равно:

$$i_{нач} = \frac{Q_n^r}{V''} = \frac{1500}{2,22} \cong 675 \text{ ккал/нм}^3.$$

По диаграмме $I-t$ на рис. 20 находим, что при $V_v = 6,0\%$ и $i_{нач} = 675$ ккал/нм³ теоретическая температура продуктов сгорания $t_r = 1680^\circ \text{C}$, а с учетом диссоциации принимаем $t_{r1} = 1650^\circ \text{C}$, что согласуется с расчетами проф. И. М. Рафаловича для торфяного генераторного газа теплотворностью $Q_n^r = 1530$ ккал/нм³, приведенными на рис. 22.

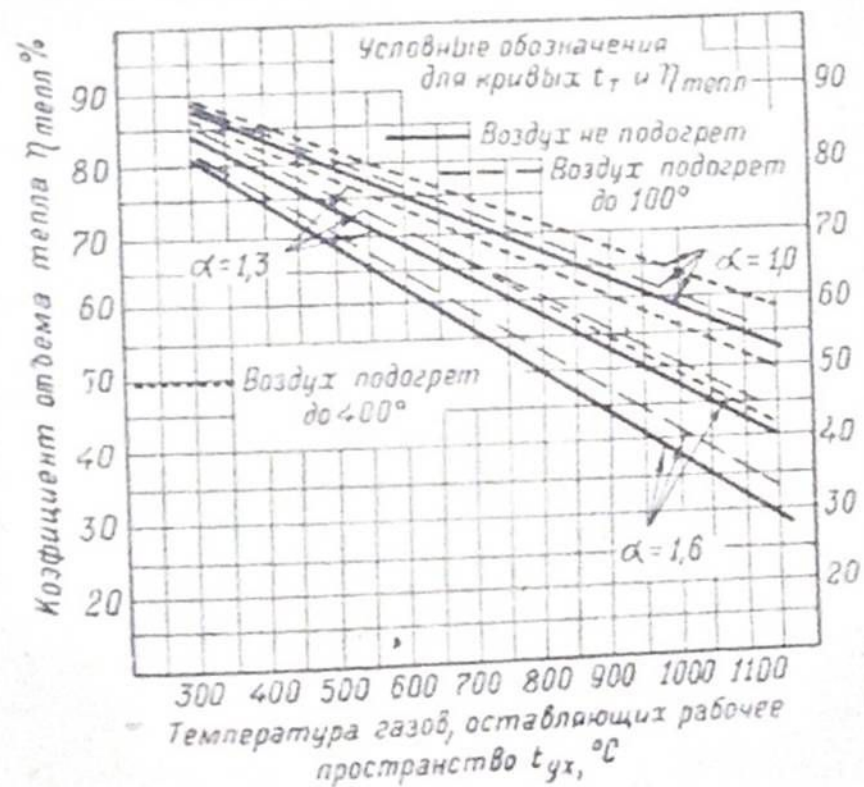
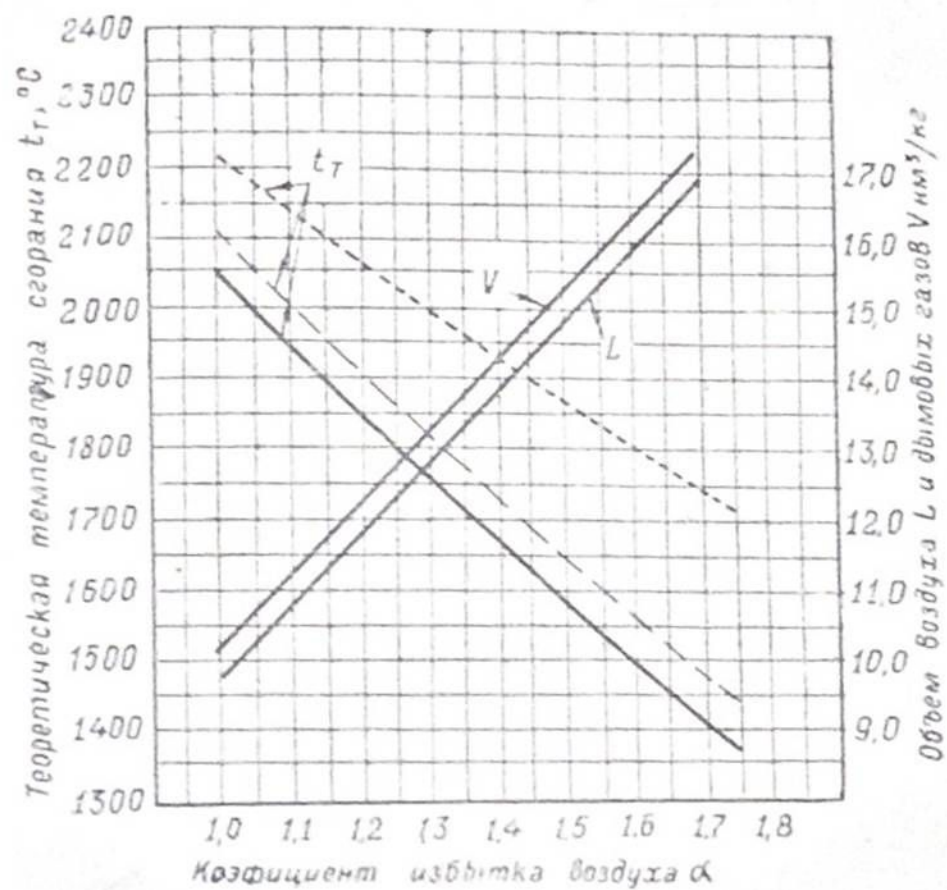


Рис. 21. Диаграммы сгорания и отъема в печи тепла топлива мазута топочного $Q_n^p = 9370$ ккал/кг.

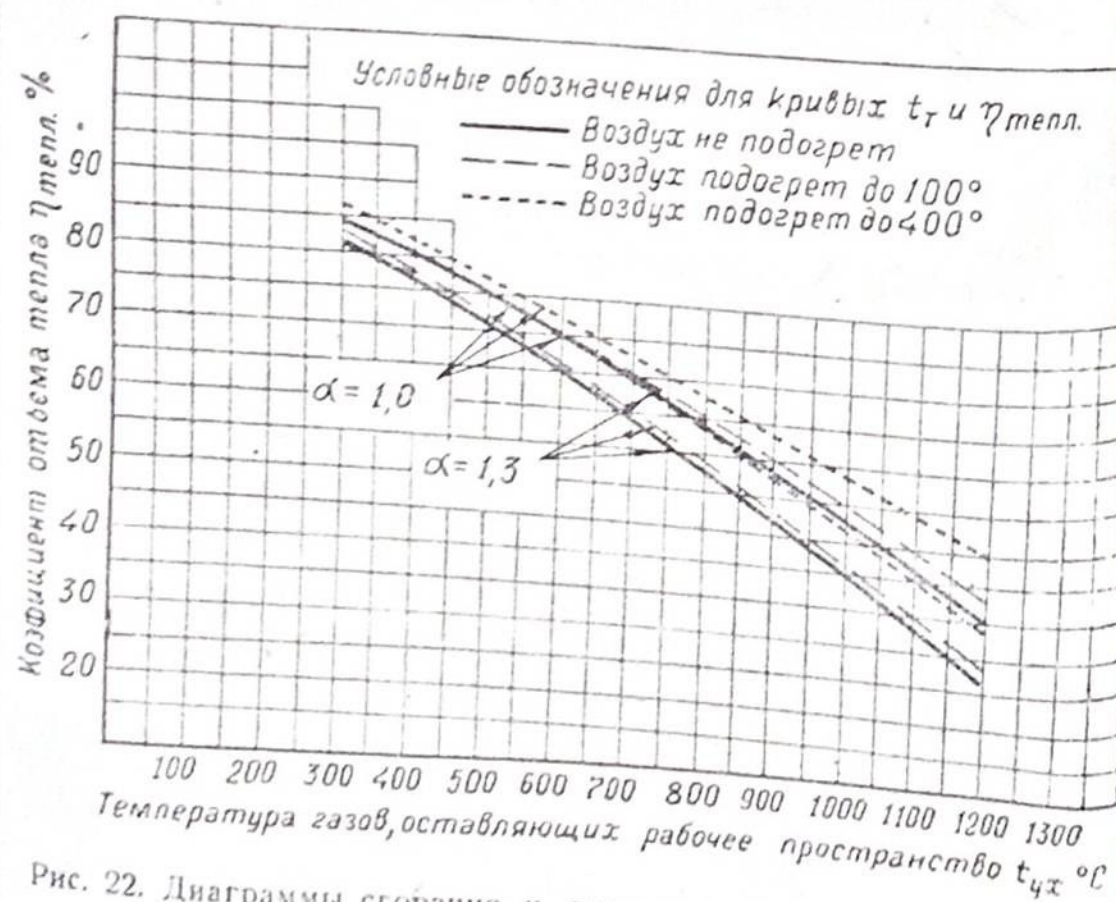
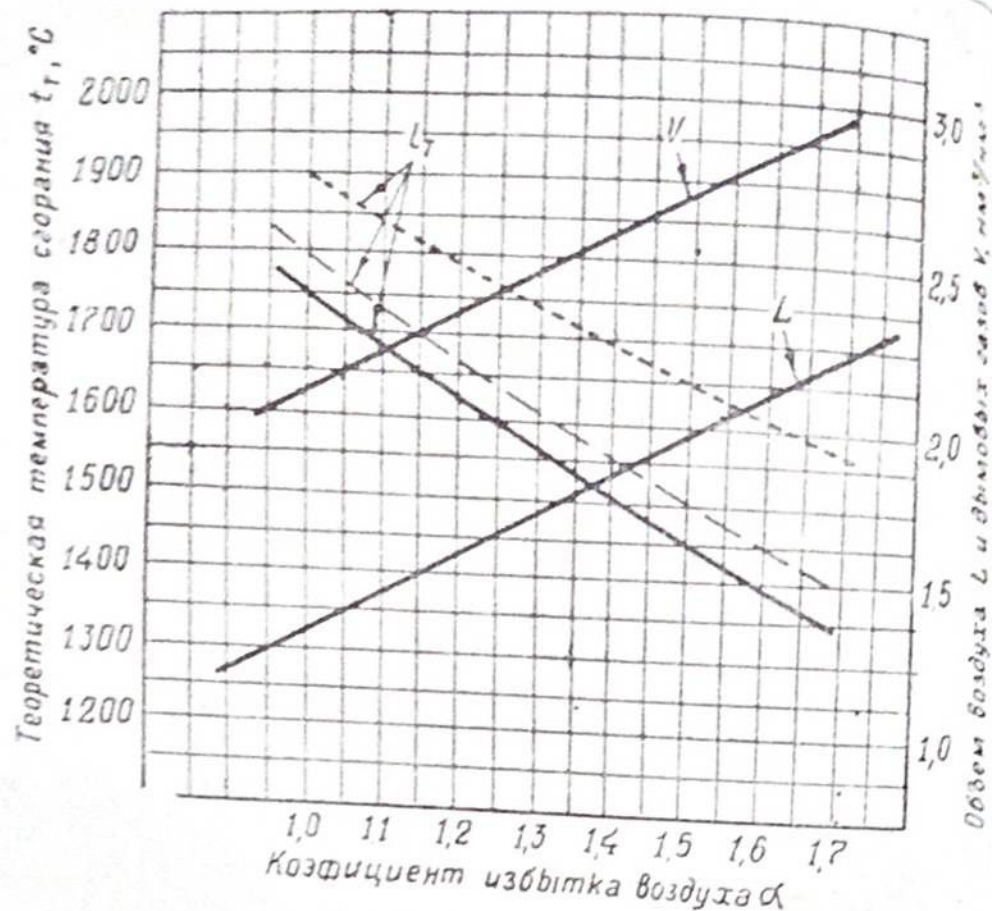


Рис. 22. Диаграммы сгорания и отъема в печи теплотворного газа из торфа $Q_{II}^r = 1530$ ккал/м³ газа генератора

Произведенный расчет показывает, что даже при относительно высокой теплотворности торфяного генераторного газа в меньшем избытке воздуха не удастся достигнуть такой же теоретической температуры, как и при сжигании жидкого топлива. Одним из распространенных способов повышения температуры является подогрев воздуха. По данным профессора И. М. Рафаловича, применение подогретого воздуха, поступающего для горения, до 400°C (или эквивалентный по отношению к теплу подогрев газа и воздуха до более низких температур), способствует повышению производительности печи во всех случаях примерно на 20% по сравнению с работой на неподогретом воздухе.

Максимальная температура сильно влияет на производительность печи, на ее тепловую экономичность и определяет пригодность данного газа для проведения высокотемпературных процессов.

§ 23. Пирометрический коэффициент

Зная теоретическую температуру сгорания топлива t_T , можно приблизительно определить температуру в рабочем пространстве печи t_n . Отношение температуры в рабочем пространстве печи к теоретической температуре сгорания топлива называется пирометрическим коэффициентом ($\eta_{пир}$):

$$\eta_{пир} = \frac{t_n}{t_T} \quad (14)$$

Практические значения пирометрического коэффициента для некоторых печей следующие:

- 1) Нагревательная печь для полосового материала 0,75—0,8.
- 2) Туннельная печь закрытой конструкции с медленной загрузкой 0,75—0,82.
- 3) Методическая печь 0,7—0,75.
- 4) Кузнечная щелевая печь 0,66—0,7.
- 5) Садочная (камерная) печь 0,65—0,7.

§ 24. Коэффициент отъема тепла

Технологические требования к генераторному газу определяются не только максимальной теоретической температурой, которая может быть достигнута при сжигании газа, но и степенью черноты факела.

Количество тепла, получаемое металлом при нагреве в печи, зависит не только от температуры, но и от степени черноты продуктов сгорания. Применяя горелки с различной степенью смешения газа с воздухом до поступления их в печь, можно иногда влиять на степень черноты продуктов сгорания, что иллюстрируется данными табл. 18. Для повышения степени

черноты продуктов сгорания практикуется добавление в ценному газу смолы, мазута или угольной пыли в количестве 5—10 г на 1 м³ газа. Присадка незначительных количеств указанных веществ практически не влияет на температурный режим процесса сгорания, т. е. не приводит к удлинению факела.

Примерные значения коэффициентов черноты факела некоторых топлив при разных способах сжигания

Вид топлива	Способ сжигания	Толщина слоя газов s , их температура t , коэффициент избытка воздуха α	$a_{\text{фак}}$
Генераторный газ	Диффузионная горелка		0,86—0,92
Генераторный газ из торфа $Q_n^r = 1500$ ккал/м ³	Двухступенчатая инжекторная горелка. Газ и воздух холодные	$s = 0,6;$ $t_n = 980—1080$ $\alpha = 0,99—1,03$	0,32
Водяной газ $Q_n^r = 2615$ ккал/м ³	Кузнечная камерная щелевая печь. Инжекторная горелка внутреннего смешения. Газ и воздух холодные	$s = 0,7;$ $t_n = 1300$ $\alpha = 1,03$ кпд печи — 28%	0,18
Мазут	Форсунка	$s = 1,0;$ $t_n = 1620—1760$	0,7—0,8

где: $a_{\text{фак}}$ — коэффициент черноты факела,
 $\epsilon_{\text{фак}} = 4,96 a_{\text{фак}}$ — коэффициент излучения пламени.

Проф. И. М. Рафалович отмечает, что наилучшие результаты, с точки зрения теплообмена, получаются в интервале значений степени черноты продуктов сгорания равном 0,3—0,5. Отношение, выражающее долю первоначального теплового содержания топлива, оставленную в рабочем пространстве печи, называется коэффициентом отъема тепла в рабочем пространстве печи:

$$\eta_{\text{тепл}} = \frac{i_{\text{нач}} - i_{\text{ух}}}{i_{\text{нач}}} \cdot 100$$

Повышение коэффициента отъема тепла, а следовательно экономичности процесса, как видно из выражения (15), может быть достигнуто увеличением $i_{\text{нач}}$ (за счет подогрева воздуха

и газа, сжигания газа с меньшим избытком воздуха), а также путем уменьшения теплосодержания уходящих газов ($i_{\text{ух}}$). Но так как газовый факел обладает меньшей светимостью, чем мазутный, а начальная температура его t_n , в случае работы без подогрева воздуха или газа несколько ниже, то для сохранения той же производительности печи необходимо работать при более высокой средней температуре пламени в печи. Повышение средней температуры пламени в печи одновременно вызовет и повышение температуры уходящих газов, что приведет к уменьшению коэффициента отъема тепла и экономичности процесса. Следовательно, при сжигании генераторного газа в печах предварительный подогрев воздуха или газа имеет решающее значение, определяющее не только экономичность процесса, но в отдельных случаях возможность вообще использования газа в нагревательных печах. Для понижения температуры уходящих газов при сжигании генераторного газа, наряду с добавлением к газу смолы, мазута или угольной пыли, рекомендуется также несколько повысить свод печи.

При замене жидкого топлива генераторным газом, в случае сохранения производительности печи, расход воздуха несколько уменьшается, а объем продуктов возрастет. В связи с этим следует проверить, каковы будут скорости движения продуктов сгорания в дымовой трубе и достаточна ли будет имеющаяся естественная тяга.

§ 25. Метод определения расхода генераторного газа по расходу жидкого топлива

Допущение о том, что при замене в существующих печах одного вида топлива другим производительность печи не изменится, а часовое потребление тепла в калориях останется постоянным, — является ошибочным, так как при этом не учитывается изменение температуры сгорания топлива, коэффициента полезного действия топочного процесса и степени отъема тепла в рабочем пространстве печи.

При переводе нагревательных печей с жидкого топлива на генераторный газ их производительность должна быть безусловно сохранена. В связи с этим правильное определение максимального расхода генераторного газа, а следовательно, и производительности газогенератора имеет исключительное значение.

Ошибки при определении производительности генератора могут привести к тому, что в отдельные моменты будет недостаточно газа для одновременной работы нескольких печей, переведенных на газ и питающихся от одного газогенератора.

Определение расхода генераторного газа может быть изведено по формуле:

$$B(Q_{II}^p + g_{\text{физ}_1}) \eta_{\text{тепл}_1} \cdot \varepsilon_1 = V(Q_{II}^r + g_{\text{физ}_2}) \eta_{\text{тепл}_2} \cdot \varepsilon_2,$$

где величины, обозначенные со знаком „1“, относятся к топливу, а со знаком „2“ — к генераторному газу,

B — расход жидкого топлива кг/час,

V — расход генераторного газа $\text{м}^3/\text{час}$,

Q_{II}^p — теплотворность жидкого топлива ккал/кг,

Q_{II}^r — теплотворность генераторного газа ккал/ м^3 ,

$g_{\text{физ}}$ — физическое тепло, вводимое вместе с воздухом и топливом в случае жидкого топлива ккал/кг и в случае газа ккал/ м^3 ,

$\eta_{\text{тепл}}$ — коэффициент отъема тепла в рабочем пространстве печи в проц.,

ε — коэффициент полезного действия топочного процесса

Коэффициент отъема тепла в рабочем пространстве печи, отмечалось выше, характеризует долю первоначально введенного тепла, оставленного в рабочем пространстве печи и не следует смешивать с коэффициентом полезного действия печи.

Коэффициент полезного действия топочного процесса, выраженный в процентах, как известно, определяется по уравнению:

$$\varepsilon = 100 - g_3 - g_4,$$

где: g_3 — потеря тепла от химической неполноты сгорания

g_4 — потеря тепла, вызванная механическими причинами

Для мазута и газообразного топлива можно принять $g_4 = 0$

Для предварительных расчетов принимаем, что потери тепла от химического недожога при сжигании жидкого топлива и генераторного газа одинаковые, следовательно $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$.

Из формулы (16) можно найти объем газа, который необходимо сжечь, чтобы сохранить производительность нагревательной печи при переводе с жидкого топлива на генераторный газ:

$$V = B \frac{(Q_{II}^p + g_{\text{физ}_1}) \eta_{\text{тепл}_1}}{(Q_{II}^r + g_{\text{физ}_2}) \eta_{\text{тепл}_2}} \frac{\text{м}^3}{\text{час}} \quad (16)$$

Зная выход сухого газа с 1 кг рабочего топлива при газификации V^r , легко найти производительность газогенератора по твердому топливу:

$$G_{\text{ТВ}} = \frac{V}{V^r} \frac{\text{кг}}{\text{час}}$$

§ 26. Определение расхода генераторного газа по расходу мазута

Для уяснения способа определения производительности газогенератора произведем приближенный расчет применительно

к камерным кузнечным печам при нагреве поковок до 1200°C . Исходные данные для расчета принимаем следующие:

1) Печи работают на мазуте теплотворностью $Q_{II}^p = 9800$ ккал/кг.

2) Расход мазута составляет $B = 60$ кг/час.

3) Физическим теплом мазута пренебрегаем.

4) Мазут сжигается с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,2$.

5) При сжигании мазута воздух предварительно не подогревается. Следовательно, $g_{\text{физ}_1} = 0$.

6) Генераторный газ, полученный при газификации дров влажностью 20% (отн.) в газогенераторе обращенного процесса, имеет теплотворность $Q_{II}^r = 1150$ ккал/ м^3 .

7) Генераторный газ очищен только от механических примесей и имеет температуру $t_r = 500^\circ\text{C}$.

8) В генераторном газе содержится водяного пара около $g_{II} = 0,12$ кг/ м^3 или $V_{II} = 0,15$ $\text{м}^3/\text{м}^3$.

9) Сжигание газа происходит с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,05$.

10) Воздух, поступающий для сжигания генераторного газа, подогрет до $t_{II} = 400^\circ\text{C}$.

Определим коэффициенты отъема тепла при сжигании мазута и генераторного газа, входящие в формулу (16).

Для мазута.

а) Расход воздуха.

Подставив в формулу (10) значение величин, найдем:

$$L = 1,2 \left(0,85 \cdot \frac{9800}{1000} + 2,0 \right) = 1,2 \cdot 10,3 = 12,36 \text{ м}^3/\text{кг},$$

что составляет в час:

$$L \cdot B = 12,36 \cdot 60 \cong 742 \text{ м}^3/\text{час}.$$

б) Объем продуктов горения.

Подставив значение величин в формулу (11), получим:

$$V^r = 1,11 \cdot \frac{9800}{1000} + (1,2 - 1) 10,3 = 12,9 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$V^r \cdot B = 12,9 \cdot 60 = 774 \text{ м}^3/\text{час}.$$

При этом содержание воздуха в продуктах полного сгорания составит:

$$V_{II} = \frac{(\alpha - 1) L_0}{V^r} 100 = \frac{(1,2 - 1) 10,3}{12,9} \cdot 100 \cong 16,0\%.$$

в) Начальное теплосодержание газов (продуктов горения) определяется по формуле:

$$i_{\text{нач}} = \frac{Q_{II}^p}{V^r} = \frac{9800}{12,9} = 760 \text{ ккал}/\text{м}^3.$$

г) Из рис. 20, на котором приведена $I - t$ -диаграмма, $i_{нач}$ и V_v , находим теоретическую температуру сгорания $t_t = 1880^\circ\text{C}$. Учитывая диссоциацию, принимаем $t_t = 1850^\circ\text{C}$.

Так как для получения достаточно интенсивного нагрева металла температура газов в печи t_n должна быть выше конечной температуры металла на $100-150^\circ$, то в данном случае принимаем $t_n = 1300^\circ\text{C}$. При этом пирометрический коэффициент будет равен:

$$\eta_{пир} = \frac{1300}{1850} = 0,7.$$

д) Если принять, что дымовые газы уходят из рабочего пространства печи при $t_{ух_1} = 1250^\circ\text{C}$, то, как видно из диаграммы (рис. 20), они уносят с собой тепла $i_{ух_1} = 460 \text{ ккал/нм}^3$, следовательно, 1 нм^3 продуктов сгорания оставляет в рабочем пространстве:

$$i_{нач_1} - i_{ух_1} = 760 - 460 = 300 \text{ ккал/нм}^3.$$

Коэффициент отъема тепла при этом будет равен:

$$\eta_{тепл_1} = \frac{760 - 460}{760} 100 \cong 39,5\%.$$

Для генераторного газа.

а) Расход воздуха.

Подставив значение ранее принятых величин в формулу (12), найдем:

$$L = 1,05 \cdot 0,875 \cdot 1,15 \cong 1,05 \cdot 1,0 = 1,05 \text{ нм}^3/\text{нм}^3.$$

б) Объем продуктов сгорания сухого генераторного газа может быть определен по формуле (13).

В случае сжигания влажного газа при определении объема продуктов сгорания необходимо учитывать также и объем водяного пара, содержащегося в газе. В нашем примере $V_n = 0,15 \text{ нм}^3/\text{нм}^3$ сухого газа. Следовательно,

$$V'' = 0,725 \cdot 1,15 + 1,0 + 0,05 \cdot 1,0 + 0,15 \cong 2,0 \text{ нм}^3/\text{нм}^3,$$

при этом в продуктах сгорания газа будет содержаться V_v воздуха:

$$V_v = \frac{(\alpha - 1) L_0}{V''} 100 = \frac{(1,05 - 1) 1,0}{2,0} 100 = 2,5\%.$$

в) Определение физического тепла газозвушной смеси: теплосодержание воздуха, подогретого до 400°C

$$q_v = C_v \cdot t_n \cdot L = 0,32 \cdot 400 \cdot 1,05 \cong 135 \text{ ккал/нм}^3,$$

где: $C_v = 0,32 \text{ ккал/нм}^3 \cdot \text{C}$ — теплоемкость воздуха; теплосодержание влажного генераторного газа

$$q_{в.г} = (C_r + q_v C_n) t_t = (0,34 + 0,12 \cdot 0,48) 500 \cong 200 \text{ ккал/нм}^3,$$

где: $C_r = 0,34 \text{ ккал/нм}^3$ — теплоемкость сухого газа, $C_n = 0,48 \text{ ккал/кг}$ — теплоемкость перегретого водяного пара.

Влагу газа рассматриваем, как пар; скрытую теплоту, как не влияющую на изменение температуры, не учитываем. Суммируя приведенное, находим:

$$q_{физ_2} = 135 + 200 = 335 \text{ ккал/нм}^3.$$

г) Начальное теплосодержание продуктов сгорания будет равно:

$$i_{нач_2} = \frac{Q_n + q_{физ_2}}{V''} = \frac{1150 + 335}{2,0} = 743 \text{ ккал/нм}^3.$$

д) Из рис. 20 находим, что при $i_{нач_2} = 743 \text{ ккал/нм}^3$ и $V_v = 2,5\%$ теоретическая температура сгорания газа $t_t = 1810^\circ\text{C}$, а с учетом диссоциации $t_t = 1780^\circ\text{C}$. При том же пирометрическом коэффициенте температура газов в печи будет $t_n = 0,7 \cdot 1780 = 1250^\circ\text{C}$, что является недостаточным для быстрого нагрева изделий до 1200°C , т. е. при той же производительности печи. Нагрев изделий до 1200°C при сжигании генераторного газа может быть достигнут двумя путями:

1) Уменьшением напряжения пода, так как при этом возрастает значение $\eta_{пир}$. Как правило, этот путь неприемлем, ибо это ведет к уменьшению производительности печи.

2) Повышением средней температуры пламени в печи, т. е. повышением температуры газов, оставляющих рабочее пространство печи $t_{ух}$, что приведет к некоторому уменьшению коэффициента отъема тепла.

Метод расчетного определения $t_{ух}$ приведен в книге профессора И. М. Рафаловича [3]. Для нашего примера принимаем $t_{ух} = 1300^\circ\text{C}$, при этом теплосодержание продуктов сгорания, определенное по кривой на рис. 20, $i_{ух} = 490 \text{ ккал/нм}^3$, следовательно, 1 нм^3 продуктов сгорания генераторного газа оставит в рабочем пространстве печи:

$$i_{нач_2} - i_{ух_2} = 743 - 490 = 253 \text{ ккал/нм}^3,$$

а коэффициент отъема тепла при этом будет равен:

$$\eta_{тепл_2} = \frac{743 - 490}{743} 100 \cong 34,0\%.$$

Подставляя в формулу (16а) значения величин, определенных расчетом, получим:

$$\frac{V}{B} = \frac{9500 \cdot 39,5}{(1150 + 335) \cdot 34,0} \cong 7,7.$$

Это значит, что для того, чтобы заменить 1 кг мазута, при указанных выше условиях, необходимо сжечь $7,7 \text{ нм}^3$ генераторного газа.

Общий расход газа при этом будет равен:

$$V = 7,7 \cdot B = 7,7 \cdot 60 = 462 \text{ нм}^3/\text{час.}$$

При этом расход воздуха составит:

$$V \cdot L = 462 \cdot 1,05 = 485 \text{ нм}^3/\text{час,}$$

т. е. на $485 - 462 = 23 \text{ нм}^3/\text{час}$ меньше, чем при работе мазуте.

Объем продуктов горения газа составит:

$$V \cdot V'' = 462 \cdot 2,0 = 924 \text{ нм}^3/\text{час,}$$

т. е. на $924 - 774 = 150 \text{ нм}^3/\text{час}$ больше, чем при работе мазуте.

Из приведенного расчета видно также, что при сжигании охлажденного газа без подогрева воздуха расход газа значительно возрастет и температура нагрева может оказаться недостаточной. Очевидно, что в печах, где температура нагрева металла будет меньше 1200°C , эквивалентный расход газа будет меньше, так как не будет большой разницы в коэффициентах отъема тепла.

Для определения производительности газогенератора к твердому топливу необходимо знать выход газа с 1 кг твердого топлива.

§ 27. Определение расхода генераторного газа в зависимости от размера и напряженности пода печи

Количество тепла, которое необходимо выделить в кузнечной печи, чтобы обеспечить нагрев металла до ковочных температур, зависит от габаритов и конструкции печи, режима нагрева, величины и формы поковок, удельной производительности (напряженности пода), свойства топлива и способа его сжигания.

Эти факторы включают в себя тепловые характеристики к.п.д. топочного процесса, коэффициент отъема тепла, а также тепловые потери в окружающую среду и теплоемкость дымовых газов. Следовательно, для определения необходимого расхода газа, для тщательного проведения полного теплового расчета печи.

Проведение полного теплового расчета печи является довольно сложным и для этого требуется большое число исходных данных, часть которых не всегда может оказаться в наличии. Поэтому для предварительного определения необходимого объема генераторного газа не обязательно проведение полного теплового расчета печи, а можно ограничиться приближенным расчетом.

Известно, что передача тепла в печи происходит за счет непосредственного соприкосновения движущихся в печи горя-

чих газов с нагреваемыми изделиями и за счет излучения тепла газами, пламенем и стенками печи. Передача тепла изделию конвекцией при температурах кузнечной печи ($1250-1350^\circ\text{C}$) составляет очень небольшую часть тепла, поглощаемого изделием. Практически эта величина в высокотемпературных камерных печах не бывает выше 3—8% и поэтому мало влияет на производительность печи. В основном же тепло передается изделию теплоизлучением.

Тепло, воспринимаемое металлом, определяется следующим уравнением:

$$Q_m = G_m C_{cp} \cdot t_m, \quad (19)$$

где:

G_m — вес металла, нагреваемого в единицу времени кг/час,
 C_{cp} — средняя теплоемкость металла в интервале нагреваемых температур ккал/кг $^\circ\text{C}$,
 t_m — температура нагрева металла $^\circ\text{C}$.

В практике поковки куются чаще всего не с одного нагрева, а с дополнительным подогревом. В Ленинградском филиале Гипромеза разработаны графики для приближенного определения расхода твердого, жидкого и газообразного топлива при нагреве металла в кузнечных печах. На рис. 23 приведен один из упомянутых графиков, выражающий зависимость расхода охлажденного генераторного газа теплотворностью $Q_n = 1100 \text{ ккал/нм}^3$ от напряженности пода для нагревательной печи площадью пода 1 м^2 , при трех режимах нагрева металла.

При установлении зависимостей (рис. 23) температура отходящих дымовых газов принята равной 1250°C , а при определении потерь тепла через кладку печи средняя толщина всех стенок и свода принималась: шамота — 230 мм , изоляции — 70 мм . Расход тепла во время простоев и разогрева печи в удельном расходе газа не учтен.

Если теплотворность газа будет иной, не 1100 ккал/нм^3 , а также при наличии подогрева воздуха и газа, соответственно изменится и потребный расход газа.

При сжигании более калорийного газа или при вводе в печь физического тепла от подогрева воздуха, воздуха и газа, определенный по рис. 23 расход газа следует умножить на соответствующий поправочный коэффициент, приведенный в табл. 19.

При определении расхода газа для печи с иной площадью пода полученную по кривым рис. 23 величину следует умножить на коэффициент для печи с площадью пода $0,5 \text{ м}^2$ на $0,9$, а для печи с площадью пода $1,5 \text{ м}^2$ на $1,1$.

Сталь в печах целесообразно нагревать быстро, так как с увеличением скорости нагрева повышается производительность печи, а следовательно уменьшаются потребные габариты печей. При быстром нагреве уменьшаются потери металла,

вызванные образованием окалины и обезуглероженного поверхностного слоя. При скоростном нагреве газы уходят из печи с более высокой температурой, чем в обычных печах, в

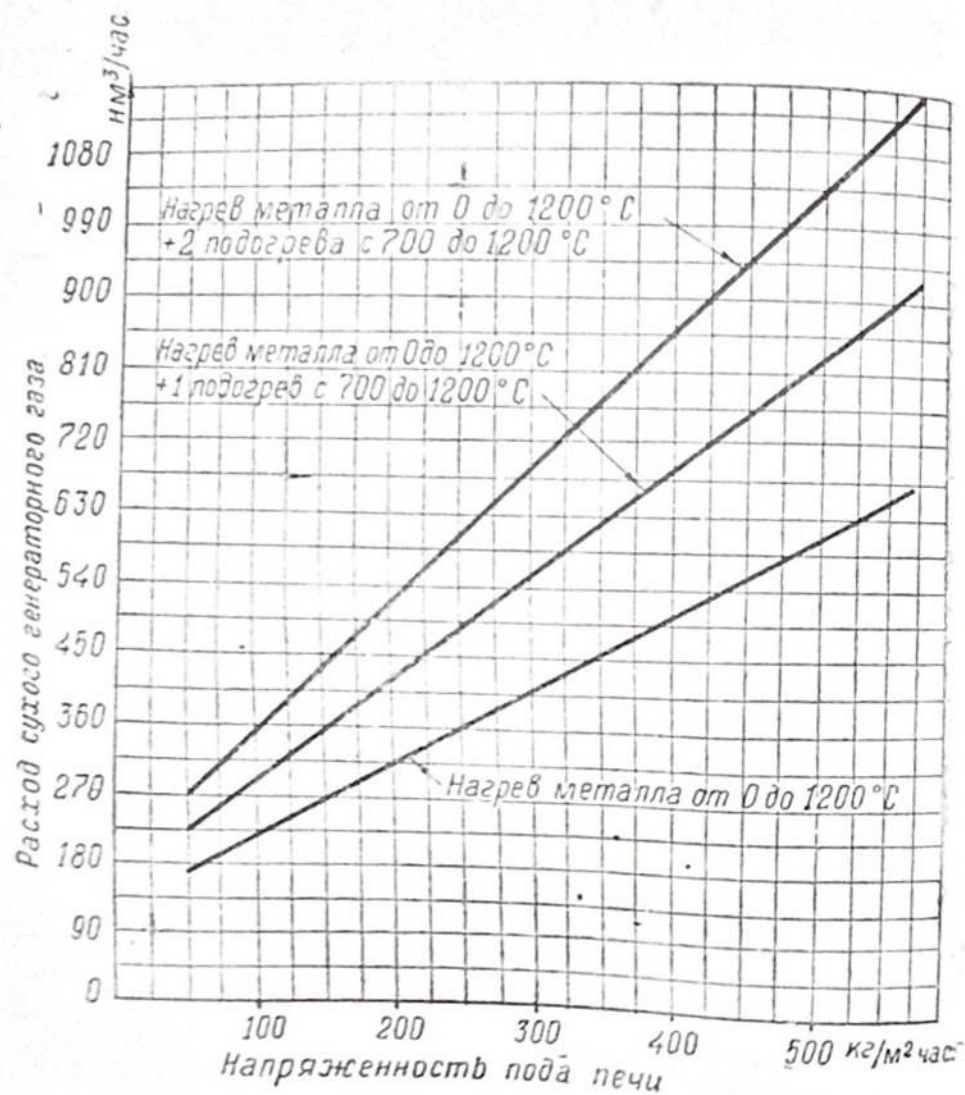


Рис. 23. Изменение расхода сухого охлажденного генераторного газа теплотворностью $Q_n^r = 1100$ ккал/нм³ в нагревательной печи площадью пода 1 м^2 в зависимости от напряженности пода при различных режимах нагрева металла и отсутствии подогрева воздуха.

с чем увеличиваются потери тепла с отходящими газами. Для уменьшения потерь тепла с отходящими газами печи следует оборудовать рекуператорами.

Таблица 1

Теплосодержание газа ккал/нм³	1200	1300	1400	1500	1600
Поправочный коэффициент	0,92	0,815	0,735	0,667	0,6

Приведем пример определения расхода газа по указанному методу.

- Исходные данные для расчета принимаем следующие:
- 1) Нагревательная печь площадью пода $S = 1,5 \text{ м}^2$.
 - 2) Напряженность пода печи $200 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$.
 - 3) Теплотворность газа низшая $Q_n^r = 1200 \text{ ккал/нм}^3$.
 - 4) Температура подогрева воздуха $t_b = 400^\circ \text{C}$.
- Принимаем коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,05$, тогда расход воздуха, определяемый по формуле (12), будет равен

$$L = 1,05 \cdot 0,875 \frac{1200}{1000} = 1,1 \text{ нм}^3/\text{нм}^3$$

Тепло, вносимое подогретым воздухом,

$$q_b = C_b \cdot L \cdot t_b = 0,32 \cdot 1,1 \cdot 400 \approx 140 \text{ ккал/нм}^3 \text{ газа.}$$

Общее количество тепла, поступающее в печь:

$$Q = Q_n^r + q_b = 1200 + 140 = 1340 \text{ ккал/нм}^3$$

Поправочный коэффициент в данном случае будет равен 0,785.

По рис. 23 находим, что для печи с площадью пода 1 м^2 при напряженности пода в $200 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ расход газа с теплотворностью $Q_n^r = 1100 \text{ ккал/нм}^3$ составляет:

- а) при одном нагреве металла от 0° до 1200°C — $315 \text{ нм}^3/\text{час}$,
- б) при нагреве металла от 0° до 1200°C + один подогрев с 700° до 1200°C — $415 \text{ нм}^3/\text{час}$,
- в) при нагреве металла от 0° до 1200°C + два подогрева с 700° до 1200°C — $520 \text{ нм}^3/\text{час}$.

Для условий примера приведенные расходы необходимо умножить на поправочные коэффициенты — 1,1 и 0,785. Следовательно, искомый расход газа составит:

- а) для первого режима $V_r = 315 \cdot 1,1 \cdot 0,785 \approx 272 \text{ нм}^3/\text{час}$,
- б) для второго режима $V_r = 415 \cdot 1,1 \cdot 0,785 \approx 358 \text{ нм}^3/\text{час}$,
- в) для третьего режима $V_r = 520 \cdot 1,1 \cdot 0,785 \approx 450 \text{ нм}^3/\text{час}$.

РАСЧЕТ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ОБРАЩЕННОГО ПРОЦЕССА

Расчет газогенератора обращенного процесса состоит из двух частей: расчета рабочего процесса и расчета основных конструктивных элементов.

§ 29. Расчет рабочего процесса газогенератора

а) Расчет состава газа. Для теплового расчета процесса газификации твердого топлива необходимо хотя бы приблизительно определить возможный средний состав генераторного газа. Расчет среднего состава сухого газа при газификации древесного топлива по обращенному процессу произведем 1 моль органической массы по нашему методу¹.

Основные балансовые уравнения.

1) Уравнение материального баланса углерода:

$$\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 = 42.$$

2) Уравнение материального баланса водорода:

$$\text{H}_2 + 2\text{CH}_4 = 30 + X.$$

3) Уравнение материального баланса азота:

$$\text{N}_2 = 26,5 + 1,88(\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + X).$$

Дополнительные соотношения, принимаемые на основании опытных данных:

4) Отношение

$$\text{CO} : \text{CO}_2 = m.$$

5) Отношение

$$\frac{\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4}{\text{H}_2 + 2\text{CH}_4} = \frac{42}{30 + X} = n.$$

Для газогенераторов обращенного процесса, в которых имеется керамическая футеровка и осуществлен предварительный подогрев воздуха, значения m и n изменяются, в зависимости от влажности дров (W_p) по следующим уравнениям:

$$m = 1,55 - 0,01 W_p$$

$$n = 1,35 + 0,01 W_p.$$

При $W_p = 20$, $m = 1,35$, а $n = 1,55$.

Среднее содержание метана в древесном газе обращенного процесса составляет 2%. По кривым, приведенным на рис. 24, находим, что 2% метана при указанных значениях m и n соответствуют примерно 2,5 моля метана.

Решая совместно уравнения (20) и (23), определяем число молей CO и CO₂:

$$\text{CO}_2 + \text{CO} = 42 - \text{CH}_4 = 42 - 2,5 = 39,5 \text{ моля.}$$

$$\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2} = 1,35; \quad \text{CO} = 1,35 \cdot \text{CO}_2.$$

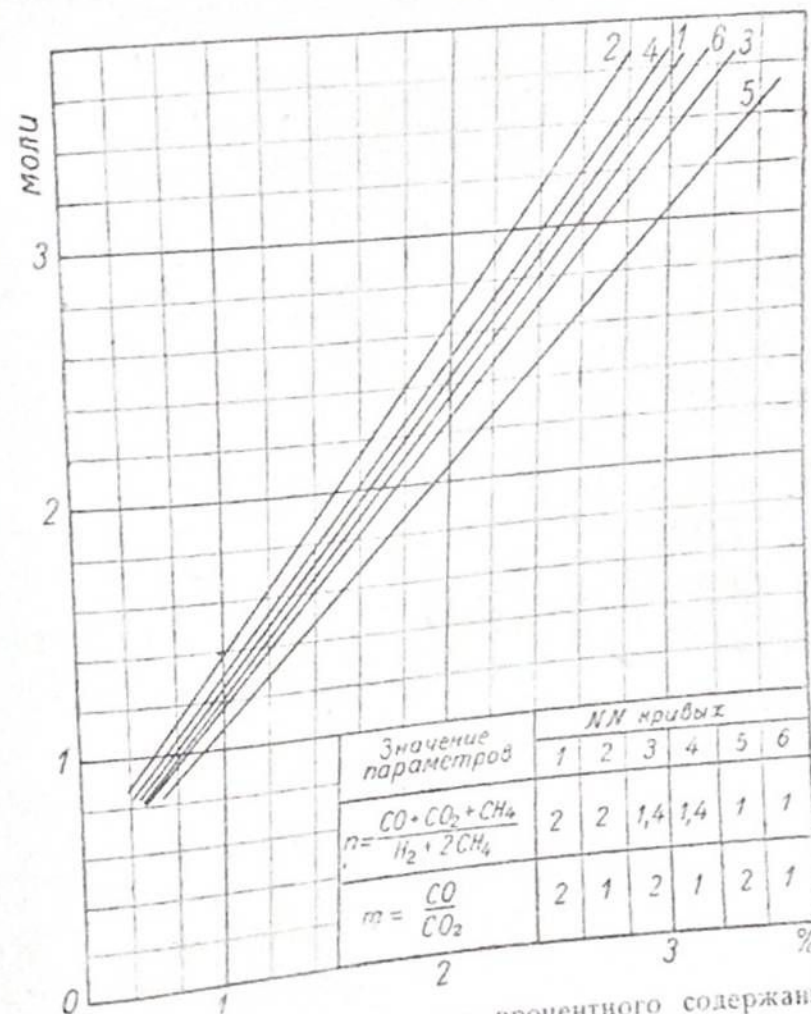


Рис. 24. Кривые для перевода процентного содержания метана в силовом генераторном газе из древесины в моли.

Отсюда

$$\text{CO}_2 = \frac{39,5}{2,35} = 16,8 \text{ моля}$$

$$\text{CO} = 22,7 \text{ моля.}$$

Из уравнения (24) находим величину

$$X = \frac{42 - 30 \cdot 1,55}{1,55} = -4,5 \text{ моля.}$$

¹ З. А. Хандов и А. Б. Генин. Судовые газосиловые установки. Речиздат. 1951 г. стр. 86-91.

Количество молей водорода определится из уравнения (21)

$$H_2 = 30 - 2 \cdot CH_4 - X = 30 - 2 \cdot 2,5 - 4,5 = 20,5 \text{ моля.}$$

Подставляя значения величин, входящих в уравнение (22) находим число молей азота:

$$N_2 = 26,5 + 1,88(16,8 - 2,5 + 4,5) = 61,8 \text{ моля.}$$

По сумме молей определяем объемный состав сухого газа в процентах:

Наименование компонента газа	Обозначение	Состав газа	
		в молях	в %
Углекислый газ	CO ₂	16,8	13,5
Окись углерода	CO	22,7	18,3
Метан	CH ₄	2,5	2,0
Водород	H ₂	20,5	16,5
Азот	N ₂	61,8	49,7
Итого	—	124,3	100,0

б) Определение расходных показателей и составление материального баланса процесса газификации. Средний состав рабочего топлива для данной влажности принимаем из таблицы 1.

Углерод	C ^p = 39,6%
Водород	H ^p = 4,7%
Кислород	O ^p = 34,6%
Азот	N ^p = 0,3%
Зола	A ^p = 0,8%
Влага	W ^p = 20,0%

1) Выход сухого газа с 1 кг рабочего топлива.

Весовое содержание углерода в 1 м³ сухого газа определяется по формуле:

$$C_r = \frac{G_m}{V_m} (CO + CO_2 + CH_4) \quad (27)$$

где: G_m — молекулярный вес углерода,
V_m — объем моля газа,

CO, CO₂, CH₄ — объем компонентов в 1 м³ сухого газа.

Подставив в формулу (27) значение величин, получим:

$$C_r = \frac{12}{22,4} (0,183 + 0,135 + 0,02) \approx 0,18 \text{ кг/м}^3$$

Выход газа определяется как отношение разности углерода в рабочем топливе и угольной мелочи, уносимой газовым потоком, к содержанию углерода в генераторном газе:

$$V_r = \frac{C_p - C_m}{C_r} \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (28)$$

где: C_m — механические потери углерода, которые составляют примерно 2,0%.

В данном случае выход сухого газа составляет:

$$V_r = \frac{0,396 - 0,02}{0,18} \approx 2,08 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

2) Расход воздуха для газификации 1 кг рабочего топлива определяется по азотному балансу. Весовое содержание азота в сухом газе определяется формулой:

$$N_r = \frac{G_m}{V_m} N_2 \cdot V_r \text{ кг/кг}, \quad (29)$$

где: N₂ — объемное содержание азота в газе в м³/м³,
G_m — молекулярный вес азота.

В данном случае:

$$N_r = \frac{28}{22,4} 0,497 \cdot 2,08 \approx 2,293 \text{ кг/кг.}$$

По разности азота в газе и в древесном топливе определяется количество азота, поступившего в газ из воздуха:

$$N_a = N_r - N^p = 2,293 - 0,003 = 2,29 \text{ кг/кг.}$$

Соответственно кислорода из воздуха поступило:

$$O_a = \frac{23}{77} 2,29 = 0,385 \text{ кг/кг.}$$

Следовательно, расход воздуха при газификации составил:

$$N_a + O_a = 2,29 + 0,385 = 2,675 \text{ кг/кг,}$$

или, разделив на 1,293 кг/м³ (вес воздуха), получим объемный расход воздуха:

$$V_a = 2,675 : 1,293 \approx 2,07 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Аналогично предыдущему, находят весовое содержание кислорода в составе компонентов сухого газа:

$$O_r = \frac{G_m}{V_m} (CO_2 + 0,5 \cdot CO) V_r \text{ кг/кг.} \quad (30)$$

Подставив значения величин, найдем:

$$O_r = \frac{32}{22,4} (0,135 + 0,5 \cdot 0,183) 2,08 = 0,67 \text{ кг/кг.}$$

3) Влагосодержание газа определяется по водородному балансу. В газ и во влагу газа поступило водорода:

$$\Sigma H = H^p + \frac{W^u}{9} \text{ кг/кг.} \quad (31)$$

Подставив значение величин в формулу (31), получим:

$$\Sigma H = 0,047 + 0,022 = 0,069 \text{ кг/кг.}$$

Содержание водорода в сухом газе определяется по формуле:

$$H_r = \frac{G_m}{V_m} (H_2 + 2CH_4) V_r \text{ кг/кг.} \quad (32)$$

В данном случае:

$$H_r = \frac{2}{22,4} (0,165 + 2 \cdot 0,02) 2,08 = 0,038 \text{ кг/кг.}$$

По разности водорода, поступившего в газогенератор, и его содержанию в сухом газе определяется количество водорода, оставшегося во влаге газа:

$$H_w = \Sigma H - H_r \text{ кг/кг.} \quad (33)$$

Подставив значения величин в формулу (33), получим:

$$H_w = 0,069 - 0,038 = 0,031 \text{ кг/кг.}$$

Следовательно, самой влаги будет в 9 раз больше:

$$W_1 = 0,031 \cdot 9 = 0,28 \text{ кг/кг,}$$

что составляет на 1 м³ сухого газа:

$$W_2 = W_1 : V_r = 0,28 : 2,08 = 0,135 \text{ кг/м}^3 \text{ или } 0,168 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Правильность расчета проверяется составлением материального баланса процесса по элементам на 1 кг рабочего топлива

№№ пп	Наименование статей	C	H ₂	O ₂	N ₂	A	Всего
Приход							
1	Сухая часть топлива	0,396	0,047	0,346	0,003	0,008	0,80
2	Влага топлива	—	0,022	0,178	—	—	0,20
3	Воздух	—	—	0,385	1,290	—	1,675
Итого		0,396	0,069	0,909	1,293	0,008	2,675
Расход							
1	Сухой газ	0,376	0,038	0,670	1,293	—	2,377
2	Влага газа	—	0,031	0,249	—	—	0,280
3	Угольная мелочь	0,020	—	—	—	—	0,020
4	Зола	—	—	—	—	0,008	0,008
Итого		0,396	0,069	0,919	1,293	0,008	2,685
Невязка в балансе		—	—	0,010	—	—	0,010

Расхождение в материальном балансе имеет место только по кислороду в 0,01 кг/кг, что составляет около 0,4%.

в) **Тепловой баланс процесса газификации 1 кг древесного топлива.** Определенный расчетом средний состав газа имеет теплотворность (см. формулы 7 и 8):

а) Низшая

$$Q_n^r = 30,45 \cdot 18,3 + 25,8 \cdot 16,5 + 85,2 \cdot 2,0 \cong 1150 \text{ ккал/м}^3.$$

б) Высшая

$$Q_n^g = 30,45 \cdot 18,3 + 30,48 \cdot 16,5 + 95,0 \cdot 2,0 = 1250 \text{ ккал/м}^3.$$

Приход тепла.

1) Высшая теплотворность древесного топлива $Q_n^g = 3720$ ккал/кг по таблице 1.

2) Теплосодержание воздуха.

Принимаем температуру подогрева воздуха равной $t_n = 200^\circ\text{C}$, тогда физическое тепло воздуха:

$$Q_n = C_v \cdot V_n \cdot t_n = 0,32 \cdot 1,29 \cdot 200 = 82 \text{ ккал/кг,}$$

где C_v — теплоемкость воздуха, равная 0,32 ккал/м³·°C.

Итого подводится в газогенератор тепла:

$$Q_n = 3720 + 82 = 3802 \text{ ккал/кг.}$$

Расход тепла.

1) Высшая теплотворность сухого газа, полученного с 1 кг дров

$$Q_n^g = 1250 \cdot 2,08 = 2600 \text{ ккал/кг.}$$

2) Теплотворность угольной мелочи, уносимой газовым потоком, считая за углерод

$$Q_n = 8100 \cdot 0,02 = 162 \text{ ккал/кг.}$$

3) Тепло, оставшееся в камере газификации по разности:

$$Q_k = Q_n - Q_n^g - Q_n = 3802 - 2600 - 162 = 1040 \text{ ккал/кг.}$$

На основании экспериментальных данных можно принять, что около 25% оставшегося в камере газификации тепла выделяется в окружающую среду. В данном случае $Q_{окр} = 260$ ккал/кг. Следовательно, теплосодержание парогазового потока будет:

$$Q_{ог} = Q_k - Q_{окр} - Q_n = 1040 - 260 - 82 = 698 \text{ ккал/кг.}$$

Температура парогазового потока на выходе из газогенератора определяется по формуле:

$$Q_{ог} = (i - 100 C_n) W_1 + (C_r \cdot V_r + C_n \cdot W_1) t_r, \quad (34)$$

где i — теплосодержание водяного пара при 1 ата — 639 ккал/кг,
 C_r — теплоемкость сухого газа 0,34 ккал/м³,
 C_n — теплоемкость перегретого водяного пара 0,48 ккал/кг.

Подставив в формулу (34) значения величин, найдем температуру газового потока на выходе из генератора:

$$t_r = \frac{Q_{пр} - (t - 100) C_n W_1}{C_r \cdot V_r + C_n \cdot W_1} = \frac{698 - (639 - 100 \cdot 0,48) \cdot 0,28}{0,34 \cdot 2,08 + 0,48 \cdot 0,28} \cong 630^\circ \text{C}.$$

В заключение рассмотрим, целесообразно ли сжигать в печах сырой горячий газ. Допустим, что по пути от газогенератора до печи температура газа снизится до 500°C ; каково при этом будет теплосодержание:

а) газа

$$q_r = 0,34 \cdot 2,08 \cdot 500 \cong 354 \text{ ккал/кг (60,0\%)}.$$

б) пара

$$q_n = [639 + (500 - 100) \cdot 0,48] \cdot 0,28 \cong 233 \text{ ккал/кг (40,0\%)}.$$

Температура выхода продуктов сгорания из рабочей камеры печи, определенная ранее $t_n = 1300^\circ \text{C}$. Следовательно, на перегрев водяного пара, содержащегося в газе, будет затрачено в данном случае $0,48 (1300 - 500) \cdot 0,28 = 107$ ккал/кг, что значительно меньше, чем подводится с сухим горячим газом.

Из приведенного примера видно, что газопечная установка будет проще и экономичнее, если газогенератор смонтирован недалеко от печей, что позволяет подавать в печи горячий газ.

При газификации топлива с большей влажностью снизятся как теплотворность сухого газа, так и температура парогазового потока, при этом изменится соотношение между количеством тепла в водяном паре и сухом газе. Поэтому при газификации дров влажностью выше 30%, сжигание сырого горячего газа будет мало эффективно.

§ 29. Расчет конструктивных элементов

К числу основных конструктивных элементов газогенератора обращенного процесса, которые рассчитываются приближенно, относятся камера газификации, воздушные фурмы, бункер и зольник.

Определение габаритов камеры газификации. Продолжим пример, рассмотренный в § 26. Согласно выше-произведенному расчету для замены 60 кг мазута необходимо сжигать $V = 60 \cdot 7,7 = 462$ $\text{нм}^3/\text{час}$ сухого газа. Для получения указанного объема газа согласно формуле (18) необходимо газифицировать дров:

$$G = \frac{V}{V_r} = \frac{462}{2,08} = 220 \text{ кг}$$

Принимаем интенсивность газификации $\tau = 400$ $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ час}$, тогда сечение камеры газификации на уровне фурм получим:

$$S_k = \frac{G}{\tau} = \frac{220}{400} = 0,55 \text{ м}^2. \quad (35)$$

Так как расстояние между стенками камеры, обращенными к торцам, определяется длиной полен, в данном случае, учитывая косой распил, принимаем $l = 530$ мм, то расстояние между стенками, обращенными к боковым поверхностям полен:

$$b = \frac{S_k}{l} = \frac{0,55}{0,53} \cong 1,0 \text{ м}. \quad (36)$$

Обеспечить проникновение воздуха при таком расстоянии между стенками не представляется возможным, поэтому в зависимости от местных условий можно принять к установке два газогенератора типа ЦНИИРФ-18, либо один газогенератор, схема которого изображена на рис. 15, но из двух секций с переборкой в середине. Сечение каждой камеры газификации в плане на уровне фурм будет $S_k = 0,5 \times 0,53 = 0,265$ м^2 .

В каждой камере или в каждом газогенераторе типа ЦНИИРФ-18 должно при этом газифицироваться $G_1 = 110$ $\text{кг}/\text{час}$. Высоту камеры газификации обычно не рассчитывают. Расстояние от плоскости расположения фурм до нижней кромки камеры газификации, т. е. до места выхода газа из слоя согласно ГОСТ 5581-50 может быть принято равным 500 мм.

Определение числа и диаметра фурм. Согласно ГОСТ 5581-50 для подобного типа газогенераторов удельное сечение фурм рекомендуется принимать равным 25—30 мм^2 на 1 $\text{кг}/\text{час}$ газифицируемого топлива. В связи с тем, что в газогенераторе осуществлен подогрев воздуха, удельное сечение фурм принимаем $S_\phi = 30$ $\text{мм}^2/\text{кг час}$. Следовательно, суммарное сечение всех фурм, расположенных в одной камере сдвоенного газогенератора или в одном газогенераторе типа ЦНИИРФ-18, должно быть

$$S_\phi = S_\phi \cdot G_1 = 30 \cdot 110 = 3300 \text{ мм}^2. \quad (37)$$

В практике получили распространение фурмы диаметром 8—10 мм. Выбор диаметра производится из конструктивных соображений, т. е. равномерного и удобного размещения фурм и футеровки камеры газификации. При диаметре фурмы 8 мм число их должно быть 65 шт., а при диаметре 10 мм число фурм равно 42 шт. Фурмы могут быть расположены в двух рядах.

Проверим, какова будет скорость движения воздуха в фурмах. Ранее при расчете рабочего процесса было определено, что расход воздуха составляет 1,29 $\text{нм}^3/\text{кг}$, следовательно

фактический объем воздуха, поступающего в одну камеру газификации, учитывая подогрев его до 200°C , будет равен:

$$V_{\text{вф}} = \frac{1,29 \cdot 110 (273 + 200)}{3600 \cdot 273} \cong 0,068 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

При указанном суммарном сечении фурм скорость воздуха в фурмах составит:

$$\omega_{\text{в}} = \frac{V_{\text{вф}}}{S_{\text{ф}}} = \frac{0,068}{0,0033} \cong 20,6 \text{ м/сек,}$$

что является вполне допустимым.

Объем зольника определяют обычно при сухом зольном удалении, когда чистка зольника возможна лишь при прекращении отбора газа. В стационарных условиях рекомендуется в зольнике иметь гидравлический затвор, позволяющий проводить его очистку на ходу.

Высота бункера определяется из условий удобства подачи и загрузки топлива. Минимальная высота слоя дров над фурмами составляет примерно 1000 мм. При высоком бункере можно реже загружать дрова, но в случае застревания отдельных поленьев шуровки более затруднены.

ГЛАВА XI

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ РЕКУПЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА

§ 30. Два способа подогрева воздуха

Многие современные печи, использующие газообразное топливо, работают с недостаточно высоким кпд. Анализ тепловых балансов высокотемпературных печей позволяет установить, что зачастую потери тепла с отходящими газами составляют 40, 50 и даже 60%, потери тепла от неполноты сгорания 5—15%, прочие потери доходят до 20—30% и полезное используется лишь 20—35% тепла.

Основными путями повышения экономичности газовых печей являются:

1) Полное сжигание газа, т. е. устранение потерь тепла от недожога при одновременном уменьшении избытка воздуха. Следовательно, и объема отходящих продуктов сгорания.

2) Снижение температуры отходящих газов путем эффективного использования их физического тепла для подогрева воздуха, газа и подсушки твердого топлива.

Существуют два способа подогрева воздуха: регенеративный и рекуперативный.

В регенераторах горячие продукты сгорания сначала нагревают помещенные в них насадки (керамические или ме-

таллические), которые затем охлаждаются воздухом, проходящим через регенератор в следующий период. Продукты сгорания из печей и воздух протекают через регенератор попеременно. Часть тепла нагретой насадки используется для нагрева воздуха. Для небольших печей применение громоздких регенераторов является нерациональным.

Рекуператоры более надежны в эксплуатации и характеризуются тем, что продукты сгорания и нагреваемый воздух движутся через них одновременно в разных плоскостях, разделенных стенкой, через которую и происходит теплообмен. Рекуператоры бывают керамические и металлические.

§ 31. Основные типы металлических рекуператоров

Наиболее распространенные металлические рекуператоры могут быть разделены на три основные группы: рекуператоры из гладких труб, игольчатые из отдельных секций и монолитные в виде термоблоков. Конструктивные и эксплуатационные характеристики некоторых типов рекуператоров приведены в табл. 20.

Рекуператоры из стальных гладких труб достаточно газоплотны, засоряемость их меньше, чем чугуновых игольчатых. Трубчатые рекуператоры обладают небольшой тепловой эффективностью, относительно громоздки и менее жароустойчивы, чем чугуновые игольчатые рекуператоры. Рекуператоры из гладких труб применяют обычно в установках с мощными нагревательными печами, с расходом условного топлива больше чем 1,5 т в час.

Игольчатые рекуператоры обладают высокой тепловой эффективностью, компактностью и удовлетворительной жаростойкостью.

Недостатками игольчатых рекуператоров являются их большая, чем у других типов рекуператоров, засоряемость и трудность получения абсолютной газоплотности в связи с большим количеством фланцевых соединений. Уменьшение газоплотности особенно возрастает с увеличением габаритов игольчатого рекуператора. Поэтому их целесообразно применять для небольших печей.

Игольчатые рекуператоры можно рекомендовать для термических и нагревательных печей, с современными горелочными устройствами, позволяющими закончить процесс сгорания в рабочем пространстве печи с температурой продуктов сгорания на выходе не выше 1000°C .

Монолитные рекуператоры "термоблок" по газоплотности и тепловой эффективности могут быть приравнены к трубчатым рекуператорам. Жароустойчивость монолитных рекуператоров выше, чем трубчатых и игольчатых, но они более громоздки и тяжелые.

Таблица 20

№ п/п	Наименование	Единицы измерения	Типы рекуператоров					Из гладких труб
			Монолитные (термоблок)			Игольчатые двусторонние		
			МЭИ	ЦНИИТ маш	Пуговкина	большой	малый	
1	Условная поверхность нагрева	м ²	1,2	0,663	0,84	11,25	0,535	8,75
2	Скорость нагреваемой среды	нм/сек	8-10	6-10	8,9	8,0	5,0	4,7
3	Скорость продуктов горения	нм/сек	1,0-1,5	1,3-2,0	1,7	1,5	1,7	2,0
4	Коэффициент теплопередачи, отнесенный к расчетной поверхности при наибольших скоростях продуктов горения и воздуха	ккал/м ² час °С	20-25	25	27,6	108	60	21,8
5	Количество воздуха, проходящего через рекуператор	нм ³ /час	80-100	250	178	3500	200	1000
6	Сопротивление на пути воздуха при максимальной скорости	мм вод. ст.	100	60	40	100	90	—
7	Температура подогрева воздуха	°С	450	260	310	375	300	400
8	Вес всего рекуператора или секции	кг	200	122	245	2600	175	657
9	Поверхность нагрева, отнесенная к 1 м ³ занимаемого рекуператором	м ² /м ³	21,6	11,5	19,1	6,4	4,45	7,5
10	Объемн. коэфф. теплопередачи	ккал/м ³ час °С	540	290	526	690	267	163
11	Вес рекуператора, отнесенный к единице тепловой производительности	кг/ккал/час °С	7,0	7,4	10,5	2,1	5,5	3,5

Монолитные рекуператоры рационально применять на малых печах и в тех случаях, когда нет гарантии в том, что процесс горения заканчивается в рабочем пространстве печи, а разбавление продуктов сгорания перед рекуператором холодным воздухом конструктивно сложно. Монолитные рекуператоры несложны в изготовлении и могут быть отлиты почти на любом судоремонтном заводе. Изготавливаются монолитные рекуператоры следующим образом: из листовой стали толщиной 5-6 мм заготавливают четыре трубные доски с отверстиями в двух для воздушных труб и в двух для газовых труб. После того как трубы вставлены в отверстия трубных досок, пространство между трубками заливают чугуном; таким образом, образуется монолитный блок, пронизанный в двух направлениях трубками и ограниченный с четырех сторон трубными досками. Трубные доски, в которых вставлены воздушные трубы, служат одновременно и фланцами для крепления раструбов воздухопроводов.

Для подогрева воздуха, достаточного для сжигания 15 кг мазута в час, что соответствует примерно 150 нм³ генераторного газа в час, монолитный рекуператор характеризуется следующими величинами:

1. Длина — 630 мм, ширина — 310 мм, высота — 240 мм.

2. Трубки

	диаметр	длина	число
а) для воздуха	13 мм	30 мм	28 шт.
б) для газа	19 мм	240 мм	74 шт.

3. Поверхность нагрева:

а) по воздушной стороне — 0,84 м²,
б) по газовой стороне — 1,15 м².

4. Вес рекуператора в собранном виде — 245 кг. Рекуператор был установлен на кузнечной печи с площадью пода 0,35 м², как указано на рис. 25.

При эксплуатации рекуператора были получены следующие результаты:

1. Количество воздуха, протекавшего через рекуператор, составляло 170-178 нм³/час.

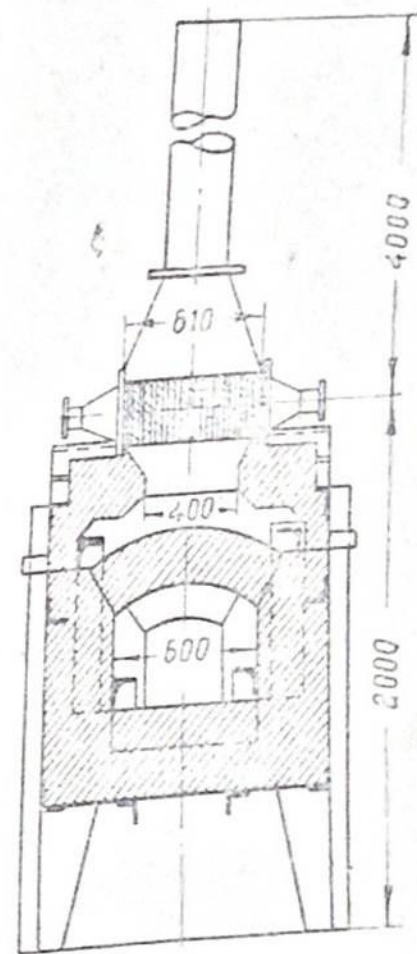


Рис. 25. Установка рекуператора на кузнечной печи.

2. Температура подогрева воздуха: средняя 260°C , максимальная — 310°C .

3. Гидравлическое сопротивление рекуператора по воздуху среднее — 35 мм вод. ст.

4. Количество продуктов горения, прошедших через рекуператор, составляло $55\text{--}60\%$ от всего объема газов, образовавшихся при сжигании топлива в печи, по условиям теплологического процесса работы печи.

5. Температура дымовых газов:

а) перед рекуператором $970\text{--}1080^{\circ}\text{C}$,

б) после рекуператора $580\text{--}650^{\circ}\text{C}$.

6. Гидравлическое сопротивление рекуператора по газу колебалось от $2\text{ до }4\text{ мм вод. ст.}$ Установленная над рекуператором труба высотой $4,0\text{ м}$ обеспечивала отвод продуктов горения из печи.

Для печей больших размеров может быть установлена несколько параллельно включенных рекуператоров.

ГЛАВА XII

ТИПЫ ГАЗОВЫХ ГОРЕЛОК И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В условиях промышленных топков химические реакции горения газа происходят практически мгновенно, поэтому скорость сжигания определяется быстротой перемешивания газа с воздухом.

В современных газовых горелках можно сжигать газы различной теплотворности с коэффициентом избытка воздуха близким к единице. Если теплотворность газа низка, то для получения высоких температур нагрева металла применяются предварительный, до поступления в горелку, подогрев воздуха и иногда воздуха и газа. Для сжигания незначительно подогретых газа и воздуха пригодны почти все типы горелок. Если же температура подогрева газа и воздуха близка к температуре воспламенения газозвушной смеси, то в этом случае применяются горелки, в которых смешение газа с воздухом происходит по выходе.

Горелки, внутри которых газ смешивается с воздухом непосредственно для полного сжигания, зачастую называют «беспламенными» или «бесфакельными». Раскаленный пламя или факел образуется и в случае полного предварительного смешения газа и воздуха, но это пламя (факел) является слабо светящимся или несветящимся. Так как газы и воздух молекулярно перемешаны между собой еще до выхода из горелок, то образующееся пламя является очень коротким. При выборе типа газовой горелки необходимо учитывать состав, температуру и степень очистки сжигаемого

температуру и давление газа и воздуха при входе в горелку, условия, в которых будет протекать сжигание газа, и температуру, которая должна быть обеспечена в печи.

Для сжигания газа в промышленных печах применяются различные по конструкции горелки, которые могут быть разделены на следующие группы:

1. Горелки для очищенного газа низкого давления.

2. Горелки для очищенного газа повышенного давления.

3. Горелки для неочищенного горячего газа.

Рассмотрим конструктивные особенности типовых горелок каждой группы и рациональность их применения на предприятиях Министерства речного флота.

§ 32. Горелки для очищенного газа низкого давления

Горелки для газа низкого давления, как правило, просты по своей конструкции и не требуют установки газодувки для повышения давления газа. Горелки низкого давления бывают двух типов:

1) Горелки, в которых потоки газа и воздуха движутся отдельно и смешиваются по выходе из горелки.

2) Горелки, в которых смешение газа с воздухом производится в самой горелке.

Наиболее распространенные щелевые горелки конструкции Союзтеплостроя относятся к первому типу. Щелевые горелки Союзтеплостроя бывают с односторонним подводом газа и воздуха (ГЩО, рис. 26), двухсторонним подводом газа и воздуха (ГЩД, рис. 27) и комбинированные с поворачивающимся газовым соплом (ГЩК, рис. 28). Горелки Союзтеплостроя предназначены для сжигания газа теплотворностью $1000\text{--}1600\text{ ккал/м}^3$.

В зависимости от количества газа, которому горелка должна обеспечивать сгорание, принимается тот или иной типоразмер согласно табл. 21.

Давление газа и воздуха в табл. 21 отнесено к 0°C и 760 мм рт. ст. , но горелки могут работать как на холодных, так и на подогретых газе и воздухе. Для получения короткого факела в середине горелочного кирпича устанавливается заградительный кирпич, который разбивает и тормозит газовый поток. При необходимости получить длинный факел, заградительный кирпич не устанавливают.

В зависимости от размера и конструкции печи установка горелок с горелочным кирпичом может производиться с растопочным каналом, как изображено на рис. 27, и без растопочного канала. Если первичный розжиг и наблюдение за процессом горения может производиться через рабочее окно печи, растопочный канал не обязателен.

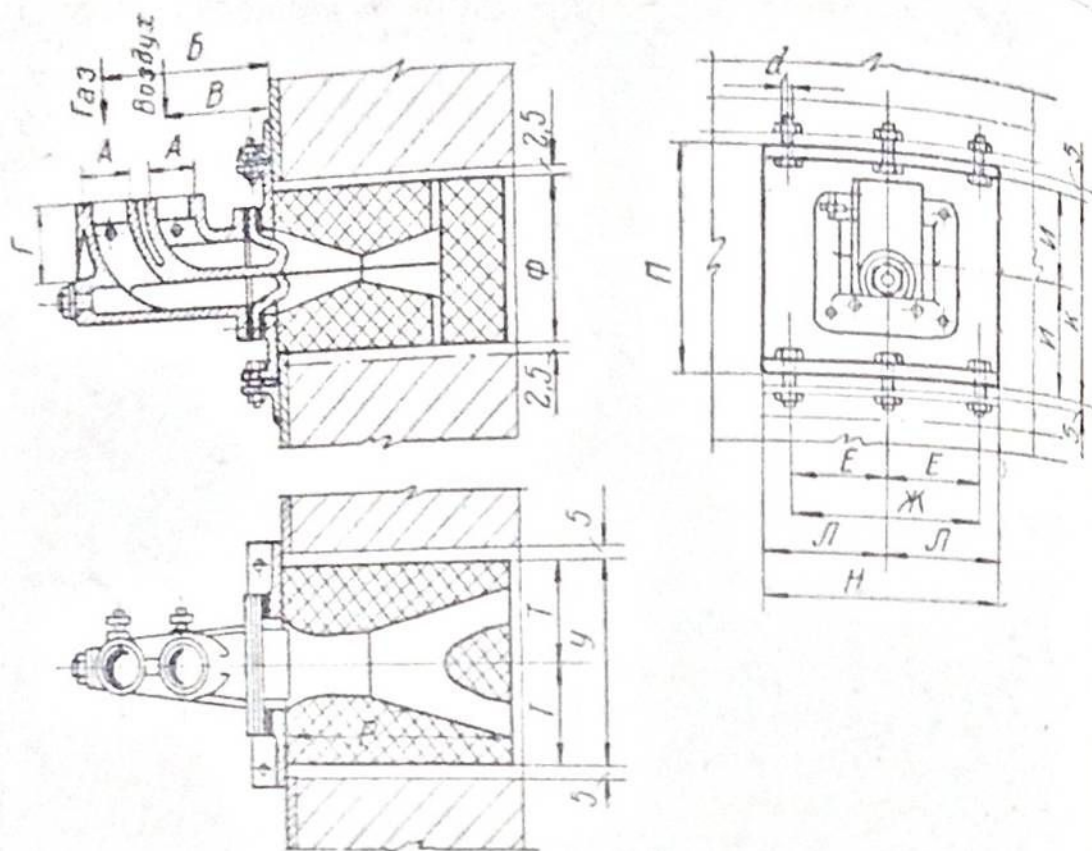


Рис. 26. Установка горелки ГЩО без растопочного канала в горелочном кирпиче.

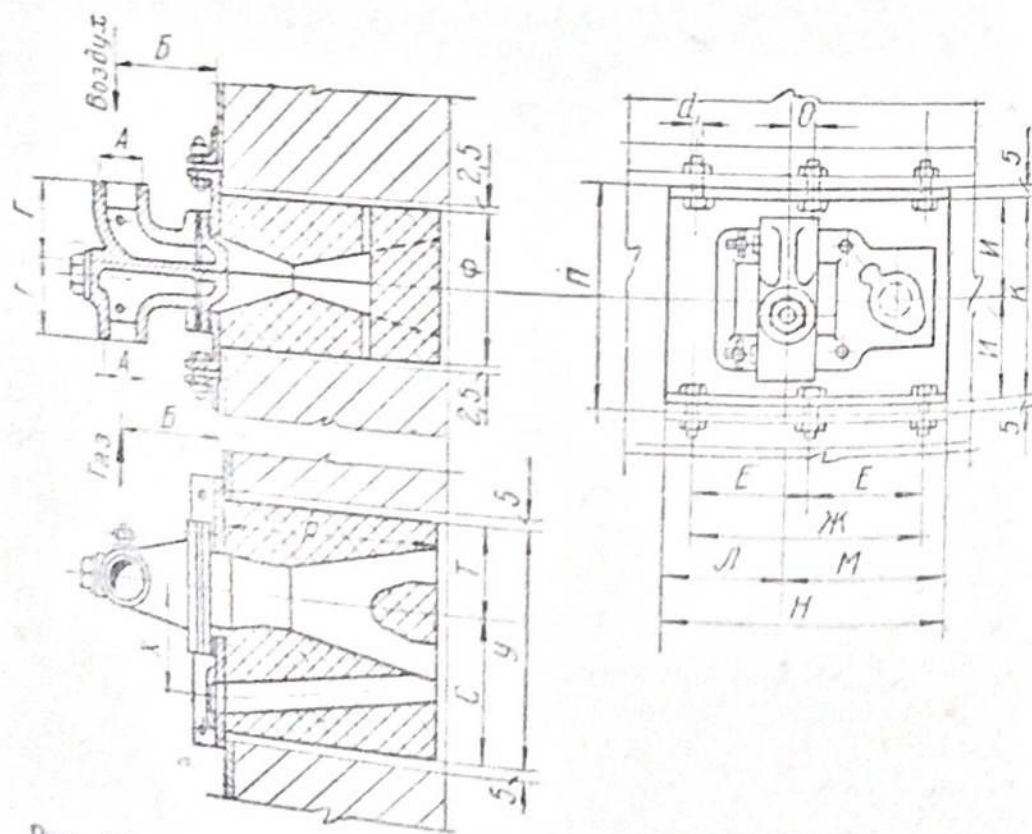


Рис. 27. Установка горелки ГЩД с растопочным каналом в горелочном кирпиче.

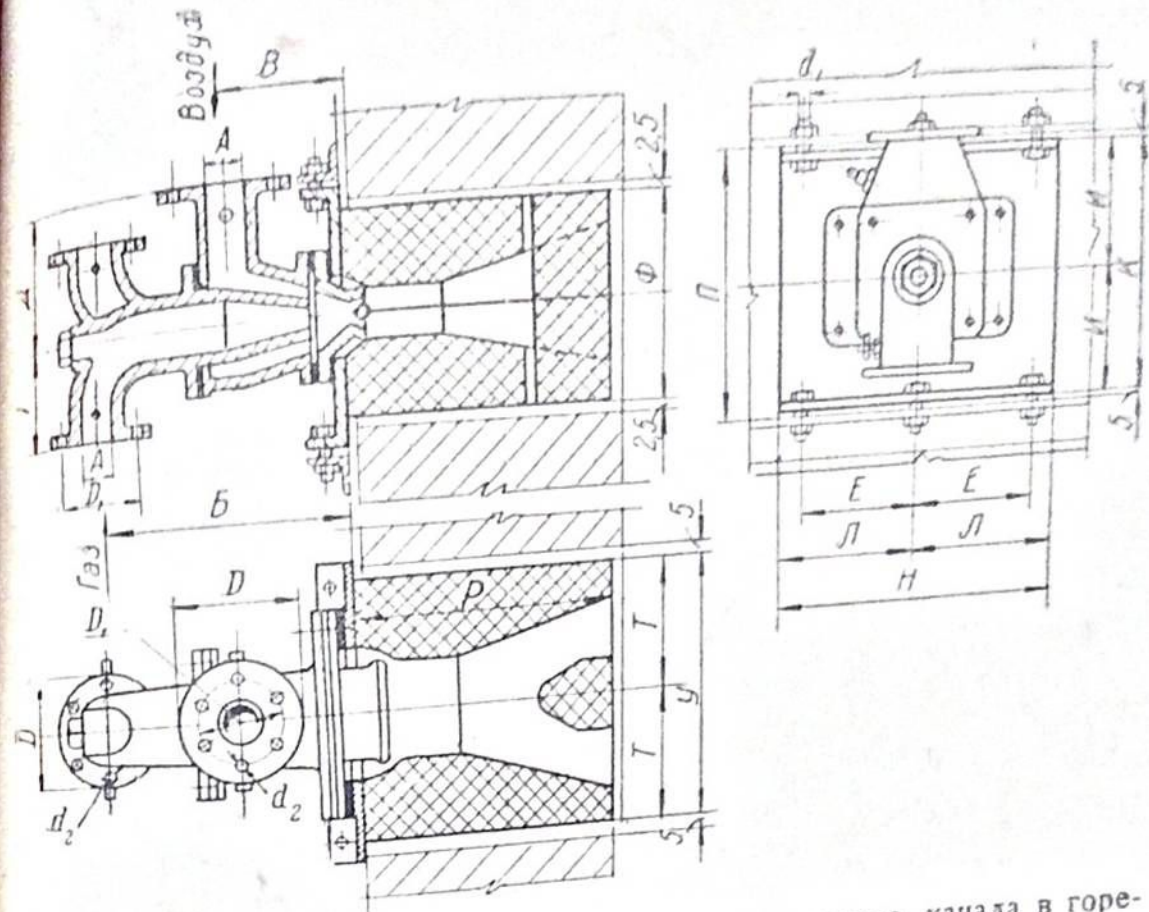


Рис. 28. Установка горелки ГЩК без растопочного канала в горелочном кирпиче.

Таблица 21

Условное обозначение горелки	ГЩО-1"	ГЩО-1 1/2"	ГЩО-2"	ГЩО-2 1/2"	ГЩК-3"	ГЩК-4"	ГЩК-5"
	ГЩД-1"	ГЩД-1 1/2"	ГЩД-2"	ГЩД-2 1/2"			
Пропускная способность горелки газа, м ³ /час	5-15	10-30	20-60	40-100	60-140	100-200	150-300
Давление перед горелкой, мм вод. ст.	газ	80-85		75-85		50-60	
	воздух	80-110		75-100		75-110	70-95

Основные установочные размеры щелевых горелок приведены в табл. 22 в двух вариантах: I — с растопочным каналом и II — без растопочного канала в горелочном кирпиче.

Условное обозначен. горелки	Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ш	D	D ₁	d ₁	d ₂	Колич. болтов			
																											d ₁	d ₂		
ГЩО-1"	I			81													130	100			100									
	II		141	—								135	165	15			—	115			—									
ГЩД-1"	I	1"			60	—	—	200	100	200						210	230			230	130						M12	—	4	—
	II		81	81								135	165	15				130	100			100								
ГЩО-1 1/2"	I	1 1/2"	203	128																340										
	II		128		90	—		150				230	400	30			200			280							M16	—	6	—
ГЩД-1 1/2"	I								125	250	170					260	340		140	340	200									
	II										170	230	400	30			200			280										
ГЩО-2"	I																			340										
	II		238	148				150				400	30			200			340		150									
ГЩД-2"	I	2"			100	—										260	340	200	140	280										
	II		148					150				400	—						280		150									
ГЩО-2 1/2"	I																			340										
	II		273	163				200				205	295	500	45		275	185	460		190									
ГЩД-2 1/2"	I	2 1/2"			100	—										330	340			350										
	II		163					200				205	295	500	45		275	185	460		190									
ГЩК-3"	I	∅																		350										
	II	76	340	170	125	190	200					205	295	500	45		275	185	460		190	14	200	160	M16	18	6	8		
ГЩК-4"	I																			350										
	II	100	392	188	150	230	200					205	295	500	45	330	340		175	350										
ГЩК-5"	I																			460										
	II	125	434	214	165	265	200					275	500	25	330	460		255	205	410	270	190	14	210	170	M16	18	6	12	
	I																			460										
	II																			460	270	190	14	270	220	M16	24	6	16	

Газ и воздух выходят из горелки через щели и попадают в горелочный камень, где в суженной части происходит смешение газа с воздухом. Образовавшаяся смесь догорает в остальной части камня. До выхода в рабочее пространство продукты сгорания и недогоревший газ встречают на своем пути заградительный кирпич, который в раскаленном состоянии служит своего рода катализатором, ускоряющим догорание

сгорание в стенке печи толщиной 1,5–2 кирпича, процесс сгорания даже при коэффициенте избытка воздуха $\alpha=1,00-1,05$ полностью завершается. В рабочую камеру печи поступают только продукты сгорания.

Ко второму типу относятся турбулентные газовые горелки низкого давления (ГТН), изображенные на рис. 29. Основные характеристики и установочные размеры горелок различной пропускной способности приведены в табл. 23 и 24.

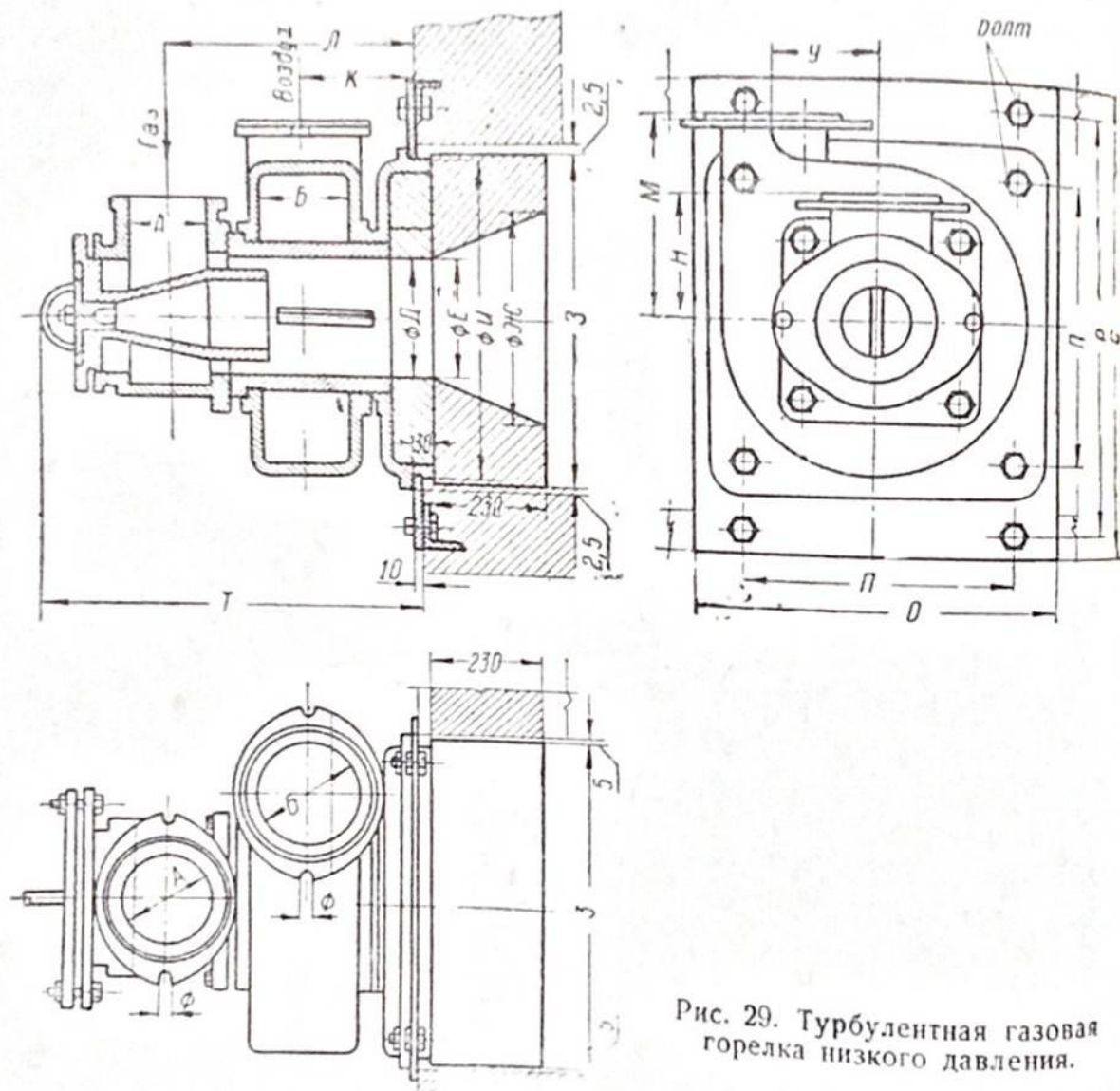


Рис. 29. Турбулентная газовая горелка низкого давления.

газовоздушной смеси. Заградительный кирпич, аккумулируя тепло, способствует более длительному сохранению повышенной температуры стенок горелочного камня в камере сжигания. В горелках большой пропускной способности типа ГТЦК имеется еще внутри металлический рассекающий газовойоздушного потока. В связи с тем, что смешение газа с воздухом происходит по выходе из горелки, можно допускать высокую температуру предварительного подогрева воздуха и газа. Исследования серии горелок Союзтеплостроя показали, что в горелочном камне, представляющем собою предкамеру, целиком разме-

Таблица 23

Типы и условное обозначение горелок	ГТН-1	ГТН-2	ГТН-3	ГТН-4	ГТН-5	ГТН-6
Пропускная способность горелки газа, $\text{м}^3/\text{час}$	45–100	100–200	150–300	200–400	300–600	500–1000
Минимальное давление перед горелкой мм вод. ст.	газ					
	воздух					
Установочный вес горелки, кг	67	93	121	133	238	340

Таблица 24

Типы и условное обознач. горелок	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
ГТН-1	50	65	110	130	70	100	200	300	220	112,5
ГТН-2	65	80	140	180	90	100	200	300	264	124
ГТН-3	85	100	160	200	115	150	250	350	314	135
ГТН-4	100	125	170	225	140	150	250	350	370	159,5
ГТН-5	125	150	200	270	170	210	350	470	440	172
ГТН-6	150	175	235	270	200	210	350	470	535	193

Типы и условное обознач. горелок	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Болт
ГТН-1	219	135	105	280	190	320	400	327	60	15	М-16
ГТН-2	252,5	170	110	330	200	350	430	379	80	15	
ГТН-3	285,5	200	140	350	270	420	500	429	100	18	М-20
ГТН-4	344	230	170	480	320	470	550	503	110	18	
ГТН-5	384,5	280	175	550	380	570	650	561	145	18	
ГТН-6	443	330	200	650	460	670	750	653	180	22	

Газ подводится по патрубку А, а затем по кольцевому зазору перетекает в смесительную камеру, где смешивается с воздухом, подводимым тангенциально через четыре щели в стенке трубы. Такая конструкция обеспечивает хорошее смешение газа с воздухом в самой горелке, ограничивая при этом температуру подогрева воздуха и газа, во избежание преждевременного воспламенения смеси. Подвод газа и воздуха возможен с любой стороны (сверху, сбоку, снизу) путем поворота газо- и воздухоподводящих тройников относительно друг друга и относительно коробки для футеровки или вместе с ней. Воздухоподводящий тройник может быть установлен зеркально, в этом случае горелка будет „правая“, а не „левая“, как изображено на рис. 29. При этом необходимо и скосы в смесительной трубе при изготовлении направить в обратную сторону, т. е. по направлению движения воздуха.

К достоинствам горелок низкого давления относится легкая регулировка их производительности в широких пределах, при этом нет опасности обратного выброса пламени. Возможно также регулировать, в известных пределах, и длину пламени.

К недостаткам горелок низкого давления можно отнести значительные потери от неполноты сгорания. По данным испытаний в плавильных печах, оборудованных турбулентными горелками Стальпроекта, потери от неполноты сгорания составляют около 13% при избытке воздуха $\alpha = 1,25$. Расход энергии для подачи дутья составляет около 10 квт-час на 1000 нм^3 газа.

§ 33. Горелки для газа повышенного давления

В промышленных печах применяются также беспламенные инжекционные горелки как с индивидуальным инжектором (рис. 30), так и с одним инжектором, обслуживающим группу горелок. На рис. 31 приведен разрез печи, где на группу горелок установлен один инжектор. Горелки работают с давлением газа 1000–1500 мм вод. ст., при этом воздух инжектируется из атмосферы. Если же нагнетать воздух в горелку, тогда возможно уменьшение давления газа.

Скорость распространения пламени обычно не превышает 10 м/сек., поэтому во избежание обратного удара пламени в горелку, когда воздух засасывается из атмосферы за счет кинетической энергии газа, давление генераторного газа должно быть не ниже 100 мм вод. ст.

При инжекционных горелках повышенного давления отпадает необходимость в вентиляторе для подачи воздуха и в воздухопроводах. Это упрощает и удешевляет установку и эксплуатацию горелки и трубопроводов, причем это преимущество особенно сказывается при печах, работающих с частыми остановками, или при печах, не требующих строгого постоянства отношения газа к воздуху.

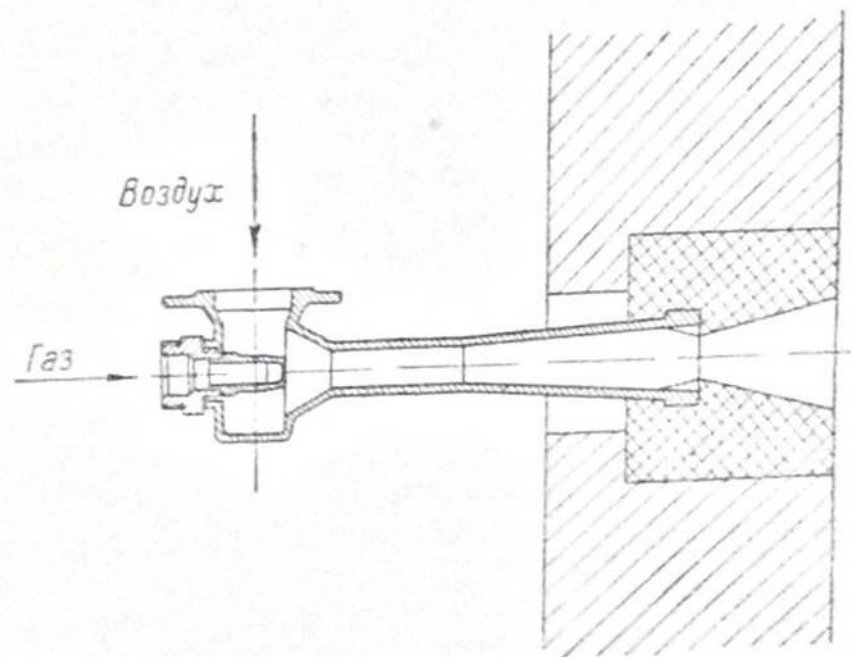


Рис. 30. Инжекционная горелка с индивидуальным инжектором.

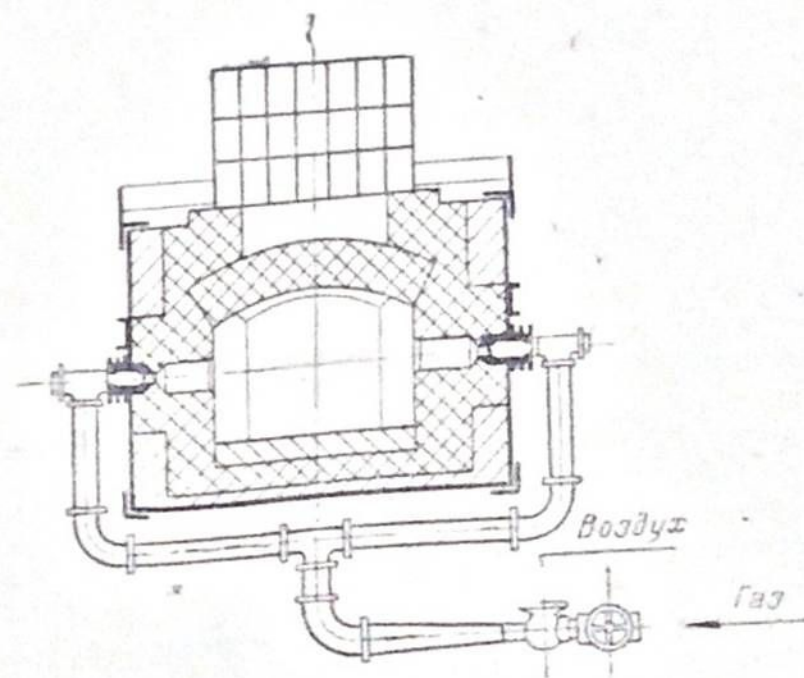


Рис. 31. Группа инжекционных горелок с одним инжектором.

Одним из важнейших преимуществ горелок повышенного давления является устранение опасности взрывов, возникающих при неожиданном перерыве в подаче электроэнергии для мотора вентилятора.

Недостатком горелок повышенного давления является зависимость количества засосанного воздуха от противодействия печи и производительности горелки. Этот недостаток тем значительнее, чем больше колебания нагрузки горелки и противодействия печи. Регулирование производительности горелки возможно в небольших пределах и сводится к изменению положения газовой задвижки, при неизменном положении установочной шайбы для воздуха. Так как в горелках повышенного давления смешение происходит в смесительной трубе перед концевым кирпичом, то считаясь с возможностью обратного выброса пламени, горелки можно дросселировать только до $\frac{1}{3}$ их полной производительности.

При установке горелок повышенного давления приходится отказываться от подогрева воздуха, так как сила тяги, создаваемая газовой струей, недостаточна для преодоления сопротивлений воздухоподогревателя и воздухопроводов горячего дутья.

Горелки повышенного давления не позволяют регулировать длину пламени. Получить длинное пламя в горелках повышенного давления можно только в том случае, если работать с недостатком воздуха, а дожигание избытка газа, поступающего в печь, производить путем присоса воздуха в печь через открытые окна.

Расход энергии для повышения давления составляет около 20 квт-час на 1000 м³ газа.

§ 34. Горелки для неочищенного газа

При сжигании неочищенного горячего газа возможно засорение горелки угольной пылью и смолой, а также не исключено воспламенение газа при смешении его с воздухом. В связи с этим, к горелкам, работающим на сыром газе, предъявляются следующие требования:

1. В горелках не должны образовываться настыли и отложения смолы и пыли; осаждающаяся смола должна стекать из горелки в специальный сборник.

2. Горелка должна легко открываться, а на ее чистку и пуск в работу должно уходить минимум времени. Поэтому все места, подвергаемые засорению, должны быть легко доступны.

Для уменьшения осаждения смолы горелки должны быть снаружи или выкладываются внутри футеровкой из огнестойкого материала.

В избежание частого засорения горелок проходы в них делаются достаточно широкими, без завихрений, а в конст-

рукции горелок предусматриваются люки для чистки. Смешение газа с воздухом осуществляется по выходе из горелки. На рис. 32—37 приведены разрезы горелок, предназначенных для сжигания горячего газа. На рис. 32—34 изображены

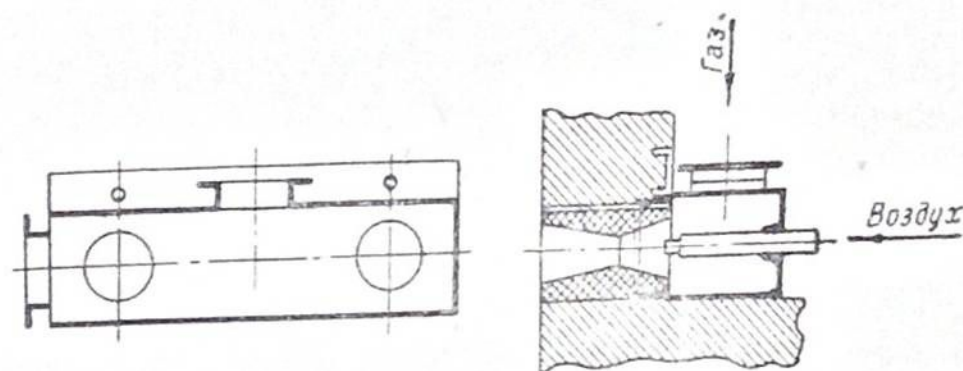


Рис. 32. Инжекционная горелка для горячего газа.

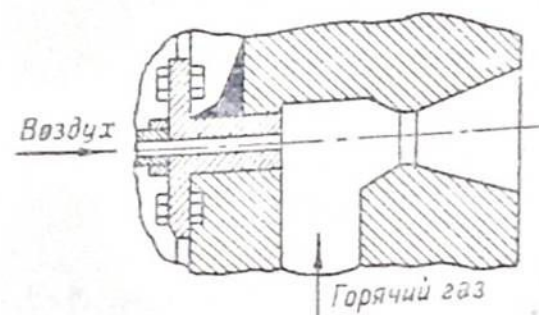
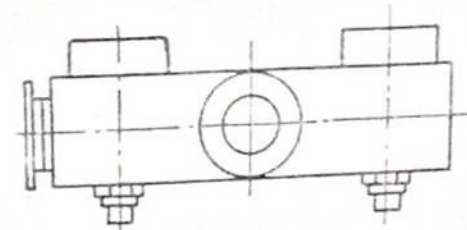


Рис. 33. Инжекционная горелка для горячего газа.

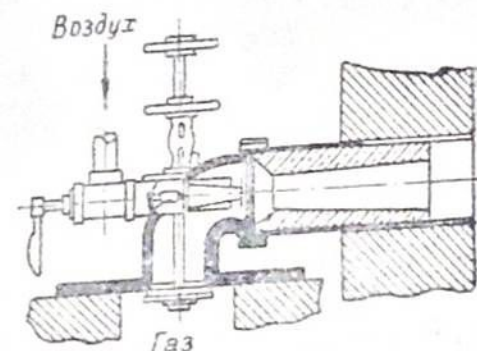
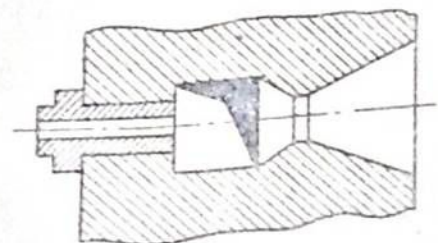


Рис. 34. Инжекционная горелка для горячего газа с тарельчатым клапаном.

горелки инжекционного типа, где горячий газ инжектируется воздухом, а на рис. 35—37 изображены горелки, работающие при низком давлении воздуха и газа. В последнем случае смешение газа с воздухом происходит на выходе из горелок.

В тангенциальной горелке (рис. 35) и в щелевой горелке (рис. 36) имеются люки 1 для чистки и клапан 2 для отключения подачи газа. В обеих горелках клапаны перемещаются червячными винтами. В тангенциальной горелке клапан поднимается кверху, а в щелевой горелке клапан перемещается горизонтально.

Заслуживает внимания также горелка с частичным внутренним смешением газа и воздуха.

Изображенная на рис. 38 горелка состоит из подвижного воздушного сопла 1, газового клапана 2, завихрителей 3 и рассекателя 4. Горелка была установлена и испытана на закрытом кузнечном горне в течение 360 час. Испытания показали, что горелка является пригодной для работы на горячем газе и подогретом до 300°C воздухе. В пределах производи-

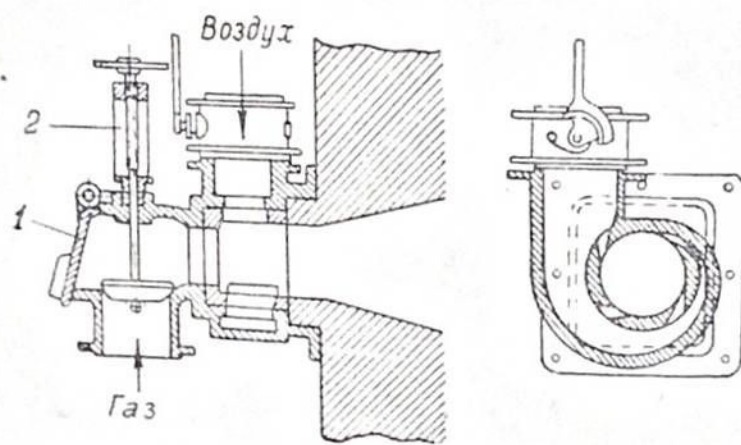


Рис. 35. Горелка тангенциального типа для горячего газа.

тельности 60—90 $\text{нм}^3/\text{час}$ горелка работала со средним коэффициентом избытка воздуха 1,05 при отсутствии в дымовых газах продуктов неполного горения.

Горелка с частичным внутренним смешением после испытаний была принята РИИЖТом как типовая для нагревательных печей, работающих на грубоочищенном генераторном газе.

§ 35. Расположение горелок в печи

Горелки можно установить в любом месте рабочего пространства печи — с боковых сторон, со стороны свода, с лобовой стороны и снизу.

Боковые горелки устанавливаются для повышения температуры по длине рабочего пространства печи с целью образованию вихревого движения продуктов горения и мешиванию продуктов горения от лобовых горелок, устраняя образование холодных слоев и улучшая теплопередачу.

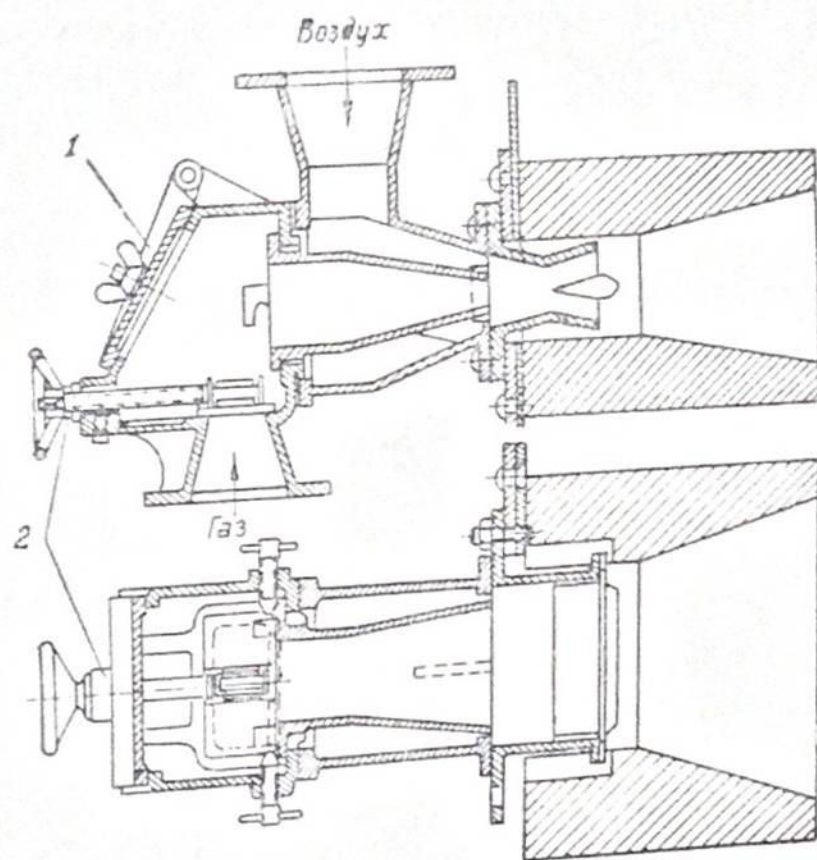


Рис. 36. Горелка щелевого типа для горячего газа.

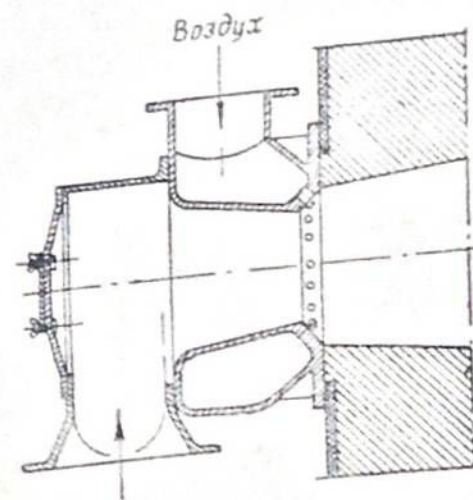


Рис. 37. Горелка цилиндрического типа для горячего газа с подводом воздуха через отверстия по окружности.

Лобовые горелки предназначены для создания наиболее высокой температуры в передней части рабочего пространства печи, их часто располагают в два ряда. Нижние горелки, расположенные на уровне болванок, работают с восстановительным пламенем, т. е. с недостатком воздуха для предохранения металла от окисления, а верхние работают с полным расходом воздуха.

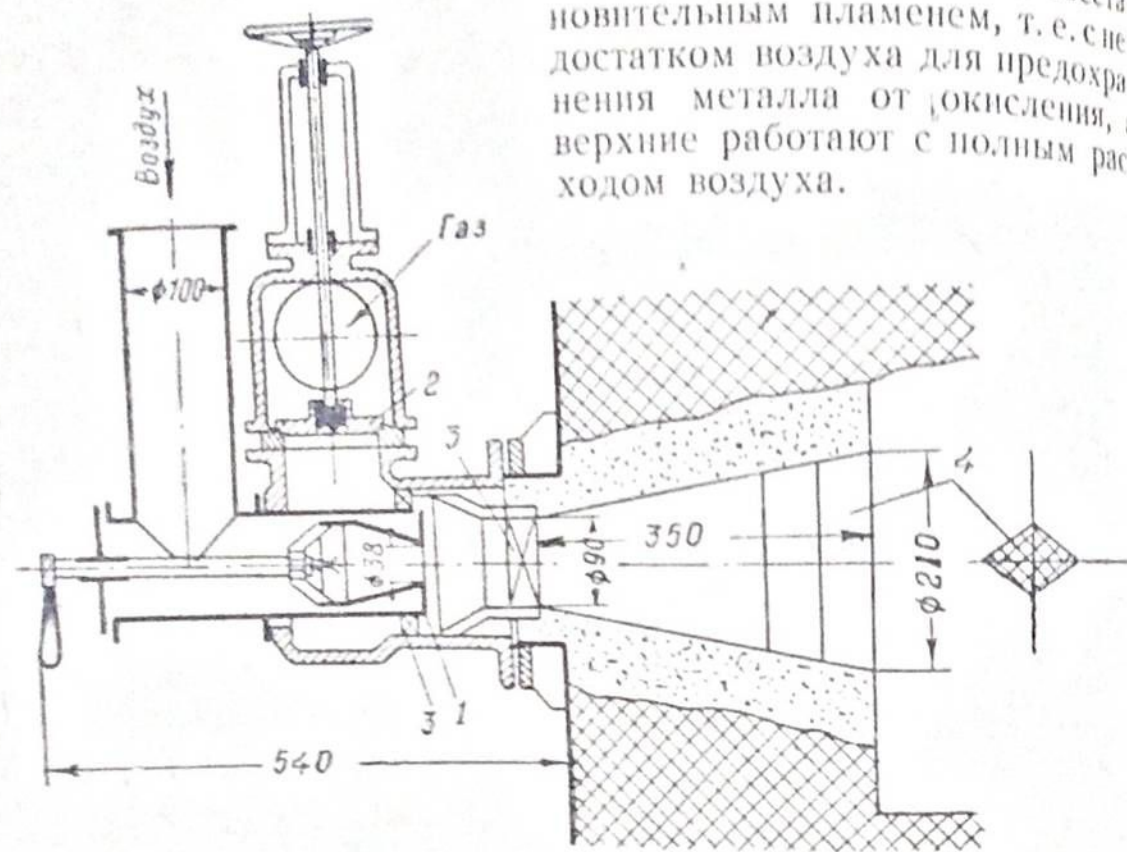


Рис. 38. Горелка с частичным внутренним смешением газа и воздуха.

Горелки со стороны свода устанавливают довольно часто, особенно в случаях перевода печи с твердого топлива на газ. Горелки снизу, т. е. ниже пода, располагаются для создания нижнего подогрева болванок. Правильным расположением горелок можно добиться наилучших результатов в работе печи. При большом количестве горелок работу печи можно регулировать не только изменением количества воздуха и газа в горелках, но и полным выключением и включением тех или иных горелок.

ГЛАВА XII

ПЛАВКА ЧУГУНА В ВАГРАНКЕ НА ГЕНЕРАТОРНОМ ГАЗЕ

Вагранка — замечательное изобретение русских металлургов XVIII века, является одним из старейших типов плавильных печей в чугунолитейном производстве.

В течение 175 лет своего существования вагранка многократно подвергалась изменениям, направленным главным образом к уменьшению расхода топлива и повышению температуры

перегрева чугуна. В результате многочисленных усовершенствований создана несложная по конструкции и относительно экономичная плавильная печь, имеющая большое распространение. Однако и в настоящем виде коксовая вагранка не может быть признана достаточно совершенным агрегатом. К основным недостаткам ваграночного процесса в его современном осуществлении можно отнести охлаждение перегретого в холостой колоше металла воздухом вблизи фурм, повышение содержания углерода и серы в чугуне во время плавки. Отмеченные недостатки коксовых вагранок могут быть устранены, если плавку чугуна производить на газе.

§ 36. Конструктивные особенности вагранки

Над созданием газовых вагранок работают исследователи в Советском Союзе и за рубежом на протяжении ряда лет. Конструирование вагранок ведется по двум направлениям: для работы на природном (высококалорийном) и генераторном (низкокалорийном) газе.

В 1944 г. советские инженеры А. А. Балашов и Ф. И. Железняков после ряда неудач создали газовую вагранку, работающую на генераторном газе. Сжигание газа в печи производится по так называемому принципу поверхностного горения. Под этим понимают горение в присутствии нагретых опор.

На рис. 39 изображена схема печи-вагранки, из которой видно ее устройство. Под копильника наклонный к передней стенке, а свод рассчитан на отражение лучистого тепла. Подача газа в печь производится через пять газовых горелок низкого давления, расположенных в боковых стенках топки. В одной стенке три горелки, а в противоположной — две. Размеры шахты: сечение 340×360 мм, рабочая высота 2500 мм, размер топки-копильника: ширина 520 мм, длина 950 мм, высота между подом и сводом 500—550—200 мм.

Для осуществления принципа поверхностного горения в топочное пространство введена керамическая насадка с развитой поверхностью, которая способствует сгоранию газа. В качестве материала для насадки был использован шамотный кирпич. Распределение насадки по печи сделано так, чтобы она занимала минимальный объем. Введением керамической насадки топка-копильник была превращена в предкамеру, в которую вводится газ и воздух в близком к теоретическому соотношении. В горловине предкамеры установлена первая смешительная насадка раскатели, следом за которой расположены уступами три отражательных съемных свода, направляющие газовый поток под шахтой печи в несколько смещенный по отношению к ее оси копильник. Завихрения, создаваемые насадкой и отражательными сводами, при наличии большой

поверхности керамической насадки, способствуют почти полному сгоранию газа. Далее газовый поток направляется в следующую насадку, состоящую из рабочих — несущих сводов, на которых размещена дожигательная насадка, а на последней — рабочая колоша (чугун). Максимальная температура развивается в дожигательной насадке в весьма ограниченном объеме, чем достигается необходимый термический эффект. Расположенный над дожигательной насадкой чугун

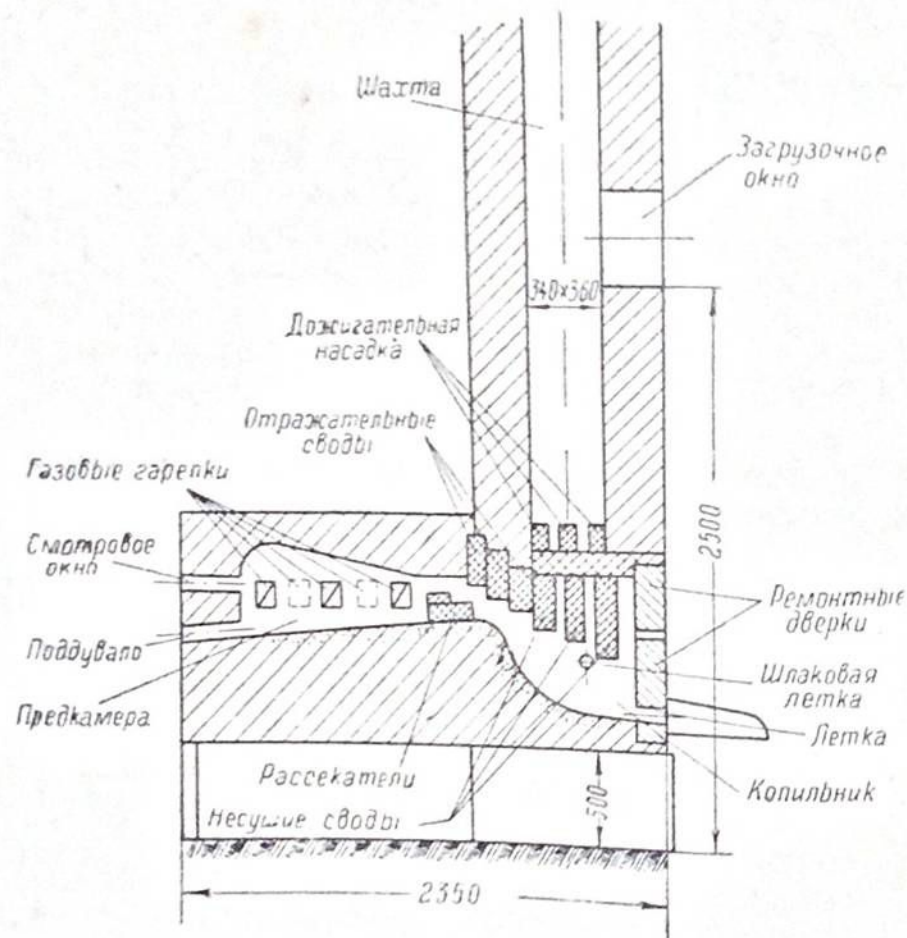


Рис. 39. Схема газовой вагранки конструкции инж. А. А. Балашова и Ф. И. Железняка.

омывается горячими газами, движущимися кверху, т. е. противотоком по отношению к чугуну. Благодаря противотоку горячих газов, чугун постепенно нагревается, плавится и перегревается при прохождении через зону максимальных температур.

Как показали испытания, указанное устройство печи, рассчитанное на работу без подогрева газа и воздуха, полностью себя оправдало.

§ 37. Характеристика газа и температурного режима печи

Печь питалась охлажденным генераторным газом, полученным при газификации березовой или дубовой чурки влажностью 8—10%, размером 60×60×150 мм в газогенераторе прямого процесса. При диаметре газогенератора 1100 мм производительность его составляла 200—300 м³/час. Высота газогенератора 3250 мм. При низких форсировках газогенератора удавалось газифицировать чурки влажностью до 40%. Авторы отмечают, что более высокая влажность чурки резко снижает теплотворность газа, делая его непригодным.

Средний состав сухого газа, на котором печь работала, следующий: CO — 30%, CO₂ — 7%, H₂ — 7% и CH₄ — 3%, низшая теплотворность 1350 ккал/м³.

При выходе из генератора газ имел температуру около 95°С и поступал в скруббер, где охлаждался до 45—50°С. В скруббере наряду с охлаждением и осушкой газа происходила отмывка тяжелой смолы. Пары более легкой смолы, прошедшей через скруббер, частично конденсировались в трубопроводах, а частично вместе с газом подавались в печь.

Наблюдения показали, что температура в печи равномерно повышается, примерно от 700 до 900°С по направлению от лобовой стенки предкамеры к дожигательной насадке, и затем снижается за счет теплоотдачи чугуна и теплопотерь до 700—600°С. На колошнике максимальная температура, наблюдаемая в дожигательной насадке, не замерялась, но, судя по накали насадке и по температуре выпускаемого чугуна (1300—1360°С), она представляется равной 1450—1500°С, т. е. весьма близка к теоретической температуре горения данного состава газа (1750°С).

§ 38. Технологические показатели работы печи

Средняя производительность печи составляет около 200 кг жидкого чугуна в час. Расход тепла примерно 1350 ккал/кг выплавленного чугуна, что соответствует в среднем 0,8 кг чурок или 1 м³ генераторного газа указанного выше состава. Такой высокий расход тепла по сравнению с коксовой вагранкой объясняется в основном малой мощностью печи, относительно большими потерями тепла в окружающую среду и с отходящими газами.

Кроме того, авторы отмечали, что имели место прямые потери газа через неплотности в кирпичной кладке газогенератора. При устранении указанных недостатков термический КПД газовой вагранки может быть даже выше чем у коксовой, у которой большие потери от недожога топлива.

При объеме топочного пространства печи (от предкамерных до дожигательных сводов) в 0,32 м³ напряжение топочного пространства составляет 800—850 тыс. ккал/м³час.

Особенностью газовой вагранки является получение в ней чугуна с пониженным содержанием углерода. В проведенных опытах содержание углерода колебалось в пределах 2,6—3,1%, что свидетельствует о частичном (0,3—0,5%) выгорании углерода.

Пределы колебания составных частей чугуна за период испытаний характеризуются следующими величинами (в процентах):

C	Si	Mn	S	P
2,6—3,1	1,6—3,3	0,65—2,4	0,02—0,03	0,11—0,18

Состав чугуна полностью зависел от шихты, в которую входил штыковой чугун (№ 1) в виде разбитых пополам чушек, что вряд ли допустимо для печи такой малой производительности (сечение шахты 340 × 360 мм) — свой брак и машинный лом.

В печи может также переплавляться шихта с добавкой стали, поэтому возможно получение малоуглеродистых чугунов. В качестве флюса добавлялся известковый камень в количестве около 1%. Незначительное содержание серы в полученном чугуне за счет шихты (так как газовая плавка на древесном газе не обогащает чугуна серой) представляет практический интерес, в особенности при малом бессемеровании. Твердость получаемого чугуна, в зависимости от его состава и толщины литья, колебалась в пределах 170—240 единиц по Бринелю. Получаемым чугуном, без каких-либо добавок, удавалось заливать сковороды и печные вьюшки с толщиной стенки порядка 2,5 мм при диаметре до 265 мм.

При испытании печи на длительность плавки выявлено, что печь работает нормальное время от 12 до 15 часов.

§ 39. Эксплуатация печи

Запуск печи начинается с розжига газогенератора и розжига печи на дровах, после чего переводят ее на разогрев на газе. По получении устойчивого горения газа прекращают забрасывание в печь дров, поддувало и смотровой глазок закрывают и ведут разогрев печи на газе до надлежащей температуры. На разогрев печи на газе уходит около 1 часа, а вся операция запуска печи длится около 1 часа 20 мин. После получения в печи требуемой температуры, в шахту забрасывают чугун и во все время работы печи следят за его опусканием, за своевременными добавками следующей колоши, подачей флюсов и ферросплавов. Регулирование горения про-

изводится по наблюдению за цветом пламени. Необходимо тщательно следить за соотношением загружаемого и выпускаемого чугуна, во избежание переполнения копильника, а также за своевременным спуском шлака.

Для остановки печи, которая может производиться как с пустой, так и с заполненной чугуном шахтой, прекращают подачу газа и затем воздуха. Чугун из копильника спускают, во избежание образования в нем „козла“. В таком виде печь может простоять до следующего пуска, конечно, в том случае, если несущие своды не требуют замены.

Наиболее уязвимым местом в печи является дожигательная насадка, которая подвергается наибольшим разрушениям, но в процессе плавки она может быть обновлена завалкой половинок шамотного кирпича вместе с чугуном. При необходимости замены несущих или отражательных сводов, после остановки печи открывают переднюю стенку копильника, своды и дожигательную насадку удаляют, а печь заливают водой. Ремонт печи после такой остановки требует 3—6 чел./час. За это время могут быть вновь поставлены своды, дожигательная насадка, а также перебит под копильника и заменены выгоревшие кирпичи из его стенок и плавильного пояса. Открытие передней стенки копильника следует рекомендовать при всех остановках печи, хотя это и не является обязательным.

ГЛАВА XIV

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ПЕЧИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ГАЗЕ

Перед пуском вновь сооруженные или капитально отремонтированные газопроводы должны быть подвергнуты приемочному осмотру и специальному испытанию для определения их плотности путем наполнения газопровода паром. Газопроводы, находящиеся внутри помещений, кроме того, должны быть испытаны путем наполнения сжатым воздухом и обмазки снаружи мыльным раствором. Замеченные при этом неплотности и другие недостатки должны быть устранены до пуска газопровода в эксплуатацию.

Для обеспечения безаварийной работы газовой сети во всех газопроводах и газовых установках должно всегда поддерживаться положительное давление. Отрицательное давление газа в отремонтированных печах или давно стоящие без действия допускается только после того, как печь будет хорошо просушена и достаточно прогрета. Перед розжигом газовой печи необходимо убедиться в том, что газовые краны у всех горелок плотно закрыты, после чего в течение 10—15 минут следует обязательно проветрить топочное пространство и

дымоходы, открыв дверцы, заслонки и пр. При этом тягомером необходимо убедиться в наличии разрежения в дымоходе. Только после проветривания (вентиляции) печи можно приступить к поджиганию газа у горелок.

Розжиг горелок производится следующим образом: зажигается запальник или факел и подносится к выходному отверстию одной из горелок. Проверив, что пламя запальника или факела не погасло, постепенно открывают газовый кран у указанной горелки, чтобы не сбить пламя. Выходящий из горелки газ должен сразу загореться. Когда газ загорится, в горелку постепенно подводят воздух и регулируют количество воздуха и газа до оптимальных соотношений, судя по цвету пламени, после чего кран запальника закрывают. Отрегулировав процесс горения газа у первой горелки, переходят к зажиганию газа у остальных горелок, соблюдая очередность и порядок операций, как и при розжиге первой горелки.

Если при зажигании первой горелки газ сразу не воспламенится, необходимо кран горелки закрыть, вынуть запальник или факел и, подождав несколько минут, пока печь проветрится, повторить розжиг. После того, как все горелки зажжены, необходимо закрыть дверцы печи и следить за процессом горения газа, что особенно важно пока стенки топочного пространства не накалились.

При зажигании горелок надо стоять сбоку от открытых дверец печи или других отверстий, чтобы в случае выброса пламени не получить ожогов.

Во время работы печи необходимо следить за тем, чтобы газ горел не коптящим пламенем, чтобы пламя не выбивало из печи наружу, чтобы в печи был требуемый температурный режим.

Понижать давление в газовом трубопроводе путем дресселирования ниже 10 мм вод. ст. запрещается. При необходимости уменьшить количество газа, поступающего в печь, следует выключить отдельные горелки, плотно закрыв перед ними газовые краны. При регулировании количества воздуха и газа нельзя допускать проскоков пламени внутрь горелки, а также отрывов и затухания пламени. Проскок пламени внутрь горелки может быть в том случае, когда скорость вытекания газовой смеси из горелки меньше, чем скорость воспламенения газа. Если скорость вытекания газовой смеси из горелки будет значительно большей, чем скорость воспламенения газа, то горение будет происходить на некотором расстоянии от выходного отверстия горелки и пламя может оторваться совсем от горелки и потухнуть. Проскок пламени недопустим потому, что газ при этом будет гореть не в печи, а внутри горелки, что вызовет накал и порчу горелки.

Неустойчивое горение газа с отрывами и затуханиями пламени опасно при любых типах горелок, так как это сопровождается наполнением топочного объема взрывчатой газовой смесью.

Горелки двухпроводной системы представляют опасность при прекращении подачи в них дутьевого воздуха, так как при этом газ, продолжающий поступать в горелку, может проникнуть в воздухопровод и образовать в нем газозвушную смесь взрывчатой концентрации. На случай внезапного прекращения подачи воздуха должна быть предусмотрена автоматическая сигнализация, чтобы работающие на печах немедленно перекрыли воздушные и газовые краны горелок.

Для прекращения работы печи при двухпроводных горелках следует сперва закрыть газовые краны, а затем воздушные. По окончании работы следует обязательно осмотреть газопроводы в цехе, чтобы убедиться, нет ли утечки газа, осмотреть горелки и убедиться в том, что все газовые горелки потушены и краны у горелок и на газопроводе плотно закрыты.

Состояние газопотребляющих установок и горелок после остановки должно находиться под наблюдением.

При остановке на продолжительное время или перед ремонтом, газопотребляющую установку необходимо отключить от действующей газопроводной сети надежным образом, установив на газопроводе заглушку. При однопроводных инжекционных горелках сначала прекращают подачу воздуха в смеситель горелки, а затем закрывают газовый кран, чтобы избежать взрыва газозвушной смеси в смесителе.

При пользовании газом необходимо всегда помнить, что небрежность, неосторожное обращение с огнем, нарушение правил обслуживания газовых установок, зажигания и тушения газовых горелок угрожает опасностью отравления и взрыва, что может повлечь несчастные случаи с людьми.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Малкин. Экспериментальное исследование газопечных установок малой мощности. Труды РИИЖТа. Ростов н/Д. 1948.
2. Сжигание газа в промышленных печах. Сборник под редакцией Н. Н. Доброхотова. Гостехиздат Украины. 1950.
3. И. М. Рафалович. Тепловая экономичность и производительность пламенных печей. Металлургиздат, 1947.
4. Н. А. Фурьянский. Газификация теплосилового хозяйства железных дорог. Труды ВНИИЖТа. Трансжелдориздат, 1947.
5. М. В. Грошев. Газовые нагревательные печи. Машгиз, 1951.
6. Журнал "За экономию топлива" № 4 — 1946. № 1 — 1948. № 3 — 1950.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	
Глава I. Состав и влажность рабочего древесного топлива.	
Глава II. Термохимические изменения древесины в процессе газификации	
Глава III. Схемы газогенераторов с двумя отборами газа и с двумя зонами газификации	
Глава IV. Составляющие генераторного газа и их физико-химические характеристики	
Глава V. Конструкции некоторых стационарных газогенераторов прямого процесса для газификации древесного топлива	
Глава VI. Конструкции газогенераторов обращенного процесса для газификации древесного топлива	
Глава VII. Стационарный двухзонный газогенератор для газификации древесного топлива	
Глава VIII. Очистка, охлаждение и осушка газа	
Глава IX. Определение необходимой производительности газогенератора при переводе нагревательных печей на генераторный газ	
Глава X. Расчет газогенератора обращенного процесса	
Глава XI. Основные типы рекуператоров для подогрева воздуха	
Глава XII. Типы газовых горелок и их характеристики	
Глава XIII. Плавка чугуна в вагранке на генераторном газе	
Глава XIV. Меры безопасности при обслуживании печи, работающей на газе	10
Литература	10

Редактор Ю. П. Бирюков.

Техн. редактор К. М. Волков

Подписано к печати 14/X 1952 г. М-46793. Бумага 60x92¹/₁₆. Бум. л. 3.2
Печ. л. 6,5. Уч. изд. л. 7,2. Изд. № ТП-ЛО-020. Тираж 2000 экз. Зак. № 19

2-я фабрика детской книги Детгиза Министерства Просвещения РСФСР
Ленинград, 2-я Советская, 7.

Отпечатано с готового набора в типографии № 8 Речиздата
Ленинград, улица Герцена, 37. Заказ № 2335.