

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА ПРОДУКТОВ ВОЗДУШНОГО ДУТЬЯ НА СТАНЦИЯХ ВОДЯНОГО ГАЗА

Я. А. ЛАНДА

I. Постановка вопроса

Водяной газ применяется для следующих целей: а) для нагрева, б) для получения бытового газа (водяной газ служит „добавкой“ к светильному), в) для получения водорода, синтетических горючих и т. д.

Как известно, название „водяной газ“ связано с тем, что основными реакциями в процессе получения этого газа являются реакции между водяным паром и раскаленным углеродом (топливом). Эти реакции—эндотермические, и для осуществления процесса необходим подвод тепла в слой топлива. В зависимости от способа подвода тепла в слой получается тот или иной метод производства.

Производство водяного газа может быть непрерывным и прерывным. Первое основано на применении ряда методов подвода тепла в слой, в частности—химического и физического. Химический метод заключается в подаче парокислородного дутья. При этом тепло экзотермических реакций сгорания углерода компенсирует расход тепла при эндотермических реакциях водяного пара и углерода. Физический метод заключается в аккумулировании потребного для эндотермических реакций тепла в газифицирующих реагентах путем высокого перегрева пара, нагрева циркуляционного газа до высокой температуры и т. п. Прерывный метод производства водяного газа связан с цикличностью подачи дутья. В первой части цикла в слой топлива подается воздух (холодный или горячий), обеспечивающий протекание экзотермических реакций образования CO_2 и CO . При воздушном дутье слой разогревается, т. е. аккумулирует тепло и образуется воздушный газ. Во второй части цикла в слой подается насыщенный или перегретый водяной пар, участвующий в эндотермических реакциях. При паровом дутье образуется водяной газ и слой топлива охлаждается.

Наибольшее распространение в настоящее время имеет прерывный метод. Установки, работающие по последнему методу, имеются на ряде заводов. Топливом в этих установках служат: кокс, антрацит и некоторые виды тощих углей.

Не останавливаясь на детальных теориях процессов производства водяного газа, знакомство с которыми можно получить в соответствующей литературе ([1], [2], [3]), отметим, что вопросы механизма реакций разрешены далеко неполно. Это указание относится не только к реакциям образования водяного газа, но и к реакциям образования воздушного газа. Особенно слабо изучена динамика процесса образования воздушного газа в условиях работы генераторов водяного газа. Расчеты количества и состава воздушного и водяного газа в этих генераторах производится обычно по методу проф. Грум-Гржимайло [2], отражающему лишь приближенно действительный ход процесса, либо на основании опытных данных.

В данной работе рассматривается вопрос о сжигании и использовании тепла воздушного газа, являющегося по существу побочным продуктом основного процесса-производства водяного газа прерывным методом. Приближенные расчеты и опытные данные показывают, что воздушный газ заключает, в виде химического и физического теплосодержания, 20—25% общего тепла топлива. Использование тепла воздушного газа позволит повысить к.п.д. процесса получения водяного газа с 50—60% до 70—75%.

II. Возможные пути использования тепла воздушного газа

Использование физического и химического тепла воздушного газа может быть осуществлено различными путями и для различных целей. В литературе ([1], [2]) описана установка, в которой были предусмотрены рекуператор и утилизационный котел. Продукты воздушного дутья подавались в нижнюю часть рекуператора. Ввиду периодичности подачи воздушного газа, зажигание последнего производилось с помощью электрического запала. В верхней части рекуператора помещались трубчатые пароперегреватели. Один из них служил для перегрева пара высокого давления, получавшегося в утилизаторе и поступавшего на общие нужды предприятия, другой—для перегрева пара низкого давления, получавшегося в водяной рубашке генератора и поступавшего внутрь генератора для газификации. Продукты горения воздушного газа, пройдя пароперегреватели, поступали в вертикальный дымогарный котел-утилизатор, работавший на давлении $P=14 \text{ атм}$. Отходящие газы удалялись помощью эксгаустера в выхлопную трубу. Другая описанная там же установка, рассчитанная на использование тепла воздушного газа, включала пароперегреватель и горизонтальный дымогарный котел-утилизатор, работавший под давлением в 19 атм .

В литературе [2] описывается также установка, в которой были предусмотрены регенераторы для использования тепла воздушного газа. В периоды воздушного дутья воздушный газ нагревал насадку регенераторов, а в периоды парового дутья водяной пар перегревался за счет тепла, аккумулированного в насадках.

Несмотря на целесообразность и возможность использования тепла воздушного газа, в настоящее время имеется очень мало установок, в которых это использование осуществляется. Причины указанного факта различны. На некоторых установках с индивидуальными котлами-утилизаторами, особенно дымогарного типа, возникали частые течи вследствие резких колебаний температур, связанных с периодичностью подачи воздушного газа. Это послужило причиной отказа от утилизации тепла этого газа. На некоторых установках, с общим котлом-утилизатором, гидравлическое сопротивление системы—газопровода и котла—приводило к ограничению производительности установок по водяному газу. В некоторых случаях сказалась, по-видимому, и неудачная конструкция задвижек, отключавших отдельные генераторы от общего газопровода воздушного газа в периодах парового дутья. Потери, или, вернее, пропуски в указанный газопровод водяного газа вызывали снижение выхода последнего для основных производственных целей. В некоторых установках сжигание газа затрудняется низкой теплотворной способностью его.

Помимо указанных обстоятельств причинами отказа от утилизационных систем могли быть трудности в эксплуатации этих систем в виде „хлопков“, т. е. взрывов горючей смеси. Хлопки нередко возникали вследствие неправильного гидравлического режима, несвоевременных продувок газопровода инертными газами, нетщательных наблюдений со стороны персонала и т. п.

Удаление в атмосферу воздушного газа, получаемого на установках водяного газа, является во многих случаях недопустимым не только из-за по-

терь тепла, но и по санитарным условиям районов, в которых расположены установки. Необходимо при этом тщательно продумать утилизационную систему с точки зрения избежания образования горючей смеси в ней, частичной или полной автоматизации переключений, применения плотных отключающих задвижек и т. д.

Нам представляется, что основным принципом работы утилизационных систем должна быть непрерывная подача воздушного газа в общий газопровод под давлением. Напор этого газа должен быть достаточным для эжектирования воздуха, необходимого для сжигания газа. Эжекционные горелки обладают известной самоавтоматичностью, необходимой при неизбежных колебаниях в расходе газа. Наличие раскаленных огнеупорных стенок обеспечит постоянное зажигание и полное сгорание горючей смеси при небольшом избытке воздуха. При неполном сгорании в горелках догорание возможно будет в топочном пространстве котлов.

При наличии на установке большого количества генераторов целесообразно соорудить несколько самостоятельных утилизационных систем, каждая из которых обслуживает 4—6 генераторов.

III. Выбор режима работы генераторов водяного газа при использовании газов воздушного дутья

Требования, предъявляемые в отдельных стадиях процесса к условиям работы газогенераторов, противоречивы. В периоде воздушного дутья желательное развитие высоких температур в слое топлива, которое в последующем периоде обуславливает высокую степень разложения пара и понижение содержания CO_2 в водяном газе. С другой стороны, с точки зрения потерь тепла с воздушным газом, сильный разогрев слоя нежелателен, поскольку он приводит к значительному содержанию CO в этом газе и высокой его температуре. Аналогичные противоречия возникают при выборе высоты слоя. Большая высота слоя приводит, с одной стороны, к увеличению степени разложения пара и повышению производительности по водяному газу, с другой — к увеличению потерь с химическим теплом продуктов воздушного дутья и к необходимости увеличить напор воздушного вентилятора. В связи с этим нет вполне установленных правил в отношении выбора высоты слоя топлива. На различных установках высота слоя топлива колеблется в пределах 0,8—2,0 м.

Противоречия в условиях работы генераторов в значительной мере исчезают при наличии устройств для утилизации химического и физического тепла продуктов воздушного дутья. В этих случаях становится целесообразным режим работы с высоким слоем топлива (порядка 2 метров). При большой высоте слоя топлива обычно получается умеренная температура продуктов воздушного дутья, что важно для работы задвижек и газопровода воздушного газа. Интенсификация воздушного дутья возможна и при высоком слое, но для обеспечения ее требуются вентиляторы повышенного напора. При наличии резервных генераторов допустима пониженная скорость воздушного дутья, которая приводит, в конечном счете, к высокой теплотворной способности водяного газа.

Регулирование температур в слое топлива связано с изменением соотношения количеств воздуха и пара, пропускаемых через слой. С увеличением количества воздуха при неизменном количестве пара повышается температура слоя топлива и увеличивается количество тепла, аккумулируемого в слое.

На температуру в слое и на состав газов влияют также продолжительность периодов воздушного и парового дутья и чередование верхнего и нижнего парового дутья. Чем больше продолжительность воздушного дутья,

тем выше температура слоя топлива, тем больше химическое и физическое тепло воздушного газа. Продолжительность парового дутья лимитируется снижением температуры слоя и уменьшением степени разложения пара. Последовательность отдельных фаз дутья за один цикл обычно следующая: воздушное дутье, продувка паром снизу, верхнее паровое дутье, нижнее паровое дутье.

Продолжительность полного цикла в различных установках колеблется в пределах 4—15 минут. Разбивка циклов по фазам весьма различна. Приводим пределы продолжительности отдельных фаз в % от продолжительности всего цикла.

Фаза	%
Воздушное дутье	10—45
Продувка паром (снизу)	1—5
Паровое дутье	50—85
Продувка воздухом (снизу)	0,2—1

Чем короче цикл, тем равномернее протекает процесс в отношении состава газа. Однако, при слишком малой продолжительности цикла относительно много времени тратится на переключение клапанов, на продувки, и значительное количество продуктов воздушного дутья примешивается к водяному и наоборот.

Анализируя имеющиеся данные по работе действующих установок, можно прийти к заключению, что целесообразная продолжительность цикла может быть принята в пределах 6—9 минут. Продолжительность фазы воздушного дутья, при использовании воздушного газа, должна быть принята в соответствии с условием непрерывной подачи воздушного газа в общий газопровод. Так, при работе 3-х газогенераторов продолжительность фазы воздушного дутья должна составить 35% от общей продолжительности цикла, при работе 4-х газогенераторов продолжительность фазы воздушного дутья должна составить 28—30% от общей.

IV. Испытание действующей станции водяного газа

Вопрос о сжигании газов воздушного дутья и использовании их тепла разрабатывался применительно к условиям одной из действующих станций водяного газа. Работа проводилась бригадой кафедры теоретической и общей теплотехники Томского политехнического института. Участвовали в работе сотрудники кафедры А. А. Гурченков и Ю. А. Короленко.

Станция имеет три газогенератора. Внутренний диаметр шахт—1,8 м, высота их от колосниковой решетки до низа газоотводящего патрубка—2,5 м. Общая схема установки представлена на рис. 1.

Давление воздуха в общем воздухопроводе составляет 360—400 мм вод. ст. Давление пара в магистрали 3—4 атм. Давление и температура пара при поступлении в слой топлива составляют соответственно 500—800 мм вод. ст. и 170—180°C. Количество пара не регулируется. Средний суточный расход топлива 19—21 тн. Топливом служит уголь Араличевского месторождения. Состав горючей массы: C^r — 89%, H^r — 4,1%, S^r — 0,7%, O^r — 4,2%. Количество летучих V^r — 10 %. Влажность угля W^p = 5—6%, зольность A^p = 10—14%. Обычно работают два газогенератора, третий находится в „горячем“ резерве и работает лишь во время чистки основных и при пиковом расходе газа. Чистка основных генераторов производится 2 раза в сутки, чистка резервного—один раз в сутки.

Продолжительность отдельных фаз следующая: 3 мин.—воздушное дутье, 15 сек.—продувка паром снизу, 1,5 мин.—нижнее паровое дутье, 15 сек.—продувка воздухом. Общая продолжительность цикла—8,0 мин.

Указанный цикл является лишь примерным. Очень часто, в частности после загрузки топлива, подача пара сверху не производится. Нередко увеличивается длительность фазы воздушного дутья.

В связи с отсутствием газгольдера достаточной емкости газогенераторы часто вынужденно простаивают. Чистка газогенераторов производит-

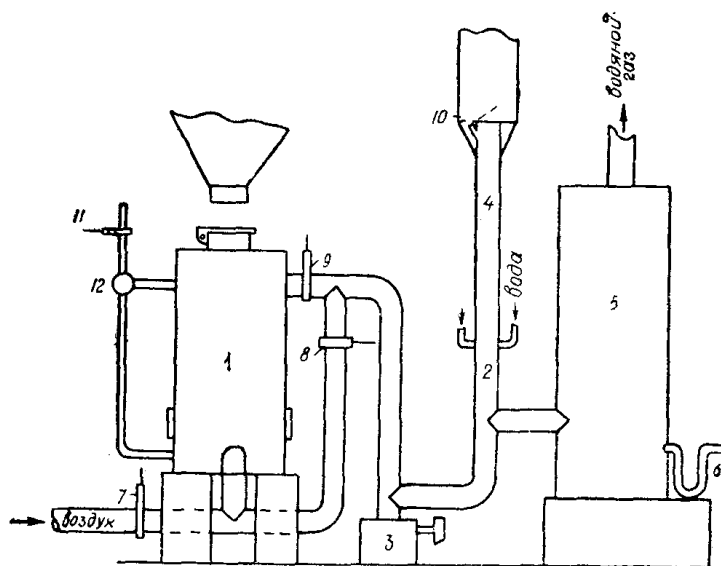


Рис. 1.

1. Газогенератор 2. Ороситель 3. Водяной затвор оросителя. 4. Выхлопная труба. 5. Скруббер. 6. Водяной затвор скруббера. 7. Задвижка для регулирования и отключения воздуха. 8. Задвижка для отключения воздухопровода от газопровода при воздушном дутье. 9. Задвижка, закрываемая при верхнем паровом дутье. 10. Выхлопной клапан. 11. Паровая задвижка. 12. Переключающий трехходовой кран.

ся вручную, без применения вставных так называемых „ложных“ колосников. Перед чисткой толщина слоя топлива доводится до минимума с таким расчетом, что после удаления шлака на решетке остается слой раскаленного топлива толщиной в 25—30 см.

Для проектирования устройства по сжиганию воздушного газа на данной станции необходимо было получить хотя бы ориентировочные данные по их работе. Поэтому были намечены испытания одного из генераторов. При испытаниях производились следующие измерения и определения: 1) измерение расхода воздуха, 2) определение количества загруженного топлива и высоты слоя его, 3) измерение давления воздуха в общем воздухопроводе и под колосниковой решеткой, 4) измерение давления и температуры воздушного газа в выходном патрубке, 5) определение состава воздушного газа. Производились также визуальные наблюдения горения газа. Газ при выходе из железной трубки, приваренной к газоотводящему патрубку, периодически поджигали. В последних испытаниях применялись диффузионные горелки небольших размеров.

Испытание № 1. Перед началом испытания (12 ч. 10 м.) высота слоя топлива была 0,67 м. Чистка этого газогенератора произведена была в 4 часа. Слой шлака, накопленного в нем до начала испытания, составил примерно 0,2 м (с учетом содержания 30% горючих). В 12 ч. 15 м. была произведена загрузка топлива и высота слоя достигла 1,02 м (вес топлива, соответствующий 1 см высоты слоя, составляет ~ 23 кг). За 2 ч. 10 м. (продолжительность испытания) высота слоя снизилась до 0,7 м.

На рис. 2 представлены данные замеров при этом испытании. Как видно из рисунка, температура воздушного газа плавно нарастала до 1000°C по мере уменьшения слоя топлива, а теплотворная способность соответственно уменьшилась с 1000 до 400 ккал/м^3 .

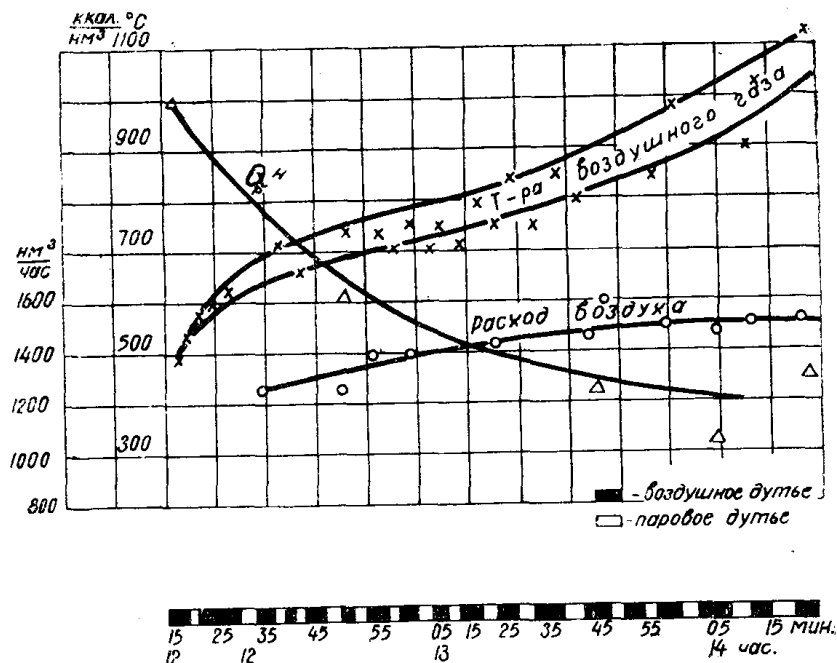


Рис. 2.

Состав воздушного газа

№ пп	Время	CO ₂ %	O ₂ %	CO %	H ₂ %
1	12 ч. 15 м.	6,0	0,3	18,1	17,4
2	12 ч. 50 м.	8,4	3,1	9,8	9,6
3	13 ч. 40 м.	12,8	0,66	7,05	7,7
4	14 ч. 00 м.	13,7	2,4	6,0	4,8
5	14 ч. 20 м.	12,5	2,15	7,3	8,8

Газ, при выпуске его из железной трубки, горел в течение первого часа испытания при $Q_p > 500 \text{ ккал/м}^3$ и не горел во 2-м часу испытания при $Q_p < 500 \text{ ккал/м}^3$.

Давление воздуха в общем воздухопроводе составило 360 мм вод. ст., а под колосниковой решеткой—210 мм. Перепад давления в 150 мм вод. ст. получился вследствие дросселирования воздуха регулирующей задвижкой. Сопротивление слоя составило ~80 мм вод. ст.

Ориентировочный расчет удельного количества воздушного газа может быть сделан по азотному балансу по следующей зависимости:

$$v = \frac{VzN_2^{воз}}{N_2^{газ} G} \frac{\text{нм}^3}{\text{кг топлива}},$$

где $V_{нм^3/час}$ — расчетный часовой расход воздуха по показателям пневмометрической трубки,
 z час — продолжительность периодов воздушного дутья за время испытания,
 $N_2^{воз}$ — содержание N_2 в воздухе,
 $N_2^{газ}$ — то же в воздушном газе,
 G — расход топлива за опыт в кг, рассчитанный по изменению высоты слоя, без учета шлакообразования. В данном испытании получено:

$$v = \frac{1450 \left(\frac{68}{60} \right) \cdot 79}{70 \cdot 715} = 2,6 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

Испытание № 2. Это испытание было проведено после чистки газогенератора. Чистка производилась в 14 ч. 30 м. — 15 ч. 10 м. Высота слоя топлива после удаления шлака составила 0,27 м. Перед испытанием была произведена загрузка топлива в количестве 1700 кг, а высота слоя достигла 1,02 м. После 2-х часов работы высота слоя снизилась до 0,6 м.

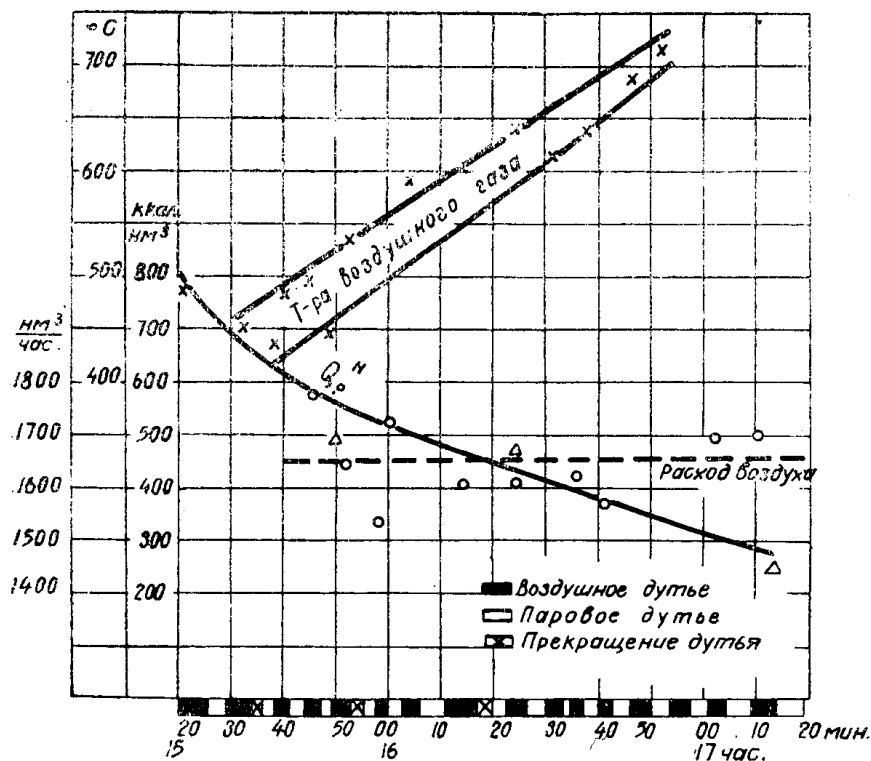


Рис. 3.

Как видно из рис. 3, теплотворная способность воздушного газа в начале испытания составила 800 ккал/нм³, а в дальнейшем она снизилась до 300 ккал/нм³. Газ не горел при $Q_{H_p} < 450$ ккал/нм³. Температура воздушного газа изменилась от 420—450°C в начале испытания до 750—800°C в конце его.

Давление воздуха в общем воздухопроводе составило 380 мм вод. ст. и под колосниковой решеткой ~ 150 мм вод. ст. Ориентировочный выход воздушного газа в этом испытании составлял 2,2 нм³/кг топлива.

Состав воздушного газа

№№ п.п.	Время	CO ₂ %	O ₂ %	CO%	H ₂ %
1	15 ч. 23 м.	7,25	0,1	13,1	16,1
2	15 ч. 52 м.	10,5	0,1	9,1	8,3
3	16 ч. 23 м.	10,2	1,0	10,6	6,2
4	16 ч. 42 м.	12,3	1,5	8,0	5,3
5	17 ч. 12 м.	14,8	1,5	4,2	4,9

Испытание № 3. Данное испытание началось через 2 часа после частичной чистки газогенератора. Через 20 минут после начала испытания была произведена загрузка топлива. При загрузке высота слоя топлива повысилась с 0,79 м до 1,57 м. В конце испытания высота слоя снизилась до 1 м. Таким образом, средняя высота слоя топлива была больше средней высоты слоя, имевшей место в предыдущих испытаниях. Повышение слоя топлива привело к увеличению теплотворной способности воздушного газа. В этом испытании теплотворная способность удерживалась на уровне 550 ккал/нм³, см. рис. 4.

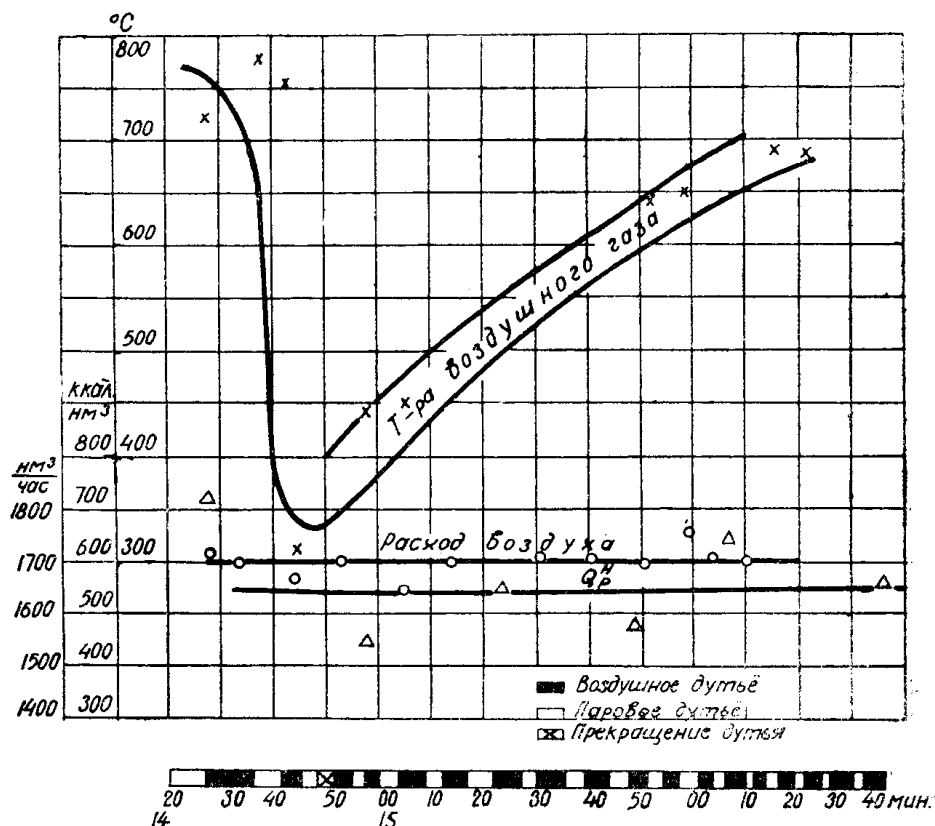


Рис. 4.

Средний выход воздушного газа составил 2,1 нм³/кг топлива.

Испытание № 4 проводилось с целью проверки условий работы газогенератора при повышенном слое топлива. Испытание началось при высоте слоя, превышавшем 1 м. Через 20 минут после начала испытания

Состав воздушного газа

№ № п.п.	Время	CO ₂ %	O ₂ %	CO%	H ₂ %
1	14 ч. 37 м.	6,4	0,1	17,3	7,5
2	14 ч. 57 м.	10,7	0,1	8,3	7,5
3	15 ч. 24 м.	7,8	0,3	11,1	8,0
4	15 ч. 47 м.	4,5	0,2	11,5	5,5
5	16 ч. 10 м.	6,4	0,0	14,0	9,9
6	16 ч. 32 м.	9,1	0,2	13,5	6,0

высота слоя снизилась до 1 м, затем была произведена загрузка топлива, причем высота слоя достигла 1,35 м. Температура воздушного газа колебалась в пределах 400—600°C, а теплотворная способность его в пределах 500—400 ккал/нм³, рис. 5.

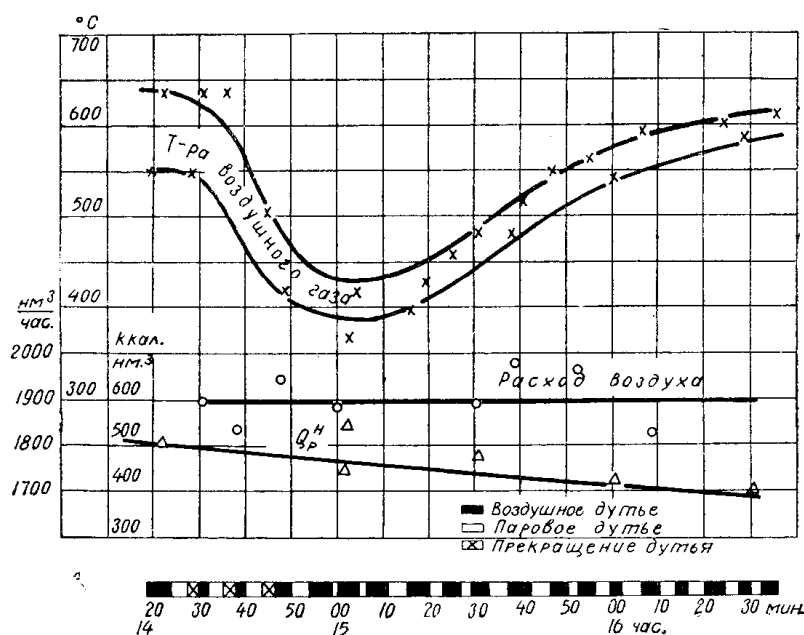


Рис. 5.

Эксплуатационное испытание всех газогенераторов. Выше было отмечено, что при наличии устройства для сжигания воздушного газа необходимо обеспечить непрерывную подачу воздушного газа в газопровод. Для выяснения возможности осуществления непрерывного получения воздушного газа при существующих условиях на заводе (отсутствии газгольдера большой емкости, ручной чистке генераторов) было намечено провести эксплуатационные испытания всех газогенераторов. Первое испытание проводилось при измененном, по сравнению с обычным, режиме, а именно, при утолщенном слое топлива и однократной, в течение суток, чистке газогенераторов.

В течение суточного испытания суммарное время перерывов в получении воздушного газа составило 1 ч. 12 м. При более внимательном ведении режима работы отдельных газогенераторов можно полностью избежать перерыва в получении воздушного газа.

Суммарное время подачи воздушного и парового дутья за время испытания по отдельным газогенераторам было несколько различным. Судя по расходу топлива, расходы воздуха в единицу времени воздушного дутья в генераторах 1 и 2 были примерно одинаковыми и в 1,7 раза превышали расход воздуха в генераторе № 3. Во время чистки одного из газогенераторов работали два остальных, причем длительности фаз воздушного и парового дутья были примерно одинаковы и составляли 4—5 мин.

Выводы по предварительным испытаниям

Предварительные испытания показали, что в существующих условиях эксплуатации воздушный газ получается переменным по составу и температуре. Для избежания значительных колебаний в составе и температуре воздушного газа необходимо организовать периодическое удаление шлака (2 раза в сутки) при сохранении общей высоты слоя топлива. Это возможно при применении вставных (ложных) колосников, поддерживающих слой во время чистки. Необходимо также организовать более частые загрузки топлива меньшими порциями (250—350 кг).

Испытания показали, что возможно непрерывное получение воздушного газа при соответствующем выборе режима работы газогенераторов. В частности, это возможно при переходе на последовательную равномерную подачу воздушного дутья во все газогенераторы, с незначительным перекрытием фаз воздушного дутья по отдельным газогенераторам. Средняя калорийность и температура воздушного газа по данным испытаний могут быть приняты соответственно в 500 ккал/нм³ и 700°С. Ориентировочный выход воздушного газа—2,3 нм³/кг топлива.

V. Проект устройства для сжигания воздушного газа

Низкое и переменное качество воздушного газа усложняет вопрос о выборе конструкции сжигающего устройства. Турбулентные или диффузионные горелки в данном случае неприменимы из-за слабой устойчивости горения. Наиболее приемлемым представляется топочное устройство с огнеупорной насадкой. Значительная аккумуляция тепла насадкой обеспечит воспламенение газа даже в случае кратковременных перерывов и горение будет происходить достаточно полно при небольших избытках воздуха.

Вероятные перерывы в подаче газа обуславливают целесообразность эжектирования газом воздуха из атмосферы, ибо при подаче воздуха под давлением возможны случаи заполнения газопровода горючей смесью. Эжектирование воздуха газом желательно также в связи с некоторой самоавтоматичностью регулирования поступления воздуха при переменном количестве газа, о чем уже было указано выше.

На рис. 6 представлен проект топки с насадкой из стандартного кирпича, применительно к станции с часовым расходом угля порядка 1000 кг. Предполагается эжектирование воздуха газом.

При работе газогенераторов с высоким слоем топлива и пользовании ложными колосниками (с этим связано уменьшение колебаний в составе газов) возможно применение другого варианта топки для сжигания газов. Этот вариант представлен на рис. 7. Он представляет собой топку с небольшой насадкой, расположенной в фронтальной стенке котла Шухова-Берлина. Такая конструкция относится к типу тоннельных беспламенных горелок, разработанных ВНИИТом для сжигания доменного газа [4]. В этом варианте также предполагается эжектирование воздуха газом. В тесных котельных можно применить для сжигания воздушного газа форкамеры, расположенные внутри котлов.

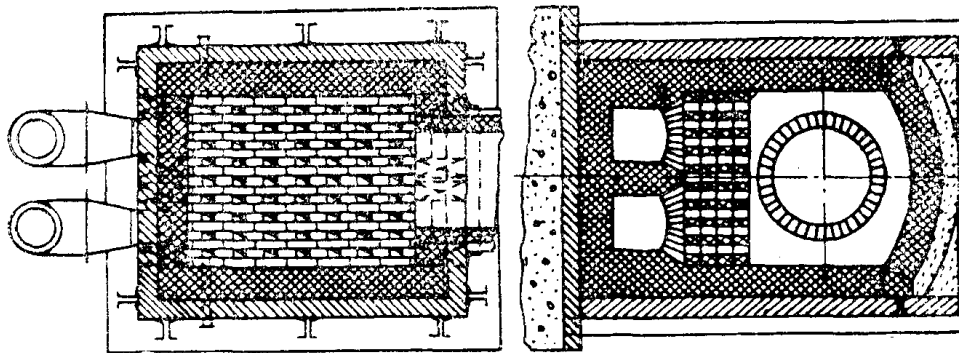


Рис. 6

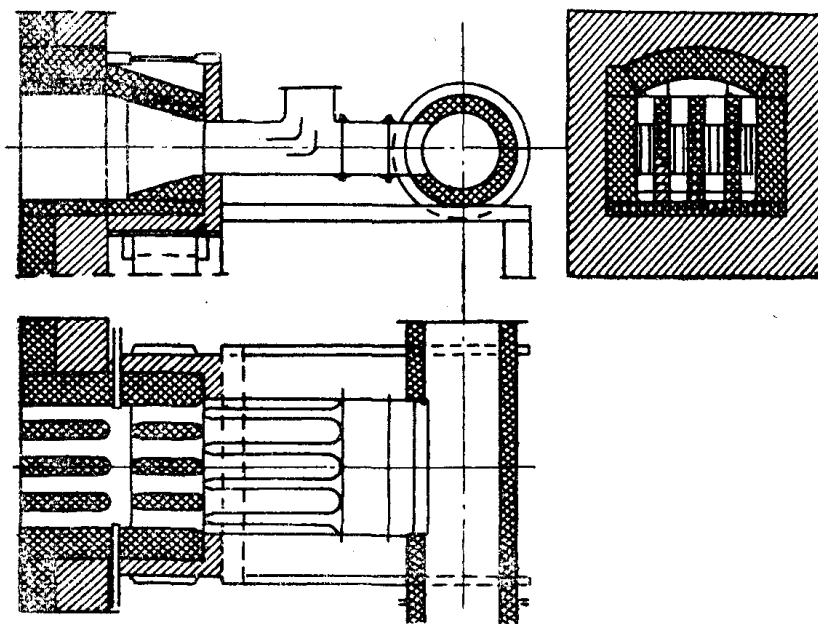


Рис. 7

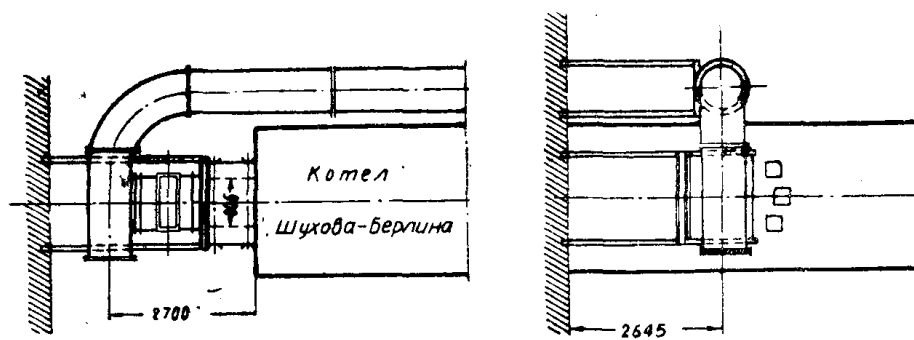


Рис. 8

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург Д. Б.—Газификация топлива и газогенераторные установки. Изд. 2, 1938.
 2. Гинзбург Д. Б.—Газогенераторные установки, ч. II, 1937.
 3. Дольх П.—Водяной газ, 1938.
 4. Арсеев А. В.—Сжигание газов, 1952.
-