

МАЛОГАБАРИТНАЯ ВАННАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ВАРКИ ЭЛЕКТРОКОЛ- БОЧНОГО СТЕКЛА, ОТАПЛИВАЕМАЯ ВОДЯНЫМ ГАЗОМ

Н. Н. НОРКИН

На одном из заводов Западной Сибири в марте 1944 г. закончено строительство малогабаритной ванной печи, выполненной по проекту автора. Начиная с апреля 1944 г., после кратковременного пускового периода, печь находится в состоянии эксплуатации и по заданному температурному режиму, без перебоев, равномерно обеспечивает проектную мощность; в августе 1946 года после двухлетней непрерывной работы печь была остановлена на холодный ремонт (смена брусьев стен и свода печи) и с сентября 1946 г. работа печи вновь возобновилась.

В печи варится стекломасса для изготовления путем выдувания следующего ассортимента стеклянных изделий—колб:

Колба диаметром 32 мм	весом в „чистоте“	8 грамм
„ 42 мм	„ „	14 „
„ 60 мм	„ „	29 „
„ 65 мм	„ „	40 „
„ 75 мм	„ „	56 „

Кроме того, часть сваренной стекломассы идет для изготовления весового стекла (дрота), из которого вытягиваются трубки диаметром 12—13 мм; 15—16,5 мм и 24—26,5 мм.

Шихта для варки стекломассы составляется по следующему расчету: на 100 весовых частей песка 36 весовых частей соды; 3 весовых части сульфата натрия; 24 весовых части доломита.

В шихту добавляется стеклянный бой в количестве 25—30%. Применяющийся для варки стекломассы песок имеет следующий химический состав:

SiO_2	от 96,5	до 98%
Al_2O_3	от 1,62	до 3,3%
Fe_2O_3	от 0,2	до 0,4%
CaO	от 0,4	до 0,8%
MgO	от 0,18	до 0,35%

В связи со статьей проф. Д. Б. Гинзбурга (Стекольная и керамическая промышленность, №1—2, 1946 г.), в которой отмечаются значительные трудности конструирования малогабаритных печей и значение этих печей в развитии стекольной промышленности, а также имея в виду, что работающая по проекту автора ванная печь является наименьшей по размерам из всех известных малогабаритных печей, представляется целесообразным осветить теоретические соображения, положенные в основу проекта печи, и теплотехнические показатели работы печи; с этой целью и публикуется настоящая статья.

1. Топливо и система отопления

Топливом служит водяной генераторный газ, средний химический состав которого без учета влаги следующий: CO —36%; CO_2 —5%; O_2 —0,2%; H_2 —53,5%; N_2 —3,3%; CH_4 —2%.

Состав влажного газа при степени насыщения $\varphi = 1$ для температуры 20°C—следующий: CO —35,13%; CO_2 —4,87%; O_2 —0,19%; H_2 —52,3%; N_2 —3,21%; H_2O —2,3% CH_4 —1,9%.

Теплотворная способность газа, рассчитанная по вышеуказанному составу и многократно определявшаяся с помощью калориметра Юнкерса, имеет среднее значение:

$$Q_H^p = 2578 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}.$$

Водяной генераторный газ производится в газогенераторах системы Пинча с плоской колосниковой решеткой, с ручным шлако- и золоудалением и с ручной загрузкой топлива. Для производства водяного газа используется араличевский каменный уголь, типа полуантрацитов, со средним содержанием летучих от 7 до 9%, следующего химического состава на органическую массу: $\text{C}^\circ = 86,3 \div 89,8\%$; $\text{H}^\circ = 3,7 \div 4,1\%$; $\text{O}^\circ = 5,3\%$; $\text{N}^\circ = 1,4 \div 2\%$ и $\text{S}^\circ = 0,9\%$. В рабочем топливе: $\text{Wp} = 3,5 - 12\%$; $\text{Ap} = 14,6\%$. Средняя теплотворная способность—6090 ккал/кг.

Использование водяного генераторного газа для отопления стекловаренной печи не обусловлено какими-либо специальными требованиями к газу, как к топливу. Для отопления печи нет обязательной необходимости прибегать к использованию высококалорийного водяного газа по сравнению с обычным смешанным генераторным газом, так как производство водяного газа стоит значительно дороже производства обычного смешанного газа, а также требует большего расхода угля и пара, необходимых для получения водяного газа; это подтверждается следующими соображениями. Если считать теплотворную способность обычного смешанного генераторного газа равной 1250 ккал/м³, а теплотворную способность водяного газа равной 2500 ккал/м³, затем учесть, что выход смешанного генераторного газа обычно составляет 3,0 м³/кг, выход же водяного газа 1 м³/кг, то отношение расхода угля при отоплении водяным газом к эквивалентному расходу угля при отоплении смешанным газом выражится величиной

$$\frac{1250 \cdot 3}{2500 \cdot 1} = 1,5$$

Что же касается пирометрических эффектов горения водяного и смешанного генераторных газов, то, при сравнении калориметрических температур горения их в условиях сжигания холодных газов, получаются следующие соотношения:

для водяного газа $t_{\text{кал}} = 2050 - 2100^\circ\text{C}$, для смешанного газа $t_{\text{кал}} = 1650 - 1700^\circ\text{C}$.

Однако, пирометрический эффект горения смешанного газа может быть повышен путем подогрева его и воздуха, необходимого для сжигания за счет утилизации тепла отходящих газов.

Приведенные сравнения двух видов газов водяного и смешанного—подкрепляют вывод об отсутствии особых преимуществ отопления печи водяным газом над смешанным; использование водяного газа для отопления стекловаренной печи обусловлено тем обстоятельством, что расход его для печи составляет часть от общего расхода водяного газа, потребляемого на данном производстве для термической обработки стеклянных и металлических деталей и для других целей.

Для проектирования системы отопления печи на водяном газе следовало прежде всего решить вопросы: 1) о подогреве газа и воздуха, необходимом для достижения требуемого пирометрического эффекта и 2) о степени смешения газа и воздуха в горелке, обеспечивающей нормальное развитие пламени в печи.

Первый вопрос решен с помощью следующих расчетов; средняя температура факела (которую можно замерить при помощи отсасывающей термопары) принята на 200°C выше максимальной температуры зеркала стекла, в данном случае $t_{\text{ср.}}^{\text{ф}} = 1400 + 200 = 1600^{\circ}\text{C}$. Пирометрический коэффициент горения в печи принят минимальным из обычных для стекловаренных печей (0,65—0,75); в данном случае $\eta_{\text{пир}} = 0,65$.

Тогда, учитывая, что 1) $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 2578 \text{ ккал/м}^3$,

2) коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,1$,

3) объем продуктов горения $3,07 \text{ м}^3/\text{м}^3$,

4) калориметрическая температура горения газа 1980° . Из уравнения

$$t_{\text{ср.}}^{\text{ф}} = \eta_{\text{пир}} \cdot \frac{Q_{\text{H}}^{\text{P}} + V_{\text{возд.}} \cdot C \cdot t_{\text{возд.}}}{V_{\text{пр.г.}} \cdot C_{\text{пр.г.}}}$$

находим, что воздух должен подогреваться до 800°C , чтобы обеспечить вышеуказанную температуру факела.

При решении второго вопроса о степени смешения газа и воздуха в горелке, обеспечивающей нормальное развитие пламени в печи, были приняты во внимание следующие соображения: в водяном газе содержится приблизительно 50% водорода, в то время как в смешанном генераторном

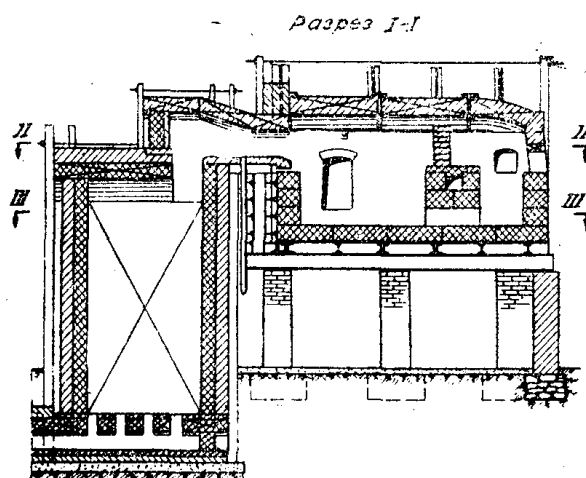


Рис. 1 Малогабаритная банная печь для варки электроколбоного стекла

Основные показатели

1. Производительность $2,2 \text{ т/сутки}$
2. Расход водяного газа $190 \text{ м}^3/\text{час}$
3. Подогрев в-ха в регенераторах 800°C
4. Напряженность варки $600 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сутки}$
5. Тепловая напряженность $119 \cdot 10^3 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$
6. Поверхность зеркала $5,53 \text{ м}^2$

газе из каменного угля содержание водорода значительно меньше, и обычно находится в пределах от 12 до 17%. Однако, известно, что скорость распространения пламени водорода является наибольшей из скоростей распространения пламени других газов, например, приблизительно в 3,3 раза больше, чем для CO и в 8 раз больше, чем для CH_4 . Кроме того, в составе смешанного генераторного газа содержится значительное

количество азота, в среднем не меньше 50%, а в водяном газе азота содержится лишь 3—5%; но известно, что азот понижает скорость распространения пламени; вследствие указанных причин, скорость распространения пламени водяного газа приблизительно в 3 раза больше скорости распространения пламени смешанного генераторного газа (при одинаковых температурных условиях). Учитывая эти особенности горения водяного газа, по сравнению с горением каменноугольного смешанного генераторного газа, и имея в виду необходимость в достижении сравнитель-

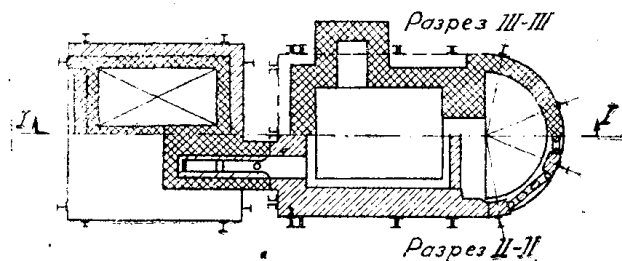


Рис. 2 План ванной печи

но длинного факела пламени, горелка спроектирована с малой степенью смешения газа и воздуха, с отдельным подводом их в печь—газ подводится холодным в горелку по газопроводу, воздух—из регенератора, смешение осуществляется лишь при выходе в рабочее пространство печи. Практика эксплуатации печи подтвердила правильность выше приведенного заключения, т. к. распределение температуры по длине факела в печи наблюдается довольно равномерно.

На прилагаемом рисунке дан вертикальный продольный разрез и план печи и регенераторов.

II. Рабочее пространство печи

При проектировании размеров и формы рабочего пространства печи с теплотехнической стороны возникают следующие основные вопросы:

- 1) Какой величины должна быть поверхность стекла в варочной и выработочной частях ванны и соотношение между ними?
- 2) Какой длины должен быть путь для свободного развития факела пламени?
- 3) Как осуществить тепловой и температурный режимы в выработочной части печи?

Так как проектируемая печь, по сравнению с обычно работающими, отличается не только системой отопления (водяной газ), но и очень малыми размерами (площадь зеркала ванны 5,58 м²), то вполне естественно, что решение указанных выше вопросов приобрело тем большее значение, ибо нельзя было позаимствовать данных производственной практики других малогабаритных печей. При решении первого вопроса о поверхности зеркала стекла были приняты во внимание взаимно связанные между собой факторы: а) удельный съем стекломассы с 1 м² поверхности зеркала стекла в варочной и рабочей частях печи; б) соотношение между суточной производительностью, поверхностью зеркала стекла и объемом стекломассы в бассейне печи; в) соотношение между тепловой напряженностью и поверхностью зеркала стекла в условиях теплопередачи от пламени водяного газа. Этот последний фактор имеет существенное значение, так как различие в скоростях распространения пламени водяного и смешанного генераторного газа, различие в составах продуктов горения этих газов обуславливают собою значительную разницу в степенях черноты факелов пламени обоих газов; степень черноты факела пламени смешан-

ного генераторного газа не превышает 0,15, а степень черноты пламени водяного газа составляет около 0,25 от абсолютно черного излучения. Варьируя расчетным путем соотношениями выше приведенных факторов, в конце концов получены следующие оптимальные показатели: а) удельный съем стекломассы составляет 600 кг с 1 м² в сутки по площади варочной части и 400 кг с 1 м² в сутки по общей площади пода печи; б) суточная производительность печи составляет 17,5% выработки общего объема стекломассы в бассейне; в) тепловая напряженность 1 м² отапливаемой (варочной) части печи выражается величиной 119000 ккал/м² час, что соответствует удельному расходу тепла по газу в 4750 ккал. на 1 кг сваренного стекла.

Расход водяного газа в практике эксплуатации контролируется с помощью острой диафрагмы, диаметром 63 мм, установленной на газопроводе диаметром 105 мм. Расчетная формула для определения расхода газа при соотношении диаметров $\frac{63}{105}$ выведена следующая:

$$V = 39\sqrt{h} \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

здесь h —перепад давления в диафрагме на создание скорости движения газа. Обычно h изменяется в пределах 20—26 мм в. с., что соответствует расходу газа от 175 м³/час до 198 м³/час. Расход газа по проекту был определен в 175 м³/час.

При этих условиях длина факела оказалась равной 4,9 м и расстояние между осями факела в прямом и обратном направлениях 1100 мм при общей ширине печи в 1600 мм.

Что же касается третьего вопроса,—о тепловом и температурном режиме выработочной части печи, то для решения его потребовалось найти соотношение между теплоотдачей в окружающую среду ограждениями выработочной части печи и падением теплосодержания стекломассы, непрерывно поступающей из варочной части в выработочную; при этом оказалось, что падение теплосодержания стекломассы от 1400°C (в варочной части) до 1150°C (в выработочной части) не компенсирует полностью тепловых потерь в окружающую среду, вследствие чего неизбежно температура стекломассы в выработочной части понизилась бы ниже заданного нормального уровня; поэтому, во избежание такого понижения, недостающее количество тепла для выработочной части пополняется излучением из варочной части с помощью решетчатого теплового экрана из огнеупорных кирпичей, расположенного над протоком. Площадь сечения отверстий решетчатого экрана рассчитана по формулам тепловой диафрагмы.

Под бассейна находится на одном уровне как в варочной, так и в выработочной частях печи; глубина бассейна равна 900 мм; варочная часть печи отделена от выработочной протоком размерами 600·300·1000 мм. Во время эксплуатации застывания стекла в протоке не наблюдалось.

III. Воздушные регенераторы

Основными величинами, определяющими нормальную работу регенераторов и всей системы отопления, являются:

- 1) тепловая мощность насадки, обеспечивающая заданный подогрев воздуха и достаточную утилизацию тепла отходящих из печи газов и
- 2) высота регенераторов, обеспечивающая такой геометрический напор горячего воздуха, который был бы достаточен для создания определен-

ной заданной скорости вылета воздуха из горелки в рабочее пространство печи.

Для подогрева воздуха до 800°C , общая поверхность нагрева насадки в воздушной камере равна 81 м^2 . Насадка по типу Сименса, с размерами ячейки $65 \cdot 90 \cdot 115 \text{ мм}$ и с удельной поверхностью нагрева $15 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Коэффициент теплообмена в насадке $3,17 \text{ ккал/м}^2 \text{ град. период}$. На 1 м^2 поверхности зеркала стекла в варочной части приходится 22 м^2 поверхности нагрева насадки с тепловой нагрузкой $6100 \text{ ккал/м}^2 \text{ час}$. Геометрический напор, создаваемый регенератором, равен $2,78 \text{ мм в. с.}$, величина которого как показали расчеты, является вполне достаточной как для преодоления сопротивлений по пути движения воздуха, так и для создания скорости вылета из горелки равной 6 м/сек . Сопротивления на пути движения отходящих из печи газов преодолеваются винтовым вентилятором низкого давления, создающим разрежение $9\text{—}10 \text{ мм в. с.}$ при температуре отходящих газов около $150\text{—}160^{\circ}\text{C}$. Такой гидравлической режим является устойчивым во время эксплуатации печи.

Сводка основных показателей конструкции и работы печи.

Тип печи—ванная печь непрерывного действия с протоком и подковообразным пламенем. Размеры бассейна:

общая длина— $4,4 \text{ м}$;

длина варочной части $2,3 \text{ м}$;

длина—радиус выработочной части— $1,1 \text{ м}$;

ширина варочной части $1,6 \text{ м}$;

глубина варочной части 900 мм ;

глубина выработочной части 900 мм ;

площадь зеркала стекла варочной части— $3,68 \text{ м}^2$;

площадь зеркала стекла выработочной части $1,9 \text{ м}^2$;

общая площадь зеркала стекла $5,58 \text{ м}^2$;

$$\text{отношение} = \frac{\text{варочная часть}}{\text{общая площадь}} = \frac{3,68}{5,58} = 0,66;$$

емкость бассейна общая— $5,03 \text{ м}^3$;

емкость варочной части— $3,31 \text{ м}^3$;

емкость выработочной части— $1,72 \text{ м}^3$.

$$\text{отношение} = \frac{\text{суточная производительность}}{\text{весовая емкость печи}} = 0,175.$$

Размеры насадок (воздушных): длина— 2 м , высота— 3 м , ширина— $0,9 \text{ м}$, объем— $5,4 \text{ м}^3$, поверхность нагрева насадки 81 м^2 .

$$\text{отношение} = \frac{\text{поверхность нагрева}}{\text{общая площадь зеркала}} = \frac{81}{5,58} = 14,5 \text{ м}^2/\text{м}^3;$$

$$\text{отношение} = \frac{\text{поверхность нагрева}}{\text{площадь зеркала варочной части}} = \frac{81}{3,68} = 22 \text{ м}^2/\text{м}^2;$$

Примечание: После 2-летней непрерывной работы во время холодного ремонта, по предложению инженера Ф. П. Гурского, с согласия автора проекта, была уменьшена длина насадок до $1,5$ (вместо 2). Горелка торцевая: ширина вылета— 500 мм , высота вылета в замке арки— 450 мм , сечение вылета $0,2 \text{ м}^2$,

$$\text{отношение} = \frac{\text{сечение вылета}}{\text{площадь зеркала варочной части}} = 0,0545$$

Производительность печи: $2,2 \text{ т/сутки}$.

Съем стекломассы: по площади зеркала варочной части $600 \text{ кг/м}^2 \text{ сутки}$; по общей площади зеркала $400 \text{ кг/м}^2 \text{ сут}$.

Вид топлива: водяной газ из аралычевских полуантрацитовых углей.
Расход топлива (в среднем) $190 \text{ м}^3/\text{час}$.

Удельный расход потенциального тепла топлива: на стекломассу— 4750 ккал/кг ; на площадь зеркала отапливаемой части $119000 \text{ ккал/м}^2 \text{ ч}$.

Наружная поверхность стен печи 30 м^2

Наружная поверхность свода печи $13,5 \text{ м}^2$.

Наружная поверхность пола печи $12,2 \text{ м}^2$.

Наружная поверхность насадочной камеры 28 м^2 .

Температурный режим: варочная часть $1400\text{—}1450^\circ\text{C}$; выработочная часть $1150\text{—}1200^\circ\text{C}$; подогрев воздуха 800°C ; отходящие газы $150\text{—}160^\circ\text{C}$.

Состав отходящих продуктов горения:

$$\text{CO}_2=13,6\%; \text{H}_2\text{O}=17,3\%; \text{O}_2=3,1\%; \text{N}_2=66\%.$$

Разрежение перед вентилятором— 9 мм в. с.

Режим засыпки шихты: до остановки печи на ремонт в течение 2-летней непрерывной работы засыпка шихты производилась через $2\frac{1}{2}$ часа в количестве $280\text{—}300 \text{ кг}$. После ремонта для увеличения интенсивности работы печи по предложению инженера Ф. П. Гурского, с согласия автора проекта, введена засыпка через 1 час в количестве 130 кг .

Заключение

В статье изложены основные положения, принятые автором при проектировании малогабаритной ванной стекловаренной печи непрерывного действия, отапливаемой водяным газом, а также основные показатели конструкции и работы печи.

Непрерывная в течение 4 лет работа печи на одном из заводов Западной Сибири показала хорошие результаты, совпадающие с проектными данными.

Строительство печи и последующая эксплуатация велись под наблюдением инженера И. Г. Литвиненко.

Ремонт печи после 2 летней работы произведен под руководством инж. Ф. П. Гурского.