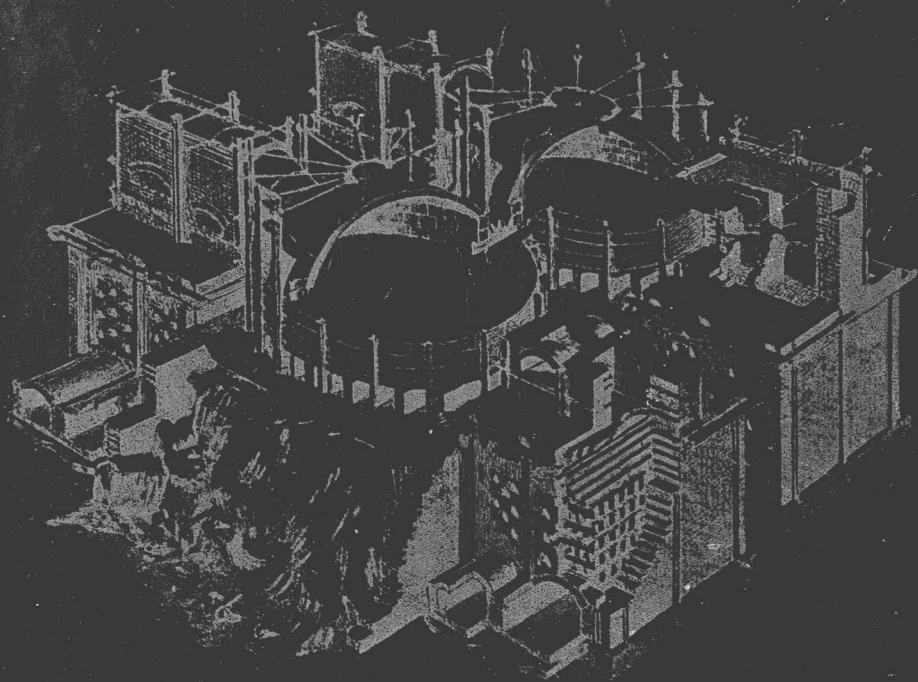


12.15999

ПРОФ. С. С. БЕРМАН

ВАННЫЕ СТЕКЛОВАРЕННЫЕ ПЕЧИ

ГИЗЛЕГПРОМ
1935

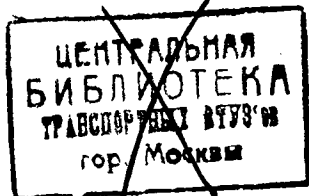


Проф. С. С. БЕРМАН

12.1.5990

ВАННЫЕ
СТЕКЛОВАРЕННЫЕ
ПЕЧИ

101884



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ЛЕНИНГРАД ● МОСКВА

1935

1
24105

Книга С. С. Бермана — Ванные стекловаренные печи — освещает чрезвычайно подробно вопрос о ванных стекловаренных печах.

Начав с описания исторического хода развития стекловаренных печей и их главных типов, автор в последующих главах дает характеристику: конструкции и работы регенеративных ванных печей, газификации топлива и газогенераторов, классификации ванных печей, конструкции и работы регенеративных ванных печей с общим бассейном, ванных печей с конструктивным разделением бассейна, регенераторов, перекидных клапанов, регенеративных ванных печей, горелок, конструкции основных частей печей и применяемых материалов, загрузки шихты в печь, управления работой ванной печи, показателей работы ванных печей.

Благодаря очень подробному, систематическому и популярному изложению (сочетающемуся с глубиной проработки материала) — книгу можно рекомендовать в качестве руководства для квалифицированных рабочих и младшего технического персонала стекольных заводов, а также для тех лиц, которым необходимо ознакомиться с конструкцией и работой ванных стекловаренных печей. К числу достоинств книги нужно отнести большое количество рисунков, иллюстрирующих материал.

Редактор М. Я. Гессен. Техчический редактор Ф. А. Каган

*Сдано в набор 28 декабря 1934 г.
Подписано к печати 16 августа 1935 года. Учетно-авт. листов 15.
Печатных листов 12 1/2. Формат бумаги 62x94 1/16. Бум. листов 6 1/4. Количество знаков в бум. листе 96.000.
Тираж 2675. Ленгорт № 22814.
Гизлепром № 1583. Индекс С-5.
Заказ № 80.*

ЛОУТ НКО СССР им. Кл. Ворошилова Ленинград, ул. Герцена, 1).

ПРЕДИСЛОВИЕ

До революции стекольные заводы в России были в подавляющем большинстве мелкими кустарными предприятиями, разбросанными в медвежьих углах, среди дремучих лесов. Экономика стекольного производства основывалась главным образом на каторжной эксплуатации труда как производственных рабочих (в том числе очень большого количества подростков от 6—7 лет), так и крестьян, работавших по заготовке и подвозу топлива и сырых материалов, а также по вывозке готовой продукции. На громадном большинстве этих заводов не было ни одного механического или электрического двигателя и вся работа как в основных производственных цехах, так и во вспомогательных производилась вручную, в лучшем случае с помощью лошадиной силы. Основные агрегаты — стекловаренные печи — были в огромном большинстве кустарного выполнения, небольшой производственной мощности и характеризовались чрезвычайно низкими показателями, как-то: большим удельным расходом топлива и небольшим удельным съемом стекломассы. Только на нескольких заводах были сравнительно крупные ваннные печи производительностью до 30—40 тонн стекломассы в сутки; да и то они в подавляющем большинстве были выстроены перед империалистической войной иностранными специалистами, преимущественно бельгийцами.

При беспощадной эксплуатации рабочей силы дело не могло обстоять иначе; о какой бы то ни было механизации, будь то основное производство или вспомогательные цеха, — не могло быть и речи. Было, правда, незадолго до империалистической войны сделано несколько попыток заимствовать заграничные методы механизированного производства оконного стекла, но они потерпели неудачу в силу целого ряда причин; основной же причиной неудачи была дешевизна рабочей силы и экономическая невыгодность введения механизации.

После революции основной задачей восстановления стекольной промышленности явилось не простое ее восстановление на базе ранее существовавших кустарных заводов с примитивными орудиями производства и методами труда, но полная ее реконструкция на базе механизированного производства.

Эта работа, начатая в 1925 году, привела к тому, что в настоящее время мы имеем несколько десятков крупных механизированных заводов, построенных по последнему слову техники. Механизация производства оконного стекла в основном закончена и освоена в течение первой пятилетки. Тогда же было приступлено к механи-

зации бутылочного производства. Во второй пятилетке должно быть обеспечено полное освоение механизированного производства не только бутылочного, но и разных видов сортового стекла, а также освоение механизированного производства целого ряда технических стекол.

Вполне естественно, что механизация стекольного производства потребовала введения новых типов ванн печей с производительностью сплошь и рядом до 100 тонн в сутки. Новые типы печей частично заимствовались из-за границы, частично же являются оригинальными советскими конструкциями. Новые типы печей характеризуются в основном конструктивным разделением бассейна на отдельные части. Этому виду печей уделено в настоящем курсе очень много места, причем подробно освещен вопрос об их преимуществах перед ранее применявшимися печами. Более того, большое значение, которое приобрели новые типы печей, заставило нас критически подойти к имеющимся классификациям печей и предложить новую классификацию.

В настоящем курсе, рассчитанном на квалифицированного рабочего и младший технический персонал стекольных заводов, мы старались избежать схематического упрощенчества и хотя бы в самом кратком виде осветить некоторые весьма важные, но и весьма сложные вопросы, как, например, распределение температур в печи, значение потоков стекломассы и т. п. Насколько удалось нам увязать изложение этих серьезнейших проблем с популярностью данного курса, — предоставляем судить читателю.

В заключение считаем своей приятной обязанностью выразить свою благодарность заслуженному деятелю науки, члену-корреспонденту Академии наук СССР, профессору Н. Н. Качалову, который внимательно просмотрел рукопись и дал нам ряд ценных указаний.

1. ИСТОРИЧЕСКИЙ ХОД РАЗВИТИЯ СТЕКЛОВА- РЕННЫХ ПЕЧЕЙ, ГЛАВНЫЕ ТИПЫ И ИХ СРАВНЕНИЕ

1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ СТЕКЛОДЕЛИЯ

Искусство приготовления стекла было известно уже в глубокой древности и достигло довольно высокой степени совершенства в Финикии и древнем Египте. Из Египта искусство стеклоделия было перенесено еще в древние века в Рим.

В связи с общим культурным одичанием в начале средних веков стекольное производство в Западной Европе также пережило большой упадок. Лишь в конце средних веков, около семи сот лет тому назад, оно снова развилось в Италии, в городе Венеции, прославившемся в то время своими стекольными изделиями. Несмотря на то, что технология производства стекла держалась в глубочайшей тайне, разглашение которой, равно как и отъезд стекольщиков за пределы Венеции карались смертной казнью — искусство стеклоделия распространилось из Венеции во Францию, Англию и Германию, а затем и в другие страны.

Первый стекольный завод в России был выстроен триста лет тому назад шведом Елисеем Коэтом. Однако, вплоть до петровской эпохи стеклоделие в России влчало самое жалкое существование. Только с этого периода начинается фактическое развитие русской стекольной промышленности, в течение еще двух столетий остававшейся, однако, на исключительно низком техническом уровне. Стекольные заводы, за отдельными исключениями, были фактически кустарными предприятиями, без всякой механизации, с самыми отсталыми, полурабскими формами труда.

В таком совершенно неудовлетворительном (а частью и в разрушенном) состоянии стекольная промышленность досталась в наследие Советскому Союзу.

К этому времени за границей была проделана значительная работа по механизации стекольной промышленности. Поэтому в начале периода реконструкции всей промышленности Союза встал вопрос не столько о восстановлении полуразрушенных стекольных заводов кустарного типа с ручным методом производства, сколько о коренной перестройке стекольной промышленности на базе механизированного производства.

В настоящее время одна из главнейших отраслей стекольного производства, а именно выработка оконного стекла, — почти полно-

стью переведена на механизированный метод работы. Выстроены целый ряд новых крупных заводов. В порядке коренной реконструкции перестроено большое количество ручных заводов оконного стекла; в результате последнее вырабатывается машинами Фурко, которые избавили рабочих от каторжного труда — выдувания стекла человеческими легкими. Построено несколько заводов для механизированной выработки бутылок. Освоено механизированное производство дров и штабиков на машинах рабочего изобретателя Королева. Налажена и освоена выработка целого ряда изделий, до революции не вырабатывавшихся в России, а ввозившихся из-за границы (оптические стекла, электроколбы и т. д.). Наконец, в порядке дня поставлено освоение механизированной выработки целого ряда изделий, до сих пор вырабатывавшихся исключительно ручным способом (сортовое стекло, аптекарское, парфюмерное, электроколбы и т. д.).

2. ПЕЧИ СТЕКОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Одним из главнейших и ответственных этапов стеклового производства является *варка стекла*, т. е. получение из сырых компонентов (обычно песка, известняка или мела и соды или сульфата) сваренной стекломассы, из которой путем ее дальнейшей обработки получают готовые изделия. Варка стекла производится в специальных так называемых *стекловаренных* (или *стеклоплавильных*) печах. Помимо этих печей, на стекловаренных заводах устанавливается еще целый ряд других, предназначенных для термической обработки стекла. Из-за большого количества печей на стекловаренном заводе, из-за их большой роли в технологии процесса, — выработку стекла считают обычно „горячим“ производством. Из всех печей на стекловаренных заводах главная роль и особое значение принадлежат стекловаренным печам.

3. ГЛАВНЫЕ ТИПЫ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Печи для варки стекла имеются самых разнообразных типов. С одной стороны это объясняется тем, что в течение нескольких тысяч лет существования стекловаренных печей они все время подвергались целому ряду изменений и усовершенствований. С другой стороны, разнообразие типов объясняется различием вырабатываемых изделий, разными требованиями, к ним предъявляемыми, размерами производства и, наконец, разными видами применяемого топлива. Все эти моменты и обуславливают разницу в типе и конструкции стекловаренных печей.

Но, несмотря на все многообразие типов печей, их можно разделить на несколько классов, исходя из двух основных признаков, а именно:

- а) формы сосуда, в котором варится стекло,
- б) периодичности или непрерывности процесса варки и выработки стекла.

По *первому* признаку стекловаренные печи можно разбить на две главных категории:

1. *Горшковые печи*: стекло помещается в отдельных горшках, расположенных в стойле печи; эти печи аналогичны так называемым *тигельным* печам, применяемым в металлургии.

2. *Ванные печи*: стекло варится во всем бассейне печи, в *ванне*; эти печи, до известной степени, аналогичны применяемым в металлургии мартеновским печам (для плавки стали) и медеплавильным ваннам.

В отношении *второго* признака стекловаренные печи можно разбить на две категории:

1. *Периодического действия*, т. е. такие печи, в которых в течение некоторого промежутка времени производится варка стекла из загруженной шихты, а затем производится выработка стекломассы. Эти печи называются часто также „*выработочными*“, так как сваренная стекломасса „*вырабатывается*“ из печи; иногда называют их и „*суточными*“, так как обычно полный цикл (т. е. продолжительность всего периода варки стекла и его выработки) продолжается одни сутки.

2. *Непрерывного действия*, т. е. печи, в которых как процесс варки стекла, так и процесс выработки происходят непрерывно. В этом случае шихта, обычно, загружается в одной части печи, так называемой *варочной*, где и происходит варка стекла; выработка же сваренной стекломассы производится из другой части печи, так называемой *выработочной*.

Горшковые печи являются периодическими; в них шихта загружается в горшки (обычно в несколько приемов) и после того, как стекло сварится, приступают к выработке. Многочисленные предложения об устройстве непрерывно действующих горшковых печей — по целому ряду причин не получили практического применения.¹

Что касается *ванных печей*, то они бывают как периодические, так и непрерывно действующие.

Резюмируя все сказанное, мы можем разбить все стекловаренные печи на следующие три основных типа:

- а) горшковые печи;
- б) периодические ванные печи;
- в) ванные печи непрерывного действия.

Настоящий курс мы посвящаем *ванным печам* и, притом, главным образом, печам непрерывного действия, в виду того, что эти печи играют особо важную роль в нашей промышленности, а также потому, что они значительно более совершенны в техническом отношении, нежели периодические ванные печи; к тому же последние — как будет видно из дальнейшего — представляют собой, как бы, переходную ступень от горшковых печей (периодических) к *ванным печам непрерывного действия*.²

¹ Интересующиеся этим вопросом могут обратиться к курсу Петухова — „Стеклоделие“, стр. 122—124, изд. 1898 г.

² Горшковые печи описаны в популярной форме в книге: С. С. Берман „Горшковые стеклоплавильные печи“, Государственное химико-техническое изд-во, 1932 г.

4. ПРОЦЕСС ВАРКИ СТЕКЛА

Стекло варится из так называемой „шихты“ или „состава“, который собирается в определенной пропорции из отдельных так называемых компонентов или сырых материалов. В шихту обычных стекол входят песок, известняк или мел и сода или сульфат. Для специальных стекол применяется целый ряд других элементов. Мы не будем здесь излагать вопроса о составе шихты для различных стекол, о применении тех или иных сырых материалов. Этот вопрос подробно рассматривается в специальных курсах технологии, т. е. производства стекла; здесь мы ограничимся общим описанием тех явлений, которые имеют место при варке стекла, а также тех условий термических (т. е. тепловых и температурных), которые следует иметь в стекловаренных печах.

Весь процесс получения готовой стекломассы из сырых материалов (т. е. шихты) распадается на несколько этапов, которые происходят последовательно друг за другом.

Первая стадия — так называемый *провар* (*сплавление* — „варка“ в собственном смысле этого слова) — заключается в том, что при сильном нагреве шихты происходит разложение некоторых ее составных частей и соединение отдельных элементов в сплав, т. е. образование так называемых *силикатов*. Эти химические процессы образования стекломассы требуют притока значительного количества тепла и наличия высокой температуры, обычно, порядка 1 400—1 450° C (хотя доказано, что эти процессы могут идти и при значительно более низких температурах).

Полученная в результате провара стекломасса является неочищенной и еще непригодной для дальнейшей обработки; при взятии пробы на „железку“ в ней не должно быть „непровара“; однако, она содержит еще много газов, которые на железке, а также при выработке такого „неочищенного“ стекла, дали бы пузырь и мошку (мелкий пузырь); к тому же эта стекломасса — неоднородна (т. е. состав ее в различных местах неодинаков).

Для устранения этих дефектов нужно, как говорят, *очистить* или *осветлить* стекломассу; назначение этого процесса, как ясно из предыдущего, состоит в удалении пузырьков газов из стекломассы и в ее перемешивании. Достигается это повышением температуры в печи (а, следовательно, и температуры стекломассы). При этом стекломасса становится менее вязкой, т. е. более жидкой, что благоприятствует выделению пузырьков газов; кроме того, благодаря большей текучести стекломассы, она лучше перемешивается и становится более однородной. Перемешивание в горшковых печах зачастую ускоряют путем так называемого бурления или установкой механических мешалок; в ваннных же печах интенсификация перемешивания достигается только путем создания определенных температурных условий.

Как ясно из сказанного, процесс осветления требует наличия весьма высокой температуры (обычно порядка 1 450—1 500° а иногда и до 1 550°); расход же тепла на процесс осветления меньше, чем на процесс варки, так как в последнем случае большое количество

епла тратится на разогрев холодной шихты и на химические реакции стеклообразования.

Стекло „осветленное“ является уже вполне чистым; при взятии пробы стекло должно быть вполне однородным, без пузырей. Но на данной стадии стекло еще слишком жидко, т. е. не может быть набрано на трубку при ручной работе, а также не может быть обработано машинами. Следует „остудить“ стекло до температуры выработки. Последняя зависит от целого ряда обстоятельств, как то: состава стекла, характера вырабатываемых изделий, ручной или машинной выработки, типа машин и т. п.; в каждом отдельном случае можно найти так называемую оптимальную температуру, т. е. наиболее выгодную с точки зрения как удобства выработки, так и достижения наивысших качественных и количественных показателей. Не требует доказательств, что при студке стекла не требуется его подогрева.

После этой третьей стадии — так называемой *студки* — следует последний процесс — *выработка* стекла. В течение тысячелетий и вплоть до последнего времени выработка производилась исключительно вручную; теперь же в целом ряде отраслей выработка механизирована. Во время выработки стекла нужно поддерживать температуру стекломассы на одном уровне.

Резюмируем все вышесказанное: в стекловаренной печи имеют место следующие процессы: а) *варка* стекла (провар, сплавление), б) *осветление* (очистка), в) *студка*, г) *выработка*.

Во всех стекловаренных печах (горшковых или ваннных, периодических или непрерывного действия) стекломасса проходит последовательно через эти четыре стадии. Но есть одно *весьма важное и сугубо принципиальное различие между периодическими печами (горшковые и выработочные ваннные печи) и непрерывно работающими ваннными печами*. Этот вопрос будет освещен ниже, после краткого описания горшковых и ваннных печей.

5. ГОРШКОВЫЕ ПЕЧИ

ОПИСАНИЕ

Имеется много типов горшковых печей. Все они характеризуются тем, что варка стекла происходит в *горшках*, расположенных в так называемом *стойле* или *пламенном пространстве печи*. Несмотря на различие типов горшковых печей, процесс получения в них готовой стекломассы из сырых материалов почти тождествен. На рис. 1 даны схематически продольный вертикальный разрез и план десятигоршковой печи с верхним пламенем.

Что такое вертикальный продольный разрез печи? Представим себе, что мы вертикальной плоскостью разрезали печь вдоль и отняли переднюю часть. То, что мы увидим, глядя на оставшуюся заднюю часть печи, и будет так называемым вертикальным продольным разрезом; он показан на верхней части рис. 1. Мы видим, что на поду 1 стоят горшки 2; то пространство, в котором находятся горшки, называется *стойлом* печи и ограничено снизу по-

дом 1, а с боков — стенами 3 и сводом 4. В этом пространстве происходит горение топлива, например, генераторного газа с воздухом; поэтому оно часто называется *пламенным пространством*. Генераторный газ и необходимый для его горения воздух подаются через левую горелку 5, расположенную в торцевой стене; пламенные газы проходят над горшками (как это показано стрелкой) и продукты горения (так называемые отходящие газы) отводятся в правую горелку. По причинам, которые изложены в вышеупомянутой книге „Горшковые стеклоплавильные печи“, и которые будут

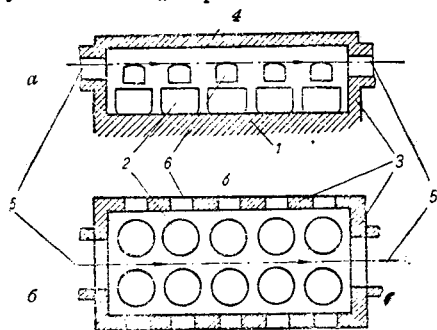


Рис. 1. Схематический чертеж стойла горшковой печи с верхним пламенем.

а) продольный разрез, б) план. 1 — под, 2 — горшки, 3 — стены, 4 — свод, 5 — горелки, 6 — рабочие окна.

мы увидим, глядя сверху на нижнюю часть стойла, — и представляет собою план. Мы видим там боковые стены 3, ограничивающие со всех сторон стойло, а также расположенные в нем горшки 2; в стенах видны рабочие окна 6, а по обоим концам печи — горелки 5.

На нашем чертеже горелки помещены в боковых стенах печи, а пламя проходит над горшками; этот тип горшковых печей называется „*верхнепламенными*“ или печами „с *верхним подводом пламени*“; кроме этого типа, имеется еще другой, также весьма распространенный тип горшковых печей, где горелки расположены в поду печи; такие печи называются печами с *нижним подводом пламени*.

Несмотря на различие в конструкции горшковых печей с верхним и нижним пламенем, процесс работы на них в принципе является совершенно одинаковым. Переходим к его описанию.

МЕТОД ВАРКИ СТЕКЛА В ГОРШКОВОЙ ПЕЧИ

Отличительной особенностью процесса варки и выработки стекла в горшковых печах является *периодичность процессов*; иными словами, стекло предварительно варится, а после этого вырабатывается.

Весь период или, как иногда говорят, цикл процесса состоит из следующих операций, которые проводятся последовательно (т. е. одна после другой).

После того, как *выработка* стекла уже закончена, необходимо *разогреть* печь, т. е. довести температуру от температуры выработки до температуры варки; последняя должна быть настолько высокой, чтобы сплавление шихты могло сейчас же начаться, несмотря на охлаждение печи, вызываемое засыпкой шихты. При разогреве печи температура обычно подымается от 1100—1250° до 1350—1400°; разогрев печи обычно продолжается от одного до двух часов, при большом расходе тепла.

Еще во время разогрева печи в горшки засыпается стекольный бой, так как он плавится при более низкой температуре, нежели шихта. В дальнейшем, когда печь уже достаточно разогрета, производят *засыпку* шихты (состава). Горшки насыпаются полными, с верхом; одной засыпки недостаточно для того, чтобы наполнить горшки, и состав приходится засыпать 2—3 и иногда даже 4 раза.

В это время печь держат на полном огне, так как для варки стекла необходима не только высокая температура, но и подача в печь большого количества тепла; процесс стеклообразования есть процесс „эндотермический“, т. е. идущий с поглощением извне тепла.

Этот процесс варки ведется обычно при температурах 1400—1450° и, в зависимости от состава стекла, продолжается, в среднем, от 8 до 12 часов. После окончания процесса собственно варки, мы имеем в горшках уже не отдельные компоненты шихты (т. е. песок, известняк, щелочи и т. п.), но сваренную стекломассу.

Эта сваренная стекломасса не может еще, однако, поступать для выработки, так как, с одной стороны, она еще недостаточно однородна, а, с другой стороны, в ней имеется еще много пузырьков различных газов, которые выделяются из шихты при разложении ее составных частей (как, например, известняков, щелочей и т. д.). Если попробовать сделать из такой стекломассы какое-нибудь изделие, то оно будет сплошь усеяно пузырями (крупными и мелкими — мошкой), а так же будет отличаться полосатостью и свилеватостью (недостаточная однородность стекла); но в сваренной стекломассе, взятой на пробу на железный прут („железку“), не должно быть так называемого *непровара*, т. е. частиц шихты (в частности, крупинок песка), не вступивших в реакцию с остальными компонентами.

Для того, чтобы превратить сваренную стекломассу в чистую, пригодную для дальнейшей разделки — необходимо „*очистить*“ ее или, как иногда говорят, „*осветлить*“; этот процесс осветления стекломассы имеет своим назначением сообщение ей однородности и удаление из нее пузырьков газов. Достигается „осветление“ стекломассы путем сильного повышения ее температуры. При этом стекломасса становится весьма жидкой и легко подвижной, благодаря чему облегчается как удаление пузырьков газа, так и взаимное перемешивание стекломассы. Последний процесс иногда ускоряют так называемым *бурлением*: в стекло вводится кусок мокрого твер-

дого дерева или картофеля; внезапное парообразование приводит стекло в сильное движение, облегчает выход пузырьков и способствует перемешиванию. Иногда перемешивание производится специальными мешалками (например, при производстве оптического стекла).¹

Осветление проводится при температуре более высокой, чем варка (обычно при 1450—1500°, а иногда и при 1550°); расход же тепла во время осветления меньше, чем при процессе варки, так как в первом случае оно расходуется исключительно на поддержание печи при высокой температуре, а не на химические реакции стеклообразования.

Проба осветленного стекла, взятая на железку, дает уже чистое стекло. Однако стекломасса в горшках еще слишком жидка; она не обладает той вязкостью, которая необходима для выработки стекла в изделия; необходимо произвести „студку“ стекла. С этой целью прекращают приток газа и необходимого для горения воздуха и открывают выработочные отверстия („рабочие окна“), с тем, чтобы ускорить охлаждение. Продолжительность студки зависит от разницы температур в конце осветления и начале выработки, от размеров горшков и от других факторов. При выработке обычного сортового стекла „студка“ продолжается, в среднем, от 1 до 3 часов, а при зеркальном стекле—от 6 до 9 часов.

Как только стекло достаточно остынет и приобретет необходимую вязкость—приступают к выработке стекла из горшков. При выработке различных видов выдувного стекла стремятся поддерживать в печи одинаковую температуру в течение всего процесса выработки, для чего печь все время подогревают; расход газа в это время сравнительно незначителен. Продолжительность выработки при выдувных и прессованных изделиях составляет обычно одну смену, т. е. 6—8 часов. При производстве литого зеркального стекла литье длится, в среднем, 2 часа, причем из 16 горшковой печи каждый горшок в большинстве случаев выливается через 7—8 минут; после опорожнения нескольких горшков печь, обычно, подогревается.

Из сделанного краткого обзора процесса работы горшковой печи видно, что этот процесс отличается следующими особенностями.

Во-первых, *варка стекла происходит не во всем рабочем пространстве печи, а в отдельных горшках.*

Во-вторых, *процесс происходит не непрерывно, а периодически* в следующем порядке: печь разогревается, затем стекло варится, осветляется, студится и, в дальнейшем, вырабатывается.

В-третьих, *в течение каждого отдельного процесса температура в печи поддерживается разная, но, по возможности, одна и та же по всей печи;* она является наивысшей во время варки и, особенно, осветления стекла и наименьшей—во время выработки. Расход тепла также колеблется в широких пределах, достигая максимума во время собственно варки стекла и минимума—во время студки и выработки.

¹ В последнее время иногда с большим успехом производят бурление путем продувки стекломассы в горшке сжатым воздухом от компрессора (или кислородом).

6. ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВАННЫЕ ПЕЧИ

Горшковые печи представляют собою самый старый тип стекловаренной печи. Хотя в настоящее время они еще широко применяются в целом ряде отраслей стекольного производства (в особенности, при производстве ценных изделий и специальных стекол), тем не менее в основных видах производства предметов широкого потребления (как то: оконное стекло, бутылочное и т. д.) они уступили место более новому типу стекловаренных печей, а именно — *ванной печи непрерывного действия*. Однако переход от горшковых периодических печей к ванным печам непрерывного действия совершился не сразу, а прошел через промежуточную стадию в виде *ванной печи периодического действия*.

Чтобы дать представление о схеме устройства периодической ванной печи, обратимся снова к рис. 1. Представим себе, что мы вынули из стойла печи горшки и наварили стекло на поду стойла в нижней его части (в дальнейшем будем называть ее *бассейном*), вплоть до нижнего уровня рабочих окон. Иными словами, нижняя часть стойла (бассейн) будет заполнена стекломассой, а пламенные газы будут находиться в верхней части стойла в так называемом „пламенном пространстве“; тепло от пламенных газов будет передаваться стеклу через его верхнюю поверхность (так называемое „зеркало“).

Когда в такой печи стекло будет сварено, осветлено и затем остужено, его можно полностью до дна (пода) или же частично выработать через рабочие окна. После окончания выработки печь разогревают, наваривают в ней стекло и т. п., т. е. начинается следующий цикл работы.

Как видно из сказанного, процесс работы такой печи тот же, что и в горшковой печи, т. е. периодичный. Так как в этих печах отбирается или „вырабатывается“ стекло на некоторую глубину, то часто их называют „выработочными“ печами. Называют их иногда „суточными“ или „дневными“ ваннами, так как обычно полный цикл процессов продолжается сутки и выработка стекла производится в дневное время.

Из приведенного выше описания периодической ванны видно, что она по методу работы напоминает горшковую печь; единственное отличие заключается в отсутствии горшков, т. е. в том, что варка стекла производится в одном общем бассейне, в так называемой ванне.

Не лишено интереса указание немецкого стекольщика Шипмана о том, что первая ванная печь периодического действия появилась совершенно случайно. На одном из заводов Рейнской области (Германия) по недосмотру стекловара на одной из горшковых печей с верхним пламенем сразу „ушли“ все горшки. Случайно все отверстия в нижней части стойла были так хорошо замазаны, что вытекшее из горшков стекло осталось в стойле. Для того, чтобы использовать сваренную стекломассу, — „выхальмовали“ (вытащили) остатки горшков и выработали трубками всю стекломассу прямо из стойла печи. Этот случай привел к мысли испробовать варку

стекла непосредственно на поду стойла печи; попытка эта оказалась удачной и, в результате, появилась ванная печь периодического действия. Следует отметить, что в дальнейшем в нее пришлось внести ряд конструктивных изменений по сравнению с горшковой печью, но основной принцип остался без существенных изменений.

Не лишним будет указать и на то обстоятельство, что в целом ряде других отраслей промышленности (и, в частности, в металлургии) имеют широкое распространение печи, по своему принципу совершенно аналогичные стекловаренным ванным печам периодического действия; наиболее известными и распространенными являются основные печи черной металлургии — мартеновские.

7. ВАННЫЕ ПЕЧИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Самым последним и современным типом стекловаренных печей является так называемая ванная печь непрерывного действия. В этих печах, как и в периодической ванне, варка стекла производится в специальном большом резервуаре, так называемом *бассейне*. Существенное же различие между обоими типами заключается в том, что в периодической ванне печь процесс происходит периодически, т. е. стекло последовательно варится, осветляется, студится и выработывается; в ванне же печи непрерывного действия все эти процессы происходят непрерывно и одновременно, но в *разных* частях бассейна. Иными словами, в одной части бассейна имеет место непрерывная варка стекла, во второй части — непрерывно производится осветление сваренной стекломассы, в третьей — ее студка и, наконец, из последнего отделения непрерывно производится выработка.

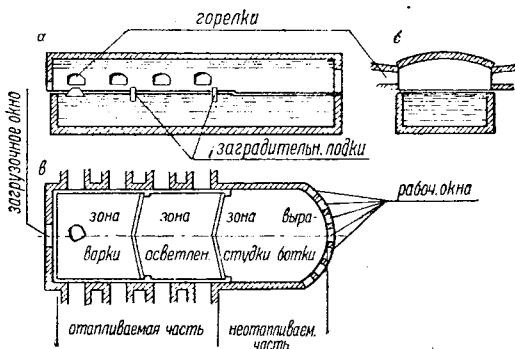


Рис. 2. Схематический чертеж бассейна ванной печи непрерывного действия.

а — продольный разрез, б — поперечный разрез, в — план.

производится осветление сваренной стекломассы, в третьей — ее студка и, наконец, из последнего отделения непрерывно производится выработка.

На рис. 2 показаны схематически продольный и поперечный разрезы и план бассейна ванной печи непрерывного действия.

Шихта подается в один конец (левый) удлиненного бассейна через *загрузочное окно* (или *загрузочный карман*). Варка стекла происходит в прилежащей части бассейна в *варочном пространстве* (или *зоне варки*); это пространство отопляется специальными горелками. Постепенно передвигаясь, сваренная стекломасса поступает затем в следующую часть бассейна (также отопляемую), где происходит осветление стекла (*зона осветления*). Оба эти отделе-

ния образуют *отапливаемую часть печи*. Далее стекломасса попадает в зону *студки* (студочное пространство) и, наконец, в *выработочное* отделение, где происходит выработка через рабочие окна; зоны студки и выработки не отапливаются и образуют *неотапливаемую часть печи*.

Между зоной варки и зоной осветления, а также между последней и зоной студки, обычно располагают „*заградительные лодки*“ — огнеупорные поплавки, плавающие в стекле и разделяющие эти зоны.

В такой ванной печи непрерывного действия шихта постоянно загружается в одном конце бассейна, а готовая стекломасса непрерывно вырабатывается с противоположного конца печи. По пути шихта и стекломасса проходят вдоль печи и последовательно подвергаются процессам собственно варки, осветления, студки и выработки. Иными словами, каждая часть стекломассы проходит последовательно через всю печь, подвергаясь по дороге различным преобразованиям. Весь же процесс стеклообразования в целом, а также каждая его стадия в отдельности (т. е. процессы варки, осветления, студки и выработки) протекают непрерывно, но каждый из них в отдельной части печи.

В этом заключается коренное отличие ванной непрерывного действия от периодически работающих печей. Хотя имеется очень много типов ванн непрерывного действия, но изложенный выше принцип работы совершенно одинаков для всех типов.

8. СРАВНЕНИЕ МЕЖДУ ГОРШКОВЫМИ ПЕЧАМИ, ПЕРИОДИЧЕСКИМИ И НЕПРЕРЫВНЫМИ ВАННЫМИ

Развитие стекольной техники в XX веке идет по линии снижения себестоимости и издержек производства. В связи с этим, наблюдаются следующие тенденции в технологическом процессе: рационализация теплового хозяйства, увеличение производственной мощности отдельных агрегатов, внедрение принципа массового производства, переход от ручной выработки к машинной и, наконец, внедрение принципов непрерывного производственного потока. Весьма существенную роль играют у нас вопросы облегчения условий работы и оздоровления труда рабочих. Все вышепоименованные факторы, если их рассматривать в разрезе стекловаренных печей, — обусловили постепенный переход от горшковой печи к периодической ванной, а от последней — к ванной печи непрерывного действия. Ниже мы дадим сравнение этих трех главных типов стекловаренных печей как в отношении метода работы, так и с точки зрения количественных и качественных показателей (производительность, удельный расход топлива, качество стекла), а также их пригодности к массовому и механизированному производству.

МЕТОД РАБОТЫ

В горшковой печи варка стекломассы происходит в стоящих в печном пространстве отдельных горшках, из которых и вырабатывается готовое стекло. Цикл процесса, как мы видели, периодический, т. е.

последовательно по всей горшковой печи проводится операция получения из шихты готовой стекломассы, а затем эта сваренная стекломасса уже вырабатывается.

Следует обратить внимание еще на одно в высшей степени важное обстоятельство: температура во всем печном пространстве должна быть по возможности равномерной, т. е. одинаковой по всей печи; *но в разн^{ые} промежутки времени* температура меняется так, как того требует соответствующая стадия производства. Во время варки температура *по всей печи* выше, чем во время выработки; во время осветления температура еще выше. Во время студки понижается температура во *всем* стойле печи.

В периодической ванной горшки отсутствуют; варка происходит в бассейне, имеющем вид ванны, из которой и вырабатывается готовое стекло.

В этом заключается существенное отличие периодической ванной от горшковой печи. Что же касается метода производства, то он одинаков в обоих случаях. Засыпка, варка, осветление, студка и выработка следуют друг за другом в определенном порядке; точно так же, как и в горшковой печи, изменяется температура по всей печи соответственно требованиям данной стадии производства. В отношении же распределения температуры в любой определенной промежуток времени — желательное достижение по возможности одинаковой температуры во всем пламенном пространстве.

Ванная печь непрерывного действия характеризуется наличием специального бассейна, в котором плавится и из которого вырабатывается стекломасса; в этом заключается ее отличие от горшковой печи и сходство с ванной печью периодического действия. В противоположность же горшковой и периодической ванной печи, отдельные процессы варки стекла происходят в данном случае не в одном, а в разных частях бассейна: сырые материалы загружаются в один конец бассейна, а готовое стекло вырабатывается на противоположном конце. Следовательно, в ванной печи непрерывного действия происходят *одновременно*, но в *разных* местах варка стекла, осветление, студка и выработка. Сплавляемое в первой части бассейна (в варочном бассейне) стекло как бы медленно течет к другому концу печи, к выработочному бассейну.

Что касается температурного режима, то между ванными печами непрерывного действия, с одной стороны, и горшковыми печами и периодическими ванными, с другой, имеется одно в высшей степени важное и принципиальное различие. *Во всех периодически работающих печах температура в разное время — различна; но в один и тот же промежуток времени она должна быть по возможности одинаковой по всей печи.* В ванной же печи непрерывного действия происходят одновременно, но в разных частях печи, процессы, требующие разных температур; так, напр., в зоне варки и осветления требуются весьма высокие, а в зоне студки и выработки — значительно более низкие температуры. Но в каждой зоне, поскольку соответственный процесс протекает в ней непрерывно, требуется непрерывное поддержание одной и той же температуры. Иными словами, *температуры в разных частях непрерывной ван-*

ной печи — различны, но они не должны меняться во времени. В этом и заключается существенное отличие температурного режима непрерывно действующей ванной печи от режима периодических печей (ваннных и горшковых). Это различие можно в кратких словах сформулировать следующим образом.

В периодически действующих печах температура должна быть, по возможности, одинаковой по всей печи, но она периодически меняется во времени.

В непрерывно действующей ванной печи температуры в разных частях печи различны, но они должны поддерживаться постоянно на одной высоте, т. е. не должны меняться во времени.

УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА

Одним из основных элементов себестоимости стекла (особенно, тех его видов, которые производятся в массовом масштабе, как, напр., бутылочное, оконное, аптекарское, стеклянная тара и т. п.) является стоимость топлива. Поэтому *удельный расход тепла*, т. е. количество тепла, необходимое для получения 1 кг стекла, является одним из главных показателей совершенства применяемых для варки стекла печей. Практика показывает, что при прочих равных условиях, удельный расход тепла в ваннных печах значительно меньше, чем в горшковых печах (приблизительно на 25—50%). В этом значительном уменьшении расхода топлива заключается одно из основных преимуществ ваннных печей по сравнению с горшковыми. Ниже будут даны сравнительные значения расхода топлива для главных видов печей. Сейчас же мы вкратце объясним, в чем заключается причина данного явления.

В ванной печи передача тепла от пламенных газов к стекломассе имеет место по всей поверхности (зеркалу) последней; иными словами, площадь бассейна полностью использована. В горшковых же печах поверхность зеркала стекла в горшках составляет обычно от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ поверхности пода; иными словами, площадь пода не используется здесь в достаточной мере. Передаваемое же стекломассе некоторое количество тепла через боковые стенки горшков является незначительным. Менее совершенное использование площади пода горшковой печи для передачи тепла, действующего непосредственно на зеркало стекла, приводит к тому, что удельный расход тепла для горшковых печей значительно выше.

Вторая причина меньшего расхода тепла при варке стекла в ваннных печах заключается в том, что последние имеют, обычно, значительно большие размеры, нежели горшковые печи. Практика же работы как горшковых, так и ваннных печей свидетельствует о том, что с увеличением размеров печи — показатели работы (и, в частности, удельный расход топлива) улучшаются. Причины этого явления будут изложены ниже (в главе XIV — „Показатели работы ваннных печей“). Сейчас же остановимся только на вопросе о том, почему ваннные печи можно строить значительно больших размеров, чем горшковые. Объясняется это тем, что в соответствии с приведенными выше соображениями в горшковой печи необходимо под-

держивать равномерное распределение температур по всему стойлу печи; с увеличением же размеров печи это делается чрезвычайно затруднительным. Поэтому, площадь пода горшковых печей не превосходит 50—60 м²; большей же частью она значительно меньше. Что же касается ваннных печей, то как сказано выше, в них нет необходимости поддерживать равномерную температуру по всему стойлу; это обстоятельство и позволяет строить значительно большие агрегаты. Так, у нас очень распространены ваннные печи с площадью зеркала 150—200 м²; в Америке имеются ваннные печи с площадью до 300 м².

Третья причина большого расхода топлива на горшковых печах (а также на периодических ваннных) заключается в том, что значительное количество тепла тратится на разогрев кладки печи после каждой выработки стекла (вследствие периодичности производства). В непрерывно действующих печах этот дополнительный расход тепла отсутствует.

Периодические ваннные печи занимают в смысле удельного расхода тепла среднее место между непрерывными ваннными и горшковыми печами; по размерам они обычно невелики и не превосходят горшковых печей; в них также расходуется значительное количество тепла на разогрев кладки; но площадь их пода, в противоположность горшковым печам, полностью используется для передачи тепла стеклу.

КАЧЕСТВО СТЕКЛА

Еще сравнительно недавно было широко распространено мнение о том, что на ваннных печах непрерывного действия нельзя получать стекла такого же высокого качества, как на горшковых, и что поэтому производство высококачественного стекла может базироваться исключительно на горшковых печах. Практика последнего времени доказала полную ошибочность этого взгляда. Не говоря уже об оконном стекле (бемском), которое давно варится в ваннных печах,—за последние годы стали варить в них зеркальное, электроколбное и целый ряд других видов самого чистого и белого стекла.

В деле освоения варки высококачественных стекол в ваннных печах—за последние годы имеются серьезные достижения, как по линии конструкции печей, так и метода производства. На мероприятиях, необходимых для получения качественного стекла в ваннных печах, мы остановимся ниже.

ДРУГИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Весьма важным преимуществом непрерывных ваннных печей является их приспособленность к массовому производству. Объясняется это не только большими размерами отдельных агрегатов (суточная производительность до 100 т и выше, а в горшковых печах—5—7 тонн при выработке сортового стекла и 15—20 т—для зеркального), но и непрерывностью самого процесса, что значительно упрощает как основное производство, так и вспомогательные операции.

Механизированное производство стекла (оконного, бутылочного и сортового) тесно связано с ванными печами непрерывного действия.

Непрерывная ванна имеет и то преимущество, по сравнению с периодическими печами, что ее работа требует только сохранения постоянного температурного режима; это значительно проще (при наличии контрольно-измерительной аппаратуры), чем периодическое изменение режима периодических печей в соответствии с ходом процесса варки. Наконец, при ваннных печах отпадает работа по изготовлению горшков, выводка и вставка их, поворачивание поврежденных и замена их новыми. Все эти операции не только требуют больших затрат рабочей силы и материалов, но и значительно затрудняют обслуживание печи и нарушают ход производства.

9. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРШКОВЫХ И ВАННЫХ ПЕЧЕЙ

На основании практики как нашей, так и технически передовых капиталистических стран можно определенно утверждать, что непрерывные ванные печи вытесняют периодические печи (как ванные, так и горшковые). В некоторых отраслях непрерывные ванные печи уже давно заняли доминирующее положение при производстве бутылочного стекла, оконного и стеклянной тары, т. е. в ведущих отраслях стекольной промышленности.

В производстве различных видов сортового и технического стекла ванные печи вытесняют горшковые в тех областях, где развито массовое производство, как-то: изготовление ширпотреба (прессовые и выдувные изделия), электроколбное стекло и т. д.

Производство литого стекла также базируется в настоящее время на ваннных печах; преимущество их в данной области заключается, помимо всего прочего, в непрерывности выработки стекла, что является весьма важным для хорошего отжига толстого литого стекла.

До сравнительно недавнего времени зеркальное производство базировалось на горшковых печах. Но за последнее десятилетие имеются крупные достижения в отношении освоения варки зеркального стекла в ваннных печах (завод Форда в Америке и др.).

Подводя итоги сказанному, можно утверждать, что в огромном большинстве случаев промышленность переходит к ваннным печам непрерывного действия в виду тех больших выгод, которые они обеспечивают. При постройке новых стекольных заводов может идти речь о постройке горшковых печей только в тех случаях, когда необходимо варить некоторые специальные сорта стекла или же тогда, когда количество стекла каждого сорта невелико.

Приведем основные случаи, когда следует принимать во внимание целесообразность установки горшковых печей:

а) оптические и другие стекла специального назначения разнообразных составов;

б) цветные стекла, изготавливаемые в небольших количествах и разных цветов;

в) при изготовлении особо ценных хрустальных шлифованных изделий;

г) при изготовлении зеркал особо больших размеров.

Следует одновременно указать, что в тех отдельных случаях, где речь идет о небольших размерах производства,—установка периодической ванны может оказаться более выгодной, чем установка горшковой печи.

II. РЕГЕНЕРАТИВНЫЕ ВАННЫЕ ПЕЧИ

1. РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ПРИМЕНЯЕМОГО ТОПЛИВА

Для отопления стекловаренных печей могут применяться самые разнообразные виды твердого, жидкого и газообразного топлива.

Остановимся вкратце на перечислении главнейших видов топлива, применяемых для стекловаренных печей.

Твердое топливо. В стекольной промышленности имеют значение следующие виды твердого топлива: *дрова, торф, уголь* (бурый, каменный уголь и антрацит).

До революции огромное большинство стекольных заводов работало на дровах. В связи с уменьшением лесных массивов и нецелесообразностью с народнохозяйственной точки зрения использования древесины в качестве топлива, — стекольная промышленность в настоящее время постепенно переходит на использование других видов местных топлив: торфа, бурого угля и т. д.

Каменный уголь применялся до революции, а также применяется и в настоящее время на некоторых заводах, расположенных на юге (Донбасс).

Жидкое топливо. Практическое применение имеет *сырая нефть* (в весьма незначительной степени), а в основном — *мазут*, т. е. те остатки, которые получаются из нефти после отгонки из нее бензина, керосина, легких масел и других ценных продуктов.

До революции на мазуте работало много заводов на юге России, а также некоторые заводы в центральных районах. В настоящее время потребление мазута в стекольной промышленности также довольно значительно; однако, постепенно оно суживается, так как стекольные заводы переводятся на отопление другими, менее ценными топливами.

Газообразное топливо бывает естественным и искусственным.

У нас в Союзе на одном заводе на Кавказе („Дагестанские огни“) применяется в качестве топлива *естественный* (натуральный) *газ*, который получается из скважин (аналогично нефти). Такой же естественный газ имеется и в других районах (главным образом, в нефтяных), но в стекольной промышленности у нас пока не используется; в Америке же использование натурального газа для отопления стекловаренных печей проводится в весьма широкой степени.

Стекловаренные печи можно отапливать также искусственным газообразным топливом. Коксовый газ (получаемый при перегонке угля на кокс), светильный газ (получаемый на специальных газо-

вых заводах), доменный или колошниковый газ (получаемый, как побочный продукт, при работе доменных печей) — широко используются в стекольной промышленности за границей; у нас же использование этих газов пока не имеет места, но, несомненно, разовьется в дальнейшем.¹

2. ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Особо следует остановиться на так называемом *генераторном газе*. Дело в том, что по соображениям, которые будут изложены ниже, *при работе на твердом топливе мы не сжигаем его непосредственно в стекловаренных печах, а предварительно переводим в газообразное состояние*; эта операция производится в специальных установках — „газогенераторах“; получаемый газ называется *генераторным газом*.

Поскольку большинство стекольных заводов работает на твердом топливе, — большая часть стекловаренных печей работает на генераторном газе, получаемом из твердого топлива.

Для уяснения всего дальнейшего нужно твердо помнить, что стекловаренные печи отапливаются не твердым топливом, а получаемым из него предварительно газом.

Следовательно, мы можем утверждать, что стекловаренные печи отапливаются или газообразным топливом или жидким.

Ниже мы рассмотрим схемы ванной стекловаренной печи, как с газовым, так и с нефтяным отоплением.

3. РЕГЕНЕРАТИВНАЯ ПЕЧЬ С ГАЗОВЫМ ОТОПЛЕНИЕМ

Имеется довольно много типов стекловаренных печей с газовым отоплением. Остановимся несколько подробнее на описании одного типа ванной печи — так называемой *регенеративной системы*. Эти печи характеризуются применением двух принципов, предложенных в шестидесятих годах прошлого столетия братьями Фридрихом и Вильгельмом Сименс, а именно: *газификация твердого топлива и регенерация тепла отходящих (дымовых) газов*. Эти методы нашли весьма быстро широкое применение не только в стекловаренных печах, но и в целом ряде печей других отраслей промышленности; эти печи, обычно, называются *регенеративными газовыми печами*.

На рис. 3 дана принципиальная схема одного из типов регенеративной стекловаренной печи с газовым отоплением.

Остановимся на основных частях ванной печи.

Сплавляемая стекломасса находится в *бассейне А*. Поверх стекломассы располагается *пламенное пространство*, в котором происходит сгорание генераторного газа (для краткости будем называть его в дальнейшем просто газом) с необходимым для горения воздухом. Газ и воздух подаются в пламенное пространство пооче-

¹ В настоящее время намечается постройка стекольного завода в составе Магнитогорского комбината, причем печи будут отапливаться смесью коксового и доменного газов.

редно через горелки E и K ; при указанном на рис. стрелками движении газов — они входят в стойло через горелку E и уходят через горелку K .

Регенераторы представляют собою камеры, в которых насажен в клетку огнеупорный шамотный, так называемый *насадочный кирпич*; назначение регенераторов будет разъяснено в дальнейшем; здесь же укажем, что они являются одной из главнейших составных частей печи. Печь снабжена двумя газовыми регенераторами Γ и Γ^1 и двумя воздушными B и B^1 .

Перекидные (переводные) клапаны (воздушный — C и газовый — M) служат для направления генераторного газа и воздуха то в одну, то в другую сторону, а также для одновременного изменения направления дымовых газов; в то же время, они отделяют регенераторы от газогенератора с одной стороны и от дымовой трубы — с другой (устройство перекидных клапанов будет разъяснено ниже).

Кроме упомянутых основных частей печи, имеются еще газовые, воздушные и дымовые борова, горелки и т. д.

Переходим к описанию принципа работы регенеративной печи. Для этого проследим по очереди направление движения газа, воздуха и дыма.

Генераторный газ поступает из газогенератора (не показанного на чертеже) по газопроводу a в газовый перекидной клапан M ; посредством последнего газ может быть направлен в любой из двух так называемых *газовых каналов* ζ и ζ^1 ; в данном случае газовый перекидной клапан M установлен таким образом, что газ попадает в правый¹ газовый канал ζ^1 ; из него он поступает в газовый генератор Γ^1 , а оттуда по вертикальному и горизонтальному каналу горелки попадает в стойло печи A .

Необходимый для горения воздух идет аналогичным путем через воздушный перекидной клапан C , воздушный канал v^1 , воздушный регенератор B^1 и вертикальный и горизонтальный канал горелки. У точки E (влет горелки) газ и воздух встречаются и здесь начинается горение с выделением тепла, необходимого для варки стекла.

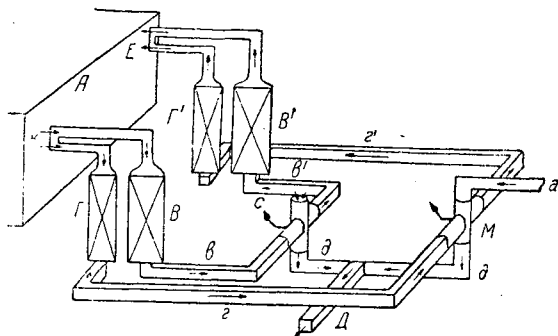


Рис. 3. Схема регенеративной стекловаренной печи с газовым отоплением.

A — бассейн, K и E — влеты горелок, Γ и Γ^1 — левый и правый газовые регенераторы, B и B^1 — левый и правый воздушные регенераторы, M — газовый перекидной клапан, C — воздушный, a — газопровод, ζ и ζ^1 — газовые борова (каналы), v и v^1 — воздушные, D и D^1 — дымовые.

¹ Общепринято рассматривать печь по направлению от варочного отделения к выработочному и, соответственно, называть все части печи то правыми (по правую руку), то левыми.

Проследим движение продуктов горения—так называемых отходящих (или дымовых) *газов*.

Из стойла печи они поступают через другую горелку (K —левую) в другую (левую) пару регенераторов—газовый Γ и воздушный B ; оттуда через соответственный газовый боров ι и воздушный ν они направляются к газовому перекидному клапану M и воздушному C . Эти клапаны так сконструированы, что когда газ и воздух поступают в каналы ι^1 и ν^1 , то отходящие газы, поступающие через каналы ι и ν , направляются в каналы d , которые присоединены к дымовому борову D ; последний же приключен к дымовой трубе, на рисунке не показанной.

Если мы сделаем так называемую *перекидку* клапанов, то направление движения всех газов в печи изменится на обратное; генераторный газ и воздух пойдут через левые каналы ι и ν и затем через регенераторы Γ и B в горелку K . Иными словами, они пойдут по тому пути, по которому перед этим шли отходящие газы, но только в обратном направлении, т. е. слева направо. В стойле печи газ и воздух загораются (у точки K); отходящие же газы через горелку E , регенераторы Γ^1 и B^1 и каналы ι^1 и ν^1 поступают к клапанам M и C ; иными словами, отходящие (дымовые) газы идут по тому пути, по которому до перекидки шли генераторный газ и воздух, но только в обратном направлении; из перекидных клапанов M и C отходящие газы, как и раньше, поступают через дымовые каналы d и общий дымовой боров D в дымовую трубу.

4. НАЗНАЧЕНИЕ РЕГЕНЕРАТОРОВ

Для варки стекла необходимо поддерживать в стойле печи весьма высокую температуру (порядка $1\,400$ — $1\,500^\circ\text{C}$); температура дымовых газов при выходе из пламенного пространства близка к температуре пламенного пространства, т. е. является очень высокой. Если отходящие газы из пламенного пространства направлять непосредственно в дымовую трубу, то они уносили бы громадное количество тепла, которое терялось бы совершенно бесполезно. *Назначение регенераторов заключается в использовании тепла отходящих газов*. Достигается это следующим образом.

Как видно из рис. 3, отходящие газы по пути к дымовой трубе проходят через регенераторы, по очереди то через одну пару, то через другую.

Регенераторы заполнены так называемой *насадочной решеткой*, т. е. огнеупорным кирпичом, выложенным в клетку; между отдельными кирпичами имеются прозоры (просветы), по которым могут проходить газы, омывая отдельные кирпичи.

Если, как показано на рис. 3, отходящие газы проходят через газовый регенератор Γ и воздушный регенератор B , то насадочная решетка в этих камерах нагревается за счет тепла дымовых газов и последние поступают через перекидные клапаны в дымовую трубу значительно охлажденными. После перекидки клапанов направление движения всех газов меняется на обратное и через газовый регенератор Γ и воздушный регенератор B будут идти

уже не дымовые газы, а, соответственно, генераторный газ и воздух. Проходя через раскаленную насадочную решетку, последние сильно нагреваются и поступают в пламенное пространство с высокой температурой. Благодаря сильному подогреву газа и воздуха в регенераторах, достигающему в современных печах около 1000° , удается получить в пламенном пространстве более высокую температуру. Вследствие этого не только ускоряется процесс варки, но и значительно уменьшается удельный расход топлива. Иными словами, благодаря наличию регенераторов, мы имеем возможность использовать для подогрева генераторного газа и необходимого для горения воздуха то тепло, которое заключается в отходящих газах и которое раньше буквально пускалось в трубу. Значение регенерации тепла для стекловаренных печей, работающих при очень высоких температурах, настолько велико, что варка стекла в ваннах печей стала возможной только тогда, когда мы научились использовать тепло отходящих газов для подогрева генераторного газа и воздуха.

Следует отметить периодичность процесса работы регенеративных печей. Из вышеприведенного описания видно, что генераторный газ и воздух идут то через одну пару регенераторов $\Gamma^1 - B^1$, то через другую пару $\Gamma - B$. Когда газ и воздух идут через одну пару регенераторов, то отходящие газы отводятся через другую пару и наоборот. Иными словами, при направлении газов, показанном на рис. 3, движение пламенных газов в стойле происходит от горелки E к горелке K справа налево; после же перекидки клапанов направление движения всех газов меняется не только в газовых и воздушных каналах, регенераторах и горелках, но и в самом стойле печи, где оно уже идет от горелки K по направлению к горелке E слева направо. Неизменным остается только движение дымовых газов после перекидных клапанов, т. е. в дымовых каналах d , общем дымовом борове D и в дымовой трубе.

Ниже будет подробно описана конструкция регенераторов и перекидных клапанов, а также будет объяснено, какую практическую выгоду дает применение газификации топлива и регенерации отходящих газов.

Теперь же мы дадим схематическое описание регенеративной ванной печи с нефтяным отоплением.

5. РЕГЕНЕРАТИВНАЯ ВАННАЯ ПЕЧЬ С НЕФТЯНЫМ ОТОПЛЕНИЕМ

Нефтяная регенеративная печь отличается от газовой тем, что в первой отсутствуют те части, которые вызываются наличием генераторного газа, а именно: газовый перекидной клапан M , газовые регенераторы Γ и Γ^1 , газовые каналы z и z^1 и т. д. Если мы представим себе рис. 3 без означенных частей и подведем нефть к горелкам E и K , т. е. к месту подвода в стойло печи нагретого в регенераторах воздуха, — то мы получим схему регенеративной ванной печи, работающей на нефти или другом жидком топливе.

Для того, чтобы помочь читателю легче разбираться в чертежах печей, мы приводим на рис. 4 схему нефтяной регенеративной печи, выполненную не в перспективе (как на рис. 3), а в виде поперечного разреза, причем воздушные и дымовые каналы показаны для ясности в развернутом виде.

Движение газов в этой печи аналогично тому, что мы имеем в газовой печи; однако, оно значительно проще, так как здесь отсутствует генераторный газ, а, следовательно, отсутствует вся газо-

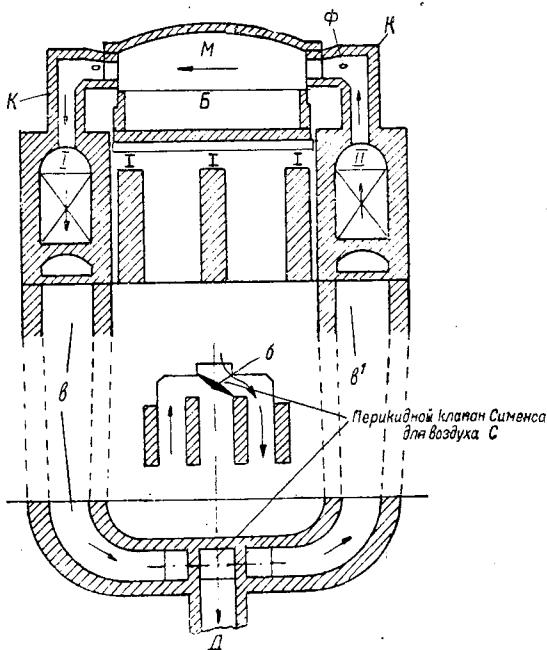


Рис. 4. Схема регенеративной стекловаренной печи с нефтяным отоплением (воздушные и дымовые борва для ясности развернуты).

Б — бассейн печи, *М* — пламенное пространство (стойло) печи, *I* и *II* — левый и правый воздушные регенераторы, *К* — горелки, *Ф* — место установки форсунки, *С* — перекидной воздушный клапан Сименса, *б* — «бабочка» (язык) клапана, *в* и *в'* — воздушные каналы (борва), *Д* — дымовой борв.

вая аппаратура (газовый регенератор, газовый перекидной клапан и т. д.). Имеются только воздушные регенераторы, через которые проходят попеременно воздух и дымовые газы.

При показанном положении воздушного клапана *С*, отходящие из печи газы (дымовые) протягиваются дымовой трубой (на чертеже не показанной) в левый регенератор *I*, где разогревают насадочную решетку; через канал *в* и перекидной клапан *С* отходящие газы попадают в дымовой канал *Д* и оттуда в дымовую трубу (на схеме не указанную). В это же время необходимый для горения воздух попадает через воздушный клапан *С* и канал *в'*

в правый воздушный регенератор *II*; подогревшись в регенераторе, воздух поступает, как показано стрелкой, в горелку *K*; в эту же горелку в точке *Q* посредством специального приспособления (так называемой *форсунки*) подается нефть. Назначение форсунки заключается в предварительном распыливании нефти. В горелке *K* нефть, соединяясь с воздухом, загорается; получающиеся пламенные газы поступают в стойло *M*. Следовательно, при положении клапана, показанном на рисунка, пламенные газы будут идти в стойле печи справа налево или, как говорят, „огонь идет справа налево“.

При обратном положении языка *b* клапана *C*, (т. е. после перекидки) воздух будет поступать уже в левый регенератор *I*, а оттуда в печь; в данном случае огонь будет идти слева направо; дымовые же газы поступают в правый регенератор.

Такая перекидка клапанов производится через определенные промежутки времени (обычно, через каждые полчаса). Для ясности на чертеже показан (в середине) также разрез этого клапана. Основная его часть—бабочка *b*, вращением которой вокруг горизонтальной оси производится изменение направления как воздуха, так и отходящих газов.

III. ГАЗИФИКАЦИЯ ТОПЛИВА И ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ

1. ОСНОВЫ ГАЗИФИКАЦИИ ТОПЛИВА И ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА

Выше мы указывали, что при работе на твердом топливе последнее не сжигается непосредственно в стекловаренной печи, а предварительно превращается в горючий газ, при помощи которого и производится уже отопление печи.

Превращение твердого топлива в горючий газ называется газификацией.

Имеется много способов получения горючего газа из твердого топлива. В стекольной промышленности для этой цели применяют большей частью так называемые *газогенераторы*; получаемый при этом процессе горючий газ называется *генераторным газом*.

Имеется много самых различных конструкций газогенераторов, начиная с самых простых и кончая весьма сложными. Ниже мы дадим краткое описание нескольких самых употребительных в стекольной промышленности конструкций. Предварительно же мы изложим основы газогенераторного процесса.¹

На рис. 5 схематически показан разрез газогенератора с распределением в нем зон. Он представляет собой железный кожух в виде шахты, футерованной изнутри огнеупорным кирпичом; между кожухом и футеровкой произведена засыпка из изоляционного (т. е. плохо проводящего тепло) материала. Топливо загружается с помощью загрузочной коробки, расположенной сверху генератора; внизу же имеется колосниковая решетка, под которую подводится и с помощью которой распределяется по сечению генератора воздух или водяной пар или же смесь таковых (так называемое *дутье*).

В отличие от обычной топки, в газогенераторе твердое топливо не подвергают непосредственному сжиганию, а получают из него горючий газ (т. е. такой газ, который в дальнейшем может быть сожжен). В отличие от обычной топки, высота слоя топлива в газогенераторе является довольно значительной. Она зависит от рода применяемого топлива (дрова, уголь, торф), от величины его кусков, конструкции газогенератора и других причин. Во всяком случае, однако, она значительно больше, чем в обычной топке, где реакция горения топлива идет до конца.

¹ Желаящих более подробно ознакомиться с теорией газогенераторного процесса и конструкцией газогенераторов отсылаем к популярному курсу: Гинзбург, „Газогенератор в керамической промышленности“, изд. Госстройиздата, 1933 г.

Процесс газификации происходит следующим образом. Воздух поступает через прозоры в колосниковой решетке и, распределяясь по сечению газогенератора, поддерживает горение в нижнем слое топлива. Это так называемая *зона горения*, где поддерживается высокая температура (порядка 1000—1200°); под ней лежит *зона золы* (так называемая *шлаковая подушка*), которая предохраняет колосниковую решетку от разгара и способствует более равномерному распределению дутья по сечению шахты.

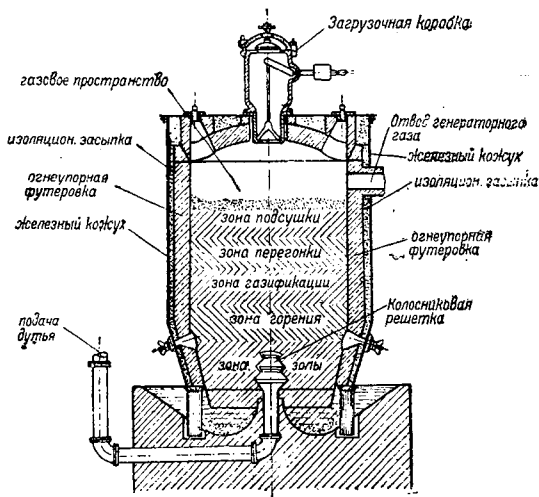
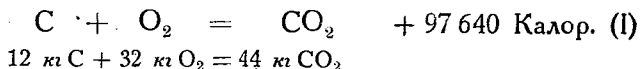


Рис. 5. Разрез газогенератора с распределением зон.

В зоне горения имеет место *полное* сгорание углерода топлива, которое идет по следующей формуле:



Эта формула говорит о том, что одна часть углерода (С) топлива (1 кг), соединяясь с одной частью кислорода (О₂) воздуха (32 кг), образует 44 кг углекислого газа СО₂; при этой химической реакции выделяется большое количество тепла, а именно 97 640 Калорий.¹

Реакция, которая имеет место в нижней зоне газогенератора, та же самая, что и при горении топлива в простой топке.

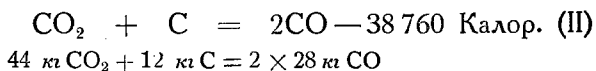
Полученный углекислый газ не горюч; благодаря выделению большого количества тепла (в результате горения топлива) этот газ нагрет до высокой температуры.

¹ Калорией большой или килограмм-калорией называют количество тепла, необходимого для того, чтобы нагреть 1 кг воды на 1° Ц.

Мы указывали выше, что в газогенераторе — в отличие от простой топки — слой топлива достигает значительной высоты. Поскольку горение происходит только в нижней части слоя топлива, то продукты горения (или негорючие газы) направляются вверх и, проходя через слой расположенного выше раскаленного угля, разлагаются таким образом, что в результате получается горючий газ, главную часть которого составляет *окись углерода*, называемая также *угарным газом*.

Это разложение продуктов горения в присутствии раскаленного угля на горючие газы — составляет основной процесс в газогенераторе, отчего вторая зона называется зоной *газификации*. Газификация может происходить только при температурах свыше 900°; поэтому в зоне газификации имеется раскаленный уголь с температурой 900—1 000°.

Реакция газификации происходит в основном по следующей формуле:



Эту формулу можно расшифровать следующим образом: одна часть углекислоты (44 кг), соединяясь с одной частью раскаленного углерода (12 кг), дает две части окиси углерода ($2 \times 28 = 56 \text{ кг}$).

В противоположность реакции горения эта реакция идет не с выделением, а с поглощением тепла, причем поглощается 38 760 Калорий (в формуле перед этой цифрой стоит „—“, что обозначает поглощение тепла при реакции).

У читателя может возникнуть вопрос: откуда берется тепло, необходимое для данной реакции? Дело в том, что при реакции горения количество выделяющегося тепла (97 640 Кал.) — значительно больше того количества тепла, которое нужно для второй реакции (38 760 Кал.). Следовательно, необходимое для реакции газификации (т. е. для разложения углекислого газа) тепло заимствуется из тепла, выделяемого при горении углерода.

В результате, при газификации 12 кг углерода получается избыток тепла, а именно:

$$97\,640 - 38\,760 = 58\,880 \text{ Калорий.}$$

Куда же идет это избыточное тепло? В основном оно содержится в газе, который выходит из зоны газификации сильно нагретым.

Как указано выше, в генераторе газы движутся снизу вверх, а топливо подается сверху вниз. Так как из зоны газификации газ выходит вверх при высокой температуре, то, встречая на своем пути топливо, он его подогревает; в верхнем слое топлива имеет место *подсушка* такового, т. е. испарение заключающейся в нем воды. Немного ниже, уже подсушенное топливо, подогреваемое проходящими снизу нагретыми газами, начинает *обугливаться*, т. е. *разлагаться*. При этом оно распадается на кокс (т. е. более или менее чистый

углерод), который поступает в зону газификации, и на некоторые газы, которые выделяются из топлива, и, смешиваясь с поступающими снизу из зоны газификации газами, поднимаются в верхнюю часть газогенератора (в так называемое *газовое пространство*).

Этот процесс *сухого разложения топлива (перегонки)* в верхней части газогенератора напоминает процесс получения древесного угля из дров или же кокса из каменного угля. Как известно, при нагреве дров или угля без доступа воздуха получается, с одной стороны, древесный уголь (или, соответственно, кокс), а с другой — некоторые газы (коксый газ), которые обладают способностью гореть в присутствии воздуха.

При разложении топлива в верхней части газогенератора выделяется, помимо газов, также смола; благодаря высокой температуре, последняя также переходит в газообразное состояние и уносится генераторным газом.

При охлаждении газа в газовых каналах часть этой смолы осаждается там; это известно каждому стекольщику.

Процесс перегонки или сухого разложения топлива идет с *поглощением тепла*, которое отбирается от нагретых газов, поступающих из зоны газификации. Подсушка топлива (т. е. испарение содержащейся в нем воды) требует затраты тепла и тем больше, чем больше влажность топлива. Это тепло также берется от проходящих газов, которые при этом остывают. Температура в нижней части зоны сухой перегонки достигает около 800° ; в верхней же части зоны подсушки температура зависит главным образом от влажности топлива: чем топливо влажнее (т. е. чем больше нужно затратить тепла на подсушку), тем более газ остынет. Поэтому при влажном топливе (дрова или торф) температура вверху газогенератора (в газовом пространстве) сравнительно невысока (порядка $100-200^{\circ}$); при сухом же топливе (каменный уголь) температура газа при выходе из газогенератора значительно более высокая (порядка 500° и выше).

Резюмируем все вышесказанное. В газогенераторе топливо движется сверху вниз и последовательно проходит следующие стадии:

1. *Подсушка*: с выделением водяных паров.
2. *Сухая перегонка* с выделением различных газов (частично — горючих, частично — негорючих), а также паров смолы.
3. Процесс *газификации*, т. е. образование из продуктов горения (углекислоты) и раскаленного кокса — горючего газа (окси углерода).
4. *Горение*.
5. Несгоревшие остатки топлива — *зола* — удаляются из нижней части генератора.

Газы же проходят в генераторе в обратном порядке, т. е. снизу вверх. Наружный воздух подается через колосниковую решетку в нижнюю часть генератора, где происходит горение топлива; это — *зона горения*.

В следующей зоне — *зоне газификации* — продукты горения проходят через раскаленный кокс и разлагаются с образованием окиси углерода, который составляет основную часть генераторного газа.

В следующей зоне происходит сухое разложение топлива (*зона перегонки*), а еще выше — подсушка свежесыпанного топлива (*зона подсушки*). В этих зонах выделяются различные газы (частично — горючие и частично — негорючие), водяные пары, а также смола в паробразном состоянии. Все эти вещества примешиваются к тем газам, которые образуются в зоне газификации, и совместно образуют так называемый генераторный газ. Этот последний газ и используется для отопления стекловаренных печей.

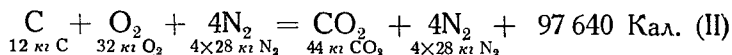
У читателя может возникнуть вопрос: почему в зоне сухой перегонки не загорается подсушенное топливо, омываемое горючими газами с температурой 800—900°? Дело в том, что *горение* топлива, а также горючего газа (например, генераторного) *может происходить только при наличии воздуха* (точнее, кислорода воздуха); в этой же части газогенератора нет свободного воздуха, так как весь поступающий через колосниковую решетку воздух расходуется на процесс горения в нижней части газогенератора, а именно в зоне горения.

В заключение следует указать, что получаемый в результате вышеописанных процессов генераторный газ называется *воздушным*, так как он получается в результате взаимодействия с топливом *воздуха*.

Следует обратить внимание еще на одно обстоятельство. В приведенной выше формуле реакции горения топлива показано взаимодействие на углерод топлива только кислорода воздуха. Воздух же, как известно, состоит из двух газов — азота и кислорода, смешанных между собой. Главную часть воздуха (79⁰/₁₀₀ всего объема) составляет азот; кислород же составляет всего лишь 21⁰/₁₀₀ объема. Однако в реакции горения принимает участие один только кислород, который, соединяясь с углеродом топлива, образует углекислый газ. Азот же в реакции горения участия не принимает и является, как бы, балластом. Тем не менее, на каждую часть кислорода, вступающую в реакцию, примешиваются около 4 частей азота, которые как бы разбавляют получаемый генераторный газ.

Если учитывать примесь азота и если для простоты принять, что в составе воздуха имеется одна часть кислорода и четыре части азота, то приведенные выше реакции горения и газификации следует написать в следующем виде:

Реакция горения:



Реакция газификации:



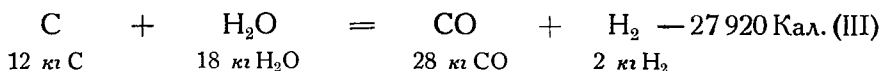
Из последней формулы видно, что в генераторном газе должно заключаться весьма большое количество азота, который, являясь совершенно инертным газом, только как бы разжижает горючий генераторный газ.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА В ГАЗОГЕНЕРАТОРНОМ ПРОЦЕССЕ

Если через раскаленный кокс пропускать углекислый газ, то согласно формулы II получим в результате окись углерода, т. е. горючий газ. Это есть реакция получения воздушного газа; поскольку углекислый газ получается в результате применения не чистого кислорода, а атмосферного воздуха, то полученная окись углерода будет разбавлена значительным количеством инертного газа — азота (см. формулу II').

Оказывается, что если через раскаленный кокс мы будем пропускать водяной пар, то в результате мы также получим горючие газы.

Реакция идет по следующей формуле:



Эта формула означает, что при взаимодействии одной части углерода (12 кг) и одной части водяных паров (18 кг) получается 1 часть окиси углерода (28 кг) и 1 часть водорода (2 кг), причем на эту реакцию должно быть затрачено 27 920 Калорий.

Эта реакция называется реакцией получения *водяного газа*.

Как видно из формулы, водяной газ состоит целиком из окиси углерода и водорода, т. е. из газов горючих. Воздушный же газ, получаемый согласно с формулой II', состоит только на одну треть из горючего газа (окиси углерода); две трети составляет в нем азот, т. е. совершенно инертный газ.

Ясно, что водяной газ является более богатым, нежели воздушный. Тут вполне уместен вопрос о том, почему же для генераторного процесса мы пользуемся, в основном, методом получения воздушного, а не водяного газа?

Дело в том, что процесс получения воздушного газа идет с выделением тепла; выше мы указывали, что на каждые 12 кг углерода при его превращении в окись углерода, выделяется (согласно с формулами I и II) 58 880 Калорий. Благодаря этому, в газогенераторе легко поддерживается высокая температура, необходимая для нормального протекания процессов газификации.

Совсем другую картину мы наблюдаем при процессе получения водяного газа, т. е. при пропускании водяного пара через раскаленный кокс; реакция получения водяного пара идет с *поглощением тепла* и, следовательно, не может протекать непрерывно, так как с течением времени температура будет падать и процесс прекратится.

Нельзя ли использовать тот избыток тепла, который имеется при получении воздушного газа, для того, чтобы возместить те потери (поглощение тепла), которые получаются при реакции водяного газа? Оказывается, что это является вполне возможным. Иными словами, можно производить одновременную подачу в генератор смеси воз-

духа и водяных паров, т. е. давать так называемое *паровоздушное дутье*. Получаемый в результате газ называется *смешанным газом*; иногда его называют генераторным газом.

В каком количестве можно добавлять водяной пар к воздуху?

Вполне очевидно, что поскольку тепло, которое необходимо затратить для получения водяного газа, идет за счет тепла, выделяемого при получении воздушного газа, то добавка пара к воздушному дутью является ограниченной. Максимальная добавка пара зависит от целого ряда обстоятельств, как-то: вида топлива, конструкции газогенераторов, их производительности и т. д. Не входя в детальное рассмотрение данного вопроса, которое завело бы нас слишком далеко, мы остановимся только на нескольких существенных моментах теоретического и практического характера.

Выше мы указывали, что для нормального течения процесса газификации топлива необходимо поддерживать в зоне горения весьма высокую температуру (порядка $1\,000\text{--}1\,200^\circ$). Следовательно, добавка пара ограничивается тем условием, чтобы температура в зоне горения не спускалась ниже требуемой величины.

При описании генераторного процесса мы указывали, что в зоне подсушки тратится тепло на испарение влаги из топлива, причем расход тепла тем больше, чем топливо влажнее. Вполне естественно поэтому, что чем топливо влажнее, тем добавка пара должна быть меньше, так как в противном случае температура газов может настолько упасть, что содержащегося в них тепла не хватит на испарение влаги из топлива.

Два вышеизложенных соображения дают *высший* предел добавки пара воздушному дутью. Но имеется еще одно соображение чисто практического характера, которое устанавливает *низший* предел добавки пара. При высокой температуре в зоне горения зола топлива размягчается и плавится, облепляя куски топлива и образуя комки шлака или корку, которые препятствуют легкому и равномерному распределению воздуха и вызывают большую потерю горючего в шлаке. Температура плавления золы для различных топлив разная; если зола легкоплавка, то это иногда вынуждает вводить для охлаждения раскаленной золы большее количество пара, чем это даже требуется для создания оптимальных условий течения генераторного процесса.

Помимо этого, если раскаленная зола и генераторный газ, выходящий из генератора, имеют слишком высокую температуру, то это вызывает большие и совершенно бесполезные потери тепла в газопроводе и увеличение потерь тепла в самом газогенераторе; эти обстоятельства диктуют необходимость увеличения подачи водяного пара.

На практике при газификации каменного и бурого угля мы всегда прибавляем пар, т. е. работаем с паровоздушным дутьем. Что касается газификации торфа и дров, то при применении современных усовершенствованных газогенераторов также производится обычно добавка пара, но только в меньшем количестве. При работе на очень влажном торфе или дровах приходится иногда отказываться от добавки пара.

3. ГЛАВНЫЕ ТИПЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

САМОДУВНЫЙ ГАЗОГЕНЕРАТОР

Имеется много различных типов газогенераторов как простейших по конструкции, так и самых сложных. Мы ограничимся здесь описанием нескольких типовых конструкций из числа тех, которые чаще всего применяются в стекольной промышленности.

Самым простым в смысле конструктивного выполнения и самым старым является так называемый *самодувный газогенератор*, изображенный на рис. 6. Он представляет собою обыкновенную шахту *A*, сложенную из красного кирпича и футерованную изнутри огнеупорным шамотным кирпичом. Топливо периодически, т. е. через известные промежутки времени, подается в шахту через загрузочные коробки *C*. Внизу генератора имеется колосниковая решетка *B*, состоящая из обыкновенных чугунных колосников, расположенных с известными прозорами друг от друга; топливо лежит на колосниковой решетке *B*, а прозоры служат для подвода воздуха в слой горящего топлива и для удаления скопляющейся на колосниках золы.

Воздух подается естественным путем снизу через колосниковую решетку; он как бы засасывается генератором и поэтому такая конструкция называется *самодувными генераторами*, в отличие от генераторов «с дутьем», в которых воздух

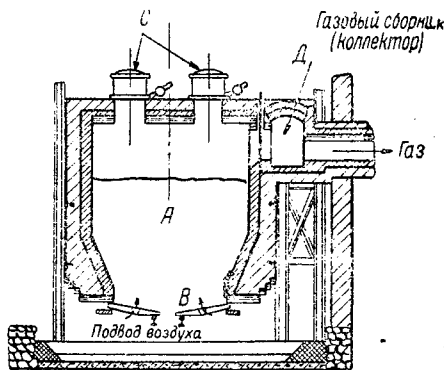


Рис. 6. Дровяной самодувный газогенератор.

подается искусственным путем (например, с помощью вентилятора).

Такие генераторы еще довольно часто применяются на наших заводах при работе на дровах, а иногда и при торфе. В последнем случае вместо горизонтальной колосниковой решетки часто применяется *ступенчатая* колосниковая решетка; иногда же такие генераторы строятся совсем без колосниковой решетки и топливо лежит непосредственно на поду. Для каменного угля эти генераторы в настоящее время не применяются и уже давно заменены более совершенными конструкциями.

Достоинством самодувных генераторов является их простота и дешевизна. Кроме того, для их работы не требуется каких бы то ни было механизмов; поэтому они являлись излюбленным типом на немеханизированных заводах, работавших на дровах. При наличии сухих дров или сухого торфа, качество газа получается сравнительно неплохим, хотя оно хуже, чем в хороших современных генераторах.

Недостатки этих генераторов заключаются в следующем. Во-первых, производительность их чрезвычайно мала (особенно при мелком топливе), так как сопротивление топлива проходу газов возрастает по мере уменьшения размеров отдельных кусков топлива. Во-вторых, при выгребании золы, а также при ее провале через колосники— в этих генераторах высыпается много топлива, которое совершенно бесполезно теряется. Уменьшение прозоров между колосниками ничего в этом случае не дает, так как при этом сопротивление проходу воздуха может настолько возрасти, что производительность генератора сильно упадет. Чистка золы с колосников является трудной и тяжелой операцией, особенно при работе на многозольном топливе.

Наконец, давление газа в газопроводе, обычно, настолько мало, что невозможно подавать его на значительные расстояния.

В силу означенных недостатков, особенно заметных при применении угля и торфа, эту конструкцию газогенераторов следует считать устарелой.

ГЕНЕРАТОР С ДУТЬЕМ И НЕПОДВИЖНОЙ РЕШЕТКОЙ

Серьезным усовершенствованием газогенераторов является применение так называемого дутья, т. е. подача воздуха принудительным путем (например, с помощью вентилятора). На рис. 7 изображен простейший генератор с дутьем, с так называемой крышеобразной решеткой, переделанный из старого самодувного генератора со ступенчатой решеткой.

Этот тип получил довольно широкое распространение в стекольной промышленности, особенно при работе на торфе. Генератор состоит из кирпичной шахты прямоугольного сечения. Сверх пода поперек всего генератора расположена одна (рис. 7-а) или две (рис. 7-б) крышеобразные решетки; в них имеются многочисленные отверстия для прохода нагнетаемого под колосники воздуха. Доступ в пространство под колосниками имеется через специальные дверки в передней стене. В ней же имеется целый ряд закрываемых отверстий, через которые можно чистить колосниковую решетку.

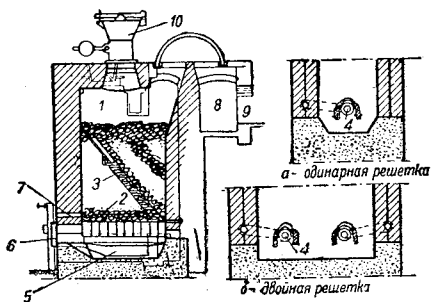


Рис. 7. Газогенератор с крышеобразной решеткой (переделанный из самодувного со ступенчатой решеткой):

1 — шахта генератора, 2 — крышеобразная решетка, 3 — ступенчатая решетка (убрана), 4 — труба для подачи дутья, 5 — поддувало, 6 — дверка для доступа в поддувало, 7 — шуровочные отверстия (для чистки колосников), 8 — газовый сборник (коллектор), 9 — газопровод, 10 — загрузочная коробка.

Такие генераторы очень просты по своему устройству; эксплуатация их является недорогой, так как расходы на электроэнергию для вентилятора очень малы и окупаются теми выгодами, которые дает дутье, а именно: производительность генераторов с дутьем значительно больше, нежели производительность самодувных генераторов;

далее, благодаря наличию дутья можно работать с более высоким слоем топлива, что приводит к улучшению качества газа. Кроме того, вследствие наличия дутья над колосниками имеется слой золы (так называемая шлаковая подушка); проходящий через нее воздух приходит в соприкосновение с находящимися в ней частицами несгоревшего угля, вследствие чего потеря горючего в золе значительно меньше, чем при самодувных генераторах. Если учесть вдобавок, что простые самодувные генераторы могут быть в большинстве случаев сравнительно легко переделаны на означенный тип, то вполне естественно ожидать, что при реконструкции многих из наших ручных заводов генераторы с крышеобразной решеткой получат широкое распространение.

ГЕНЕРАТОР С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ РЕШЕТКОЙ

Генераторам с крышеобразной решеткой присущи, все же, некоторые недостатки. Основным из них является необходимость удалять золу и шлак вручную, причем эта очень тяжелая операция производится во вредных для здоровья рабочих условиях. Другим недостатком является необходимость прекращать дутье во время чистки колосниковой решетки; иными словами, газогенератор в это время работает, как самодувный и дает значительно меньше газа. Эти недостатки особенно неблагоприятно сказываются при газификации топлива, склонного к образованию шлака; они устранены в генераторе с вращающейся решеткой. На рис. 8 показан один из видов таких генераторов, а именно генератор Керпели, весьма распространенный у нас в Союзе при работе на угле. Шахта этого генератора железная; верхняя часть ее футерована изнутри огнеупорным кирпичом; нижняя часть сделана из двойных железных стенок, между которыми циркулирует охлаждающая вода. Шахта генератора опирается на металлические башмаки. Топливо помещается в шахте и лежит

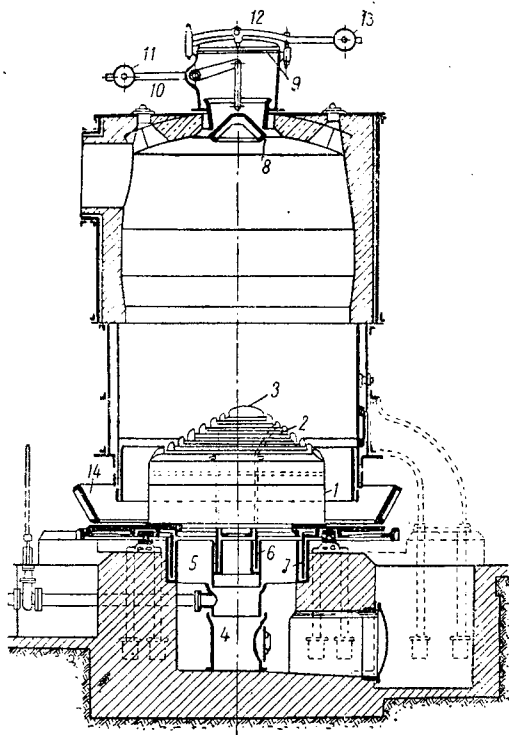


Рис. 8. Генератор Керпели с вращающейся решеткой:

1 — основание под колосники, 2 — колосники, 3 — головка, 4 — подвод дутья к центру решетки, 5 — подвод дутья к периферии решетки, 6 — гидравлический затвор центрального дутья, 7 — гидравлический затвор периферийного дутья, 8 — конус коробки, 9 — верхний затвор-крышка коробки, 10 — рычаг, 11 — противовес, 12 — рычаг, 13 — противовес, 14 — чаша.

на колосниковой решетке 2. Последняя с помощью специального механизма вращается вместе с чашей 14. Благодаря своей эксцентricности (головка 3 не лежит на оси генератора), колосниковая решетка ломает при вращении крупные куски шлака и выталкивает золу и шлак в чашу, откуда зола может быть удалена вручную или автоматически. Последнее достигается тем, что в чашу вставляется нож (нечто вроде плуга); при вращении чаши зола находит на этот нож и высыпается из чаши.

Дутье подается в данном генераторе как в центре решетки 4, так и по периферии 5. Двусторонняя подача дутья сделана с целью добиться равномерности распределения воздуха по сечению шахты.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что *чаша генератора заполнена водой*, благодаря чему вся внутренность генератора отделена от наружного воздуха. Наличие этого, так называемого *водяного или гидравлического затвора* дает возможность чистить генератор *на ходу*, не прерывая его работы. Само же раздробление шлака, а также удаление золы и шлака из генератора в чашу производится, как сказано выше, автоматически, благодаря вращению колосниковой решетки. Иными словами, в генераторах с вращающейся решеткой механизирована одна из наиболее тяжелых и трудоемких операций, связанных с обслуживанием генераторов, — чистка генераторов от золы и шлака. Кроме того, в этих генераторах можно достичь значительно большей производительности, улучшения процесса газификации и, наконец, непрерывности процесса. Благодаря этому на генераторе с вращающейся решеткой можно газифицировать такое низкосортное топливо, которое невозможно использовать на более примитивных генераторах. Все сказанное является причиной значительного распространения за последнее время генераторов с вращающейся решеткой.

Нужно здесь отметить, что имеется много типов этих генераторов. В каждом отдельном случае нужно выбрать ту или иную конструкцию, в зависимости от рода применяемого топлива и его количества.

Эти вопросы освещены в специальных курсах о газогенераторах; здесь же мы не имеем возможности распространяться на данную тему так же, как не останавливаемся на других типах генераторов (с вращающейся шахтой системы Вельмана, со швель-шахтой и т. д.).

4. ОЧИСТКА ГАЗА

При описании процессов газификации мы указывали, что в генераторном газе имеются водяные пары, полученные от подсушки топлива в верхней части генератора. Кроме того, не весь пар, подаваемый с паровоздушным дутьем, разлагается в нижней части генератора; часть его (правда, сравнительно незначительная) проходит через генератор и попадает в генераторный газ. При работе на очень влажных дровах или торфе количество водяного пара может быть настолько значительным, что это серьезно ухудшит качество газа.

Для удаления из газа водяных паров или для, так называемой, *осушки газа* прибегают к его охлаждению. Основано это на том

физическом законе, что при понижении температуры газа количество паров, которое может в нем содержаться, значительно уменьшается. Иными словами, при понижении температуры газа заключенные в нем водяные пары должны конденсироваться, т. е. осесть в виде воды.

Осушка газа практически производится путем орошения газа водой; при этом необходимо подать такое количество воды, чтобы газ сильно охладился. Несмотря на принципиальную простоту схемы, эти установки являются весьма сложными. Мы не будем останавливаться на их описании, но отметим лишь одно обстоятельство.

Давая описание процесса газификации топлива, мы указывали, что при сухом разложении топлива в зоне перегонки выделяется смола, которая в виде паров попадает в генераторный газ. При осушке газа (т. е. орошении газа водой) конденсируются не только водяные пары, но и пары смолы, которые загрязняют воду; получается, так называемая *подсмольная вода*, спуск которой в естественные водоемы не допускается, так как эта вода отравляет водоемы (в них гибнет рыба и вода становится негодной для питья). Кроме того, при этом смола настолько разбавлена водой, что ее улавливание (а она представляет собою весьма ценный продукт)—невозможно. Поэтому, обычно при очистке газа стараются также уловить смолу; применяемые для этого установки (электрофилтры, дезинтеграторы Тейзена и т. д.)—весьма сложны и мы не имеем возможности в настоящем курсе останавливаться на их описании.

Ограничимся только освещением вопроса о *целесообразности* удаления смолы из газа. Смола в парообразном состоянии играет в газе и положительную и отрицательную роль. В качестве положительного момента необходимо отметить, что смола представляет собой весьма высококачественное топливо; при горении она выделяет много тепла, иными словами, улучшает качество газа. Отрицательным свойством смолы является то, что при охлаждении газа в газопроводах выделяется много смолы, очистка которой весьма затруднительна и тяжела и обычно вызывает перебои в производстве; особенно ощущается этот недостаток при длинных газопроводах, т. е. широко разветвленной сети, что обычно встречается на больших заводах с несколькими ванными печами. В этих случаях очистка газа от смолы большей частью является целесообразной.

Учитывая все сказанное о роли водяных паров и паров смолы в генераторном газе, надо признать, что при наличии крупных установок и работе на влажном топливе (торф, дрова), очистка газа является в большинстве случаев вполне целесообразной, несмотря на сложность применяемых для этой цели агрегатов, тем более, что торфяная, а особенно дровяная, смола является весьма ценным химическим продуктом.

IV. КЛАССИФИКАЦИЯ ВАННЫХ ПЕЧЕЙ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОФ. КЕППЕЛЕРА И ЕЕ ПРИЗНАКИ

Имеется много разнообразных типов ваннных печей. Для того, чтобы легче разобраться в этом вопросе, необходимо создать какую-либо классификацию, основываясь на однородных признаках.

Таких классификаций было предложено несколько, причем наиболее известной является разработанная профессором Кеппелером.¹

МЕТОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

В основу этой классификации положены два признака. Первый из них—это метод использования тепла отходящих газов для нагрева воздуха (или же воздуха и газа). Выше был описан один из методов, а именно так называемый „регенеративный“, который заключается в том, что печь снабжена регенераторами, т. е. камерами, заполненными насадочным кирпичом, причем эти камеры попеременно то нагреваются отходящими газами, то служат для подогрева воздуха (а также и газа).

Кроме этого метода использования тепла отходящих газов, имеется еще другой—так называемый „рекуперативный“, который ниже будет более подробно описан; сейчас же мы ограничимся самым кратким разъяснением.

Рекуператор представляет камеру, в которой из кирпичей или фасонных труб выложены каналы (трубы); необходимый для горения воздух идет по этим каналам (трубам); последние омываются снаружи горячими дымовыми газами, которые через стенки труб отдают свое тепло нагреваемому воздуху.

В рекуператорах, в отличие от регенераторов, направление движения воздуха и дымовых газов не меняется и является стабильным; поэтому отсутствует так называемая перекидка и сопутствующее этому изменение направления пламенных газов в стойле печи.

В зависимости от того, снабжена ли печь регенераторами или рекуператорами, профессор Кеппелер делит печи на две группы: *регенеративные печи* (с переменным направлением пламени) и *рекуперативные печи* (с постоянным направлением пламени).

Можно это деление углубить дальше, в зависимости от того, *подогревается ли только воздух или же воздух и газ*. В рекупера-

¹ См. Дралле-Кеппелер, „Производство стекла“, том I, часть II, стр. 635 — 638, издание „Продасиликат“, Москва, 1929 г.

тивных печах подогревается только воздух;¹ в регенеративных— имеются обе возможности. Как указывалось выше, при работе на жидком топливе или на так называемых „богатых“ газах (натуральный, коксовый, светильный газ и т. п.) подогревается только воздух. При работе же на генераторном газе большей частью (хотя и не всегда) подогревают как воздух, так и газ.

Следовательно, при *регенеративных* печах могут быть два подразделения: *двухкамерные печи* (снабженные только воздушными регенераторами) и *четырёхкамерные* (с воздушными и газовыми регенераторами).

НАПРАВЛЕНИЕ ПЛАМЕНИ В СТОЙЛЕ ПЕЧИ

Вторым существенным признаком в классификации профессора Кеппелера является направление пламени в стойле (рабочем пространстве) печи. Как увидим ниже, в направлении пламени могут быть самые разнообразные варианты, особенно в рекуперативных печах.

В классификации проф. Кеппелера имеется один существенный пробел. Дело в том, что в последнее время нашли весьма широкое применение ванные печи с *конструктивным разделением бассейна на отдельные части*, причем имеется несколько отличных друг от друга типов этих печей. Ниже будут приведены причины, способствовавшие внедрению этих типов печей, а также их основные отличия. При составлении же своей классификации проф. Кеппелер исходил только из применявшихся ранее печей с „общим“ бассейном.

При проектировании печей в настоящее время вопрос относительно применения общего или раздельного бассейна, а также относительно способа этого деления — имеет огромное значение, так как этим определяются в значительной мере показатели работы печи и ее режим. Поэтому, мы считаем совершенно необходимым *ставить во главу угла при классификации печей вопрос относительно метода разделения бассейна*.

На базе этого основного положения нами сделана попытка классификации ваннных печей, причем упор сделан на те типы печей, которые имеют широкое применение на практике.

2. СПОСОБЫ РАЗДЕЛЕНИЯ БАСЕЙНА

ПЕЧИ С ОБЩИМ БАСЕЙНОМ

Выше указывалось, что ванную печь непрерывного действия можно разделить на четыре зоны. Если отдельные зоны не отделены *конструктивно* друг от друга, то мы имеем печь с „общим бассейном“. Схема такого общего бассейна дана на рис. 2, а также на рис. 9-а.

Иногда в таком общем бассейне вводятся для некоторого разделения так называемые „заградительные лодки“ (рис. 2), т. е. по-

¹ Ниже, в главе IX „Рекуперативные ванные печи“ объяснено, почему в этом случае ограничиваются подогревом только воздуха.

плавки из шамотной массы, плавающие в стекле и разделяющие стекломассу. Однако даже при наличии заградительных лодок эти печи считаются печами с общим бассейном.

ПЕЧИ С РАЗДЕЛЬНЫМИ БАССЕЙНАМИ

Перейдем к способам разделения бассейна. Как указывалось выше, в каждой печи имеется четыре зоны (варки, осветления, студки и выработки), причем две первые отапливаются, а последние не отапливаются.

Обычно бассейн делят на две части: 1) отапливаемую (включающую зону варки и осветления) и 2) неотапливаемую (включающую зону студки и выработки).

Хотя с теоретической точки зрения было бы крайне желательно отделять зону варки от зоны осветления (для того, чтобы в зону осветления попадала только полностью сваренная стекломасса), однако до сих пор это не находит практического применения. Основная причина заключается в том, что применяемые в настоящее время материалы не обладают достаточной устойчивостью против разъедания шихтой при высоких температурах. Устройство же в середине отапливаемой зоны (т. е. между зоной варки и зоной осветления) делительных стенок с охлаждением является нерациональным, так как при этом будет поглощаться большое количество тепла, т. е., иными словами, будет понижаться температура стекломассы в том месте, где по технологическим условиям это является совершенно недопустимым.

Что касается конструктивного отделения отапливаемой части печи от неотапливаемой, то целесообразность данного мероприятия обосновывается целым рядом весьма веских соображений, которые подробно освещены ниже (глава VI).

Что же касается зоны студки и выработки, то большей частью они представляют также одно целое. В последнее время при механизированном производстве стекла стали иногда их разделять в том случае, если машины требуют большого развернутого фронта или же предъявляют особые требования к режиму печи,

В качестве примера такого разделения зоны выработки от зоны студки может служить широкоизвестный канал Фурко, на котором установлены машины для вытягивания оконного стекла. Другим примером является установка специальных выработочных вращающихся бассейнов у некоторых вакуумных машин (например, машин Овенса для выработки бутылочного стекла).

Обычно, как канал Фурко, так и вращающиеся бассейны не относят к ванной печи, а считают как бы отдельными агрегатами. Что же касается самой ванной печи, то как указывалось выше, обычно ее делят только на две части.

Деление можно производить как в самой стекломассе, так и в пламенной зоне, причем возможны различные способы разделения, а также различные их сочетания. Мы остановимся на трех главных типах, имеющих серьезное практическое значение.

Печь Малышева

Первый из способов, самый старый и получивший у нас в свое время (около 30 лет тому назад) весьма широкое распространение, — показан в плане и продольном разрезе на рис. 9-б; это схема печи русского конструктора Малышева. В этой печи проведено разделение как самой стекломассы, так и пламенной зоны. Печь представ-

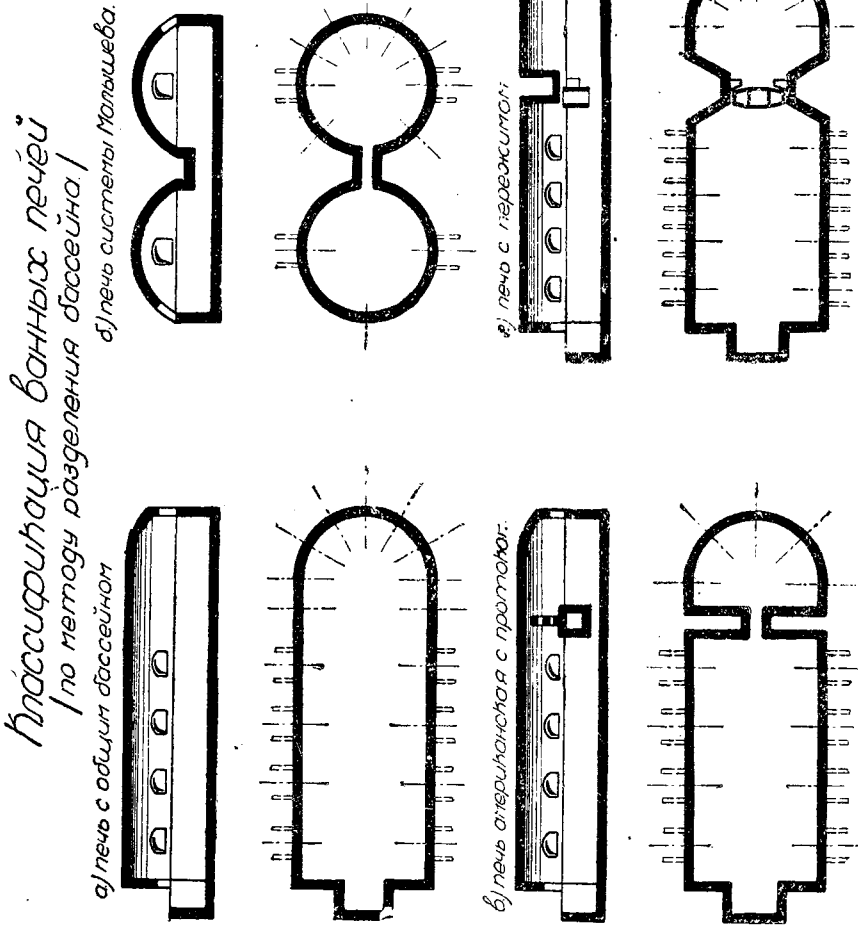


Рис. 9. Способы разделения бассейна.

ляет собою, по сути дела, два совершенно отдельных бассейна, перекрытых отдельными сводами. В первом из них (так называемом варочном) происходит варка и освещение стекломассы, которая в дальнейшем поступает через расположенный над дном узкий и невысокий проток (называемый иногда шейкой) — в другой (так называемый выработочный) бассейн; необходимая студка стекломассы имеет место частично в протоке, частично — в выработочном бассейне.

Характерным отличием печи Малышева является:

а) полное разделение пламенной зоны, так как оба бассейна перекрыты отдельными сводами.

б) в зоне стекломассы сообщение обоих бассейнов производится с помощью расположенного у дна протока небольшой ширины и высоты.

Американская печь с протоком (печь Симплекса)

Второй способ деления бассейна, получивший 10—15 лет тому назад широкое распространение сперва в Америке, а затем в Западной Европе и у нас, — представлен в плане и продольном разрезе на рис. 9-в; это печь *американской конструкции с протоком* (у нас она называется иногда *печью Симплекса*, по названию американской фирмы, спроектировавшей первые установленные у нас печи этой системы). Печь состоит из двух бассейнов — варочного и выработочного — соединенных между собою, аналогично печи Малышева, расположенным у дна протоком небольшого сечения; принципиальное отличие печи Малышева от печи Симплекса заключается в том, что в первом типе каждый бассейн перекрыт отдельным сводом; во втором же типе свод над обоими бассейнами общий. Иными словами, пламенная зона печи Малышева разделена на две части, а в печи американского типа пламенная зона общая. Правда, в американской конструкции имеется возможность разделить пламенную зону на отдельные части путем установки делительной перегородки над перешейком (рис. 9-в, 2б и др.). Однако, обычно, по соображениям, которые будут изложены ниже, — эту перегородку делают решетчатой или же не доводят ее вверху до свода, т. е., иными словами, пламенные (газовые) пространства обоих бассейнов в некоторой степени сообщаются друг с другом.

Печь с пережимом

Третий способ деления бассейна, получивший у нас за последние два-три года широкое распространение для печей механизированного производства оконного стекла и разработанный автором этой книги, показан в плане и в продольном разрезе на рис. 9-г.¹ Печь состоит из двух отдельных бассейнов, соединенных между собой „пережимом“, т. е. сужением бассейна. Пережим отличается от протока тем, что он имеет значительно большую ширину, чем проток и идет по всей глубине стекломассы; в пережиме установлена заградительная лодка (обычно не длинная, но довольно глубокая), с переменной глубиной погружения. Оба бассейна перекрыты отдельными сводами, которые сопрягаются с расположенным низко над стеклом сводом над пережимом; в этом своде может быть помещен глухой мост или шибер для полного разделения пламенного (газового) пространства обоих бассейнов.

В последующем, при более детальном описании этих типов печей, мы остановимся на вопросе об их достоинствах и недостатках, а также области их применения. Мы укажем также, почему печи с отдельными бассейнами получили очень широкое распространение за последние годы.

¹ Авторское свидетельство № 38269.

Сейчас же, подводя итог сказанному, мы ограничиваемся указаниями, что, в зависимости от того, имеется ли разделение бассейна или оно отсутствует, следует разделить все ванные печи на две категории: 1) с *общим бассейном* и 2) с *раздельным бассейном*.

Вторую категорию печей, в зависимости от способа деления бассейна, можно разбить на три основных типа:

- а) *печь с протоком и отдельными сводами (системы Малышева)*,
- б) *печь с протоком и общим сводом (система американская, иногда называемая у нас печью Симплекса)*.
- в) *печь с пережимом*.

Схематическое изображение (в плане и продольном разрезе) всех этих печей дано на рис. 9.

Кроме этих способов иногда применяются различного рода делительные стенки с искусственным (водяным) охлаждением; но широкого распространения они не получили.

3. СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

При классификации ваннных печей *вторым признаком может служить способ использования тепла отходящих газов*, т. е. применение для этой цели регенераторов или рекуператоров (вопрос этот освещен выше).

Каждый из указанных выше четырех типов печей может быть снабжен регенераторами или рекуператорами; всех возможных комбинаций, следовательно, имеется восемь.

Регенеративные ваннные печи распространены значительно шире, нежели рекуперативные; в практике широко применяются четыре указанных выше основных типа ваннных печей с регенераторами; что же касается рекуператоров, то нам известно их применение на практике для ваннных двух типов: с *общим бассейном* и *американского типа (с протоком Симплекса)*. Что же касается печей Малышева и с пережимом, то все известные нам печи—регенеративные, хотя не имеется никаких препятствий к тому, чтобы строить эти печи с рекуператорами.

4. НАПРАВЛЕНИЕ ПЛАМЕНИ В СТОЙЛЕ ПЕЧИ

Третьим признаком для классификации ваннных печей является направление пламени в стойле печи. Мы указывали выше, что в этой области имеется большое разнообразие, особенно, в рекуперативных печах. Мы не будем здесь указывать всех возможных вариантов направления пламени, а ограничимся только теми, которые имеют практическое применение.

В РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПЕЧАХ

На рис. 10 показаны три самых распространенных вида направления пламени в регенеративных печах.

В первом типе печей (рис. 10-а), с так называемым „*поперечным пламенем*“, — пламенные газы движутся перпендикулярно длине

печи, то в одном направлении (как показано сплошными стрелками), то после перекидки — в противоположном; горелки при этом расположены вдоль обеих боковых (продольных) стен печи. Поперечное направление пламени является самым распространенным в регенеративных печах и применяется для всех основных 4 типов. Ниже дано описание главнейших систем этих печей, а именно: печи с общим бассейном системы Гоббе (рис. 12 и 13), печи Малышева (рис. 22), печи с протоком американского типа (рис. 26 и 29) и печи с пережимом (рис. 32).

Второй вид направления пламени — так называемое *подковообразное пламя* (рис. 10-б) — характеризуется тем, что в печи имеется одна пара горелок, расположенных у торцевой стены. Пламя выходит из одной горелки (см. сплошную стрелку), идет вдоль печи

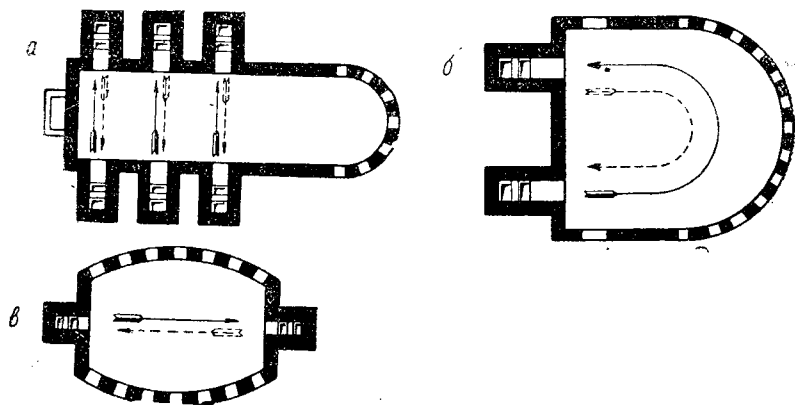


Рис. 10. Направление пламени в регенеративных ваннных печах.

и поворачивая идет в обратном направлении вдоль печи и уходит в другую горелку; после перекидки пламя движется в печи в противоположном направлении.

Подковообразное направление пламени может быть применяемо для печей как с общим бассейном, так и с отдельными бассейнами любого типа (Малышева, Симплекса и с пережимом).

Ниже дано описание некоторых главных типов этих печей, а именно: с общим бассейном (печь системы Сименс-Дралле — рис. 14), печей с протоком американского типа (рис. 27 и 28), а также печи с разделительной стенкой с водяным охлаждением (рис. 30).

Подковообразное направление пламени применяется часто, особенно для небольших печей; но оно все же менее распространено, нежели поперечное направление.

Третий способ направления пламени — так называемое *продольное пламя* — показан на рис. 10-в. Печь снабжена горелками с обеих торцевых сторон. Пламя движется то в одну сторону (сплошная стрелка), то — после перекидки — в противоположную (пунктирная стрелка).

Продольное направление пламени, обычно, применяется для небольших периодически работающих ваннных печей с общим бассейном. Изредка оно применяется и для небольших непрерывно действующих ваннных печей, но при этом приходится работать с так называемыми ботами; такая печь описана ниже (рис. 17 и 18). В последнее время имеются предложения о применении продольного направления пламени для ваннных печей с раздельными бассейнами; при этом в варочном бассейне пламя продольное, а выработочный бассейн расположен перпендикулярно варочному и примыкает к его середине, отделяясь протоком или другим способом.

Печи с продольным направлением пламени сравнительно реже применяются для варки стекла.

В РЕКУПЕРАТИВНЫХ ПЕЧАХ

Направление пламени в рекуперативных печах показано на рис. 11, где представлено шесть различных вариантов. Первые четыре из них являются самыми распространенными для печей как с общим, так и с раздельными бассейнами; для упрощения схемы на рисунке 11 бассейн показан всюду общим; пятый и шестой варианты применяются сравнительно редко.

Первый тип характеризуется наличием у торцевой стены двух горелок; пламенные газы идут двумя потоками вдоль продольных стен печи и затем, заворачивая назад, одним общим потоком идут в обратном направлении по оси печи и поступают в дымовой пролет, расположенный у середины торцевой стены печи. Рекуперативные печи с таким направлением пламени называются „с двойным подковобразным поворачивающим внутрь пламенем“ (рис. 11-а). При наличии общего бассейна эти печи иногда называются печами *Стичинского*. Такое же направление пламени часто применяется известной американской фирмой Амслер-Мортон Компани для рекуперативных печей, но бассейн в них американского типа с протоком (рис. 48 и 49).

Во втором типе (рис. 11-б) горелки и дымовые пролеты расположены также у торцевой стены печи. Разница же заключается в том, что имеется только одна горелка, расположенная по оси печи; пламенные газы идут вдоль печи по ее оси, а затем заворачивают в обе стороны наружу и идут в обратном направлении вдоль боковых стен и попадают в два дымовых пролета, расположенных в торцевой стене по обеим сторонам горелки. Эти печи называются „с двойным подковообразным поворачивающимся наружу пламенем“. При наличии общего (не разделенного бассейна) эти печи часто называются печью *Незе-Дралле*.

Третий тип (11-в) характеризуется наличием одной или двух горелок в торцевой стене и двух дымовых пролетов в боковых стенах; эти печи называются „с продольным направлением пламени“.

Четвертый тип (рис. 11-г) отличается тем, что горелки устанавливаются не в торцевой стене, а в обеих боковых стенах; в каждой из этих стен устанавливается одна, две или большее количество горелок. Мы их назовем печами „с поперечно-подковообразным пламенем“.

Печи этого типа (бассейн с протоком) строятся известным английским конструктором Тейзенем и фирмой Стейн и Аткинсон.

Пятый тип (рис. 11-д) — с поперечным пламенем — является нецелесообразной конструкцией ввиду несимметричности пламенного потока по отношению к продольной оси печи; это последнее

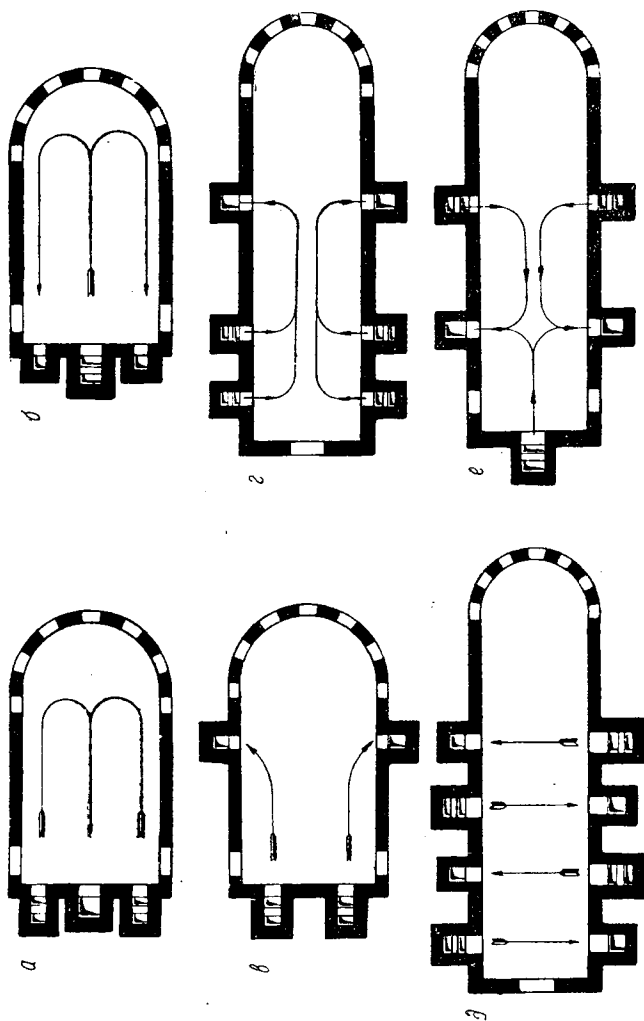


Рис. 11. Направление пламени в рекуперативных ваннах печей.

обстоятельство является для рекуперативных печей весьма существенным. Если желательна установка нескольких пар горелок в боковых стенах, то более целесообразен тип четвертый (рис. 11-г).

Шестой тип — «с продольным и поперечным подковообразным пламенем» (рис. 11-е) — в настоящее время применяется редко.¹

¹ Интересующиеся могут найти описание и подробные чертежи такой печи в курсе Дралле-Кепелера — «Производство стекла», т. I, часть II, стр. 641—643 и таблицы V и VI, изд. Продасиликата, Москва, 1929 г.

5. СОВРЕМЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ВАННЫХ ПЕЧЕЙ

Подытоживая все сказанное о классификации ваннных печей, мы должны констатировать, что типов печей имеется довольно много. Основными характеристиками являются, как уже говорилось выше:

- а) наличие общего бассейна или его разделение и способ разделения;
- б) наличие регенераторов или рекуператоров;
- в) направление пламени в печи.

Если мы себе представим все возможные комбинации, то получим очень много типов печей. Однако, в действительности мы не встречаем такого разнообразия и большинство работающих ваннных печей относятся к сравнительно небольшому количеству типов.

Для того, чтобы облегчить читателю не только возможность разобраться в различных типах печей, но и суметь критически к ним относиться, мы дадим описание тех печей, которые имеют большое практическое значение; при этом изложение будет вестись в следующем порядке.

Сначала будут описаны исключительно регенеративные ваннные печи, как имеющие большое, а у нас в Союзе—исключительное распространение. Рекуперативным же печам, поскольку они представляют особый интерес, будет отведена одна из следующих глав, где, кроме описания главных типов рекуператоров и рекуперативных печей, будет дано сравнение последних с регенеративными печами.

В первую очередь будут описаны печи с общим бассейном. В дальнейшем будут описаны печи с различными способами разделения бассейна.



V. РЕГЕНЕРАТИВНЫЕ ВАННЫЕ ПЕЧИ С ОБЩИМ БАССЕЙНОМ

1. ВАННАЯ ПЕЧЬ С ПОПЕРЕЧНЫМ ПЛАМЕНЕМ (СИСТЕМЫ ГОББЕ) ДЛЯ БУТЫЛОЧНОГО СТЕКЛА

На рис. 12 и 12-а показаны основные разрезы ванной печи с поперечным пламенем для варки бутылочного стекла (производство ручное). Этот тип печей с поперечным направлением пламени (так называемая печь *Гоббе*) весьма распространен как у нас, так и за границей; поэтому на его описании остановимся подробнее.

Основные признаки этого типа печей следующие: бассейн общий, печь регенеративная (в данном случае с воздушными и газовыми регенераторами), направление пламени поперечное, печь снабжена несколькими парами так называемых *шахтных* горелок (т. е. горелок, соединяющихся каждая *отдельной* шахтой с регенераторами).

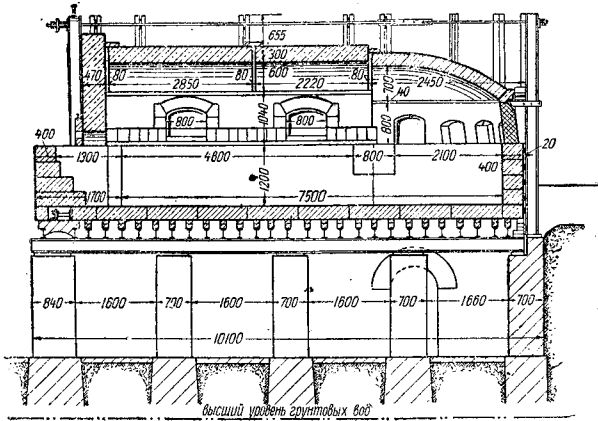
Ванная печь состоит из:

а) *нижнего строения*, куда входят регенераторы, перекидные клапаны, газовые, воздушные и дымовые борова и, наконец, стены или столбы, поддерживающие бассейн; перекидные клапаны и борова на рис. 12 не нанесены.

б) *верхнего строения* печи — бассейн и горелки.

Очертание бассейна — прямоугольное, с закругленным выработочным отделением. Вдоль обеих боковых (продольных) стен бассейна расположены горелки, которые опираются на ниже расположенные регенераторы. С каждой стороны печи имеются две камеры: одна — газовая, другая — воздушная, которые идут параллельно оси бассейна; газовые регенераторы обычно располагаются ближе к бассейну, а воздушные — снаружи. Наружные стены блока, состоящего из двух регенераторов, кладутся из красного кирпича и футеруются огнеупорным шамотным кирпичом; средняя же стена (т. е. промежуточная между обоими регенераторами) кладется целиком из шамотного кирпича. В нижней части регенераторов, на некоторой высоте над подом, имеются специальные арочки с просветами между ними (так называемые *хомутки* или *шанцы*), на которых лежит насадочная решетка. Сверху регенераторы перекрыты сводами, на которые опираются горелки. Последние состоят из вертикальной шахты, иногда называемой *бруллером*, где помещаются два канала, газовый и воздушный, и горизонтальной части. В последней газ и воздух разделяются горизонтальной (или наклонной) аркой, носящей название „разделительного языка“; последний большей

Продольный разрез



Поперечный разрез

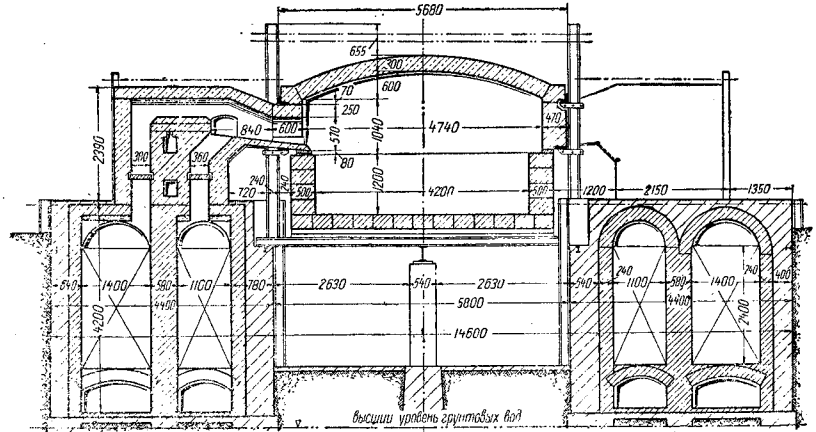


Рис. 12. Ванныя печь с поперечным пламенем (системы Гоббе) для ручного производства бутылочного стекла.

частью не доходит до стойла печи, а иногда отсутствует (см. главу X о горелках). Сопряжение горизонтальной части горелки со стеной печи (т. е. то место, откуда поступают в печь пламенные газы) называется „влетом“. Горелки кладутся обычно целиком из специального высокоогнеупорного *динасного* кирпича; иногда вертикальные шахты горелок кладут из первоклассного шамотного кирпича.

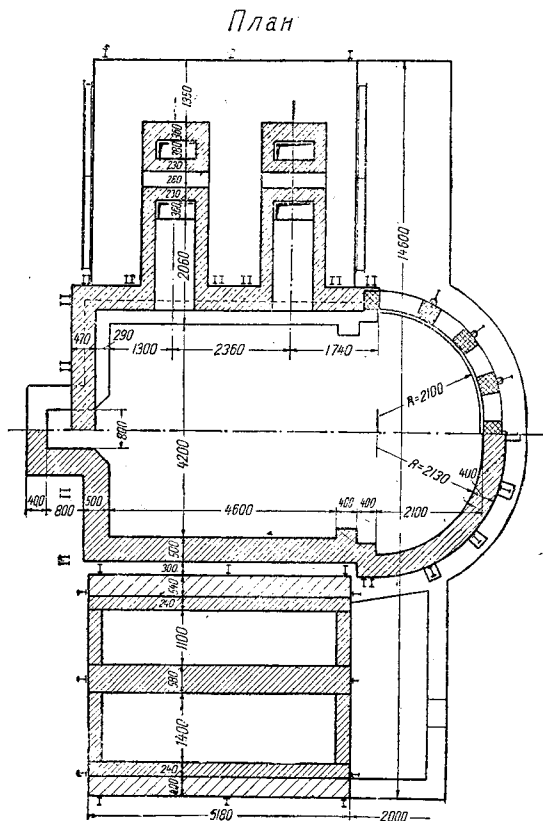


Рис. 12-а. Ванная печь с поперечным пламенем (системы Гоббе) для ручного производства бутылочного стекла.

Бассейн печи лежит на железных балках, которые опираются на стены регенераторов и на отдельные столбы или специальную промежуточную стену из красного кирпича.

Стойло печи состоит из самой „ванной“ или бассейна (в которой помещается расплавленная стекломасса) и перекрывающих и ограждающих его стен и свода. Дно и стены бассейна сложены из высококачественных больших шамотных брусьев, так называемых „донных“ и „стенных брусьев“; эта кладка ведется насухо без всякого раствора. Кладка той части стойла, которая расположена выше уровня стекломассы — стены, влеты, свод — ведется обычно из динасного припаса (конструкция и материалы будут освещены ниже).

Движение газов в печи происходит так, как в обычной регенеративной печи. Генераторный газ и воздух поступают через соответственные клапаны и каналы в нижнюю часть соответственных регенераторов, в так называемые поднасадочные каналы, т. е. под арочки (хомутики), на которых лежит насадочная решетка. В дальнейшем эти газы поднимаются в генераторах и поступают порознь в соответствующие вертикальные и горизонтальные каналы горелок. В том месте, где кончается разделительный язык горелки, начинается смешение газа с воздухом, а следовательно, и горение; в результате пламенные газы поступают через влет в стойло печи. Дымовые газы отводятся через противоположную пару регенераторов, нагревают по пути насадочную

решетку и через каналы и перекидные клапаны поступают в дымовую трубу. Через известные промежутки времени (обычно, каждые полчаса) производят так называемую перекидку клапанов, т. е. изменение направления движения газов в печи.

Следует обратить внимание на то, что регенераторы и горелки идут не по всей длине печи, а только по ее части (так называемому варочному отделению, где производится варка и осветление стекла). Для этой части печи необходимы очень высокая температура и большой приток тепла и поэтому только эта часть непосредственно отапливается. В следующей же части печи имеет место некоторая студка стекломассы (до той температуры, которая необходима для выработки), а также и самая выработка. Эта часть печи непосредственно не отапливается; так как через стены, свод и, особенно, через окна выработочного бассейна теряется наружу много тепла, то недостающее тепло компенсируется излучением пламенных газов из варочного бассейна.

Шихта и обратный бой через небольшие промежутки времени загружаются в так называемый „засыпной или загрузочный карман“, который представляет собой сравнительно небольшой бассейн, пристроенный у середины торцевой стены печи. Загруженная в карман шихта проталкивается в варочный бассейн; под действием высокой температуры здесь происходит процесс варки стекла, т. е. процесс стеклообразования. Поскольку с противоположного конца печи производится постоянная выработка стекла, то стекломасса медленно движется от зоны варки к выработочному отделению, проходя последовательно через зону осветления и зону студки. Иными словами, мы имеем в данном случае непрерывный процесс как загрузки шихты и варки стекла, так и его выработки.

Для того, чтобы несварившееся стекло или шихта не могли проникнуть в выработочное отделение, — бассейн в одном месте (в очень больших печах в нескольких местах) преграждают так называемыми *заградительными* лодками; на рис. 12 они не показаны, нанесены же только так называемые лодочные брусья, которые служат для них упором и которые расположены между варочным и выработочным отделениями (см. план и продольный разрез). Эти лодки сделаны из шамотной массы; так как последняя легче жидкой стекломассы, то они плавают на поверхности стекла. Применение заградительных лодок основано на том факте, что несваренная стекломасса и компоненты шихты легче, нежели полностью сваренное стекло; поэтому первые держатся на поверхности стекла; назначение заградительных лодок — препятствовать проникновению непроваренного стекла в выработочное отделение.

Кроме заградительных лодок, той же цели достигают с помощью так называемых „*кранцев или венков*“, т. е. круглых шамотных колец, плавающих в выработочном бассейне.

Следует здесь указать, что приведенные выше объяснения о движении стекломассы от торцевой стены к выработочному отделению в результате наборки стекла в последнем, — являются, по сути дела, *самой грубой схематизацией* тех процессов, которые в действительности имеют место в стекломассе. Эти явления в действитель-

ности значительно сложнее. Большую роль здесь играют так называемые „термические потоки“. Этот вопрос будет освещен ниже (глава VII, 3).

Печи описанного типа весьма часто применяются для ручной выработки не только бутылочного стекла, но и различного сортового выдувного стекла, стеклянной тары, лампового стекла и т. п.

2. ВАННАЯ ПЕЧЬ СИСТЕМЫ ГОББЕ ДЛЯ ОКОННОГО СТЕКЛА

На рис. 13 показаны основные разрезы типовой 30-метровой ванной печи Гоббе, применяемой при механизированном производстве оконного стекла. Принципиальная схема здесь та же самая, что и у печи Гоббе для бутылочного стекла. Тем не менее следует отметить некоторые отличия этой печи.

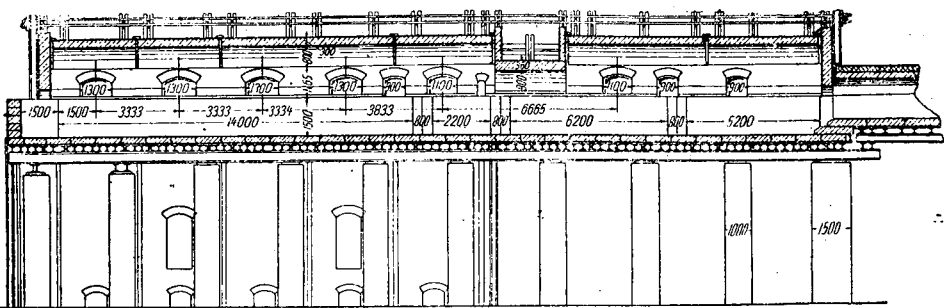
Длина печи очень велика; ширина же ее лишь немногим больше, чем у бутылочной. Иными словами, в этой печи отношение длины к ширине значительно больше. Следует указать, что все печи Гоббе для производства оконного стекла (как механизированного, так и ручного) отличаются большой длиной по отношению к ширине; вызывается это, с одной стороны, высокими качественными требованиями, предъявляемыми к оконному стеклу, а с другой — сравнительно невысокой температурой его выработки. В печи с общим бассейном, — по причинам, на которых мы остановимся ниже, — эти требования легче удовлетворить при большой длине бассейна.

В печи устанавливаются заградительные лодки в двух местах (на чертеже показаны три гнезда для лодок). Кроме того, одна лодка устанавливается у сопряжения ванной печи с перешейком к каналу Фурко (в небольших печах Гоббе обычно устанавливается одна заградительная лодка).

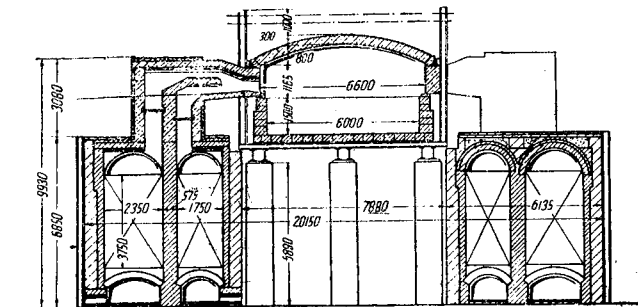
Печь снабжена 6 парами горелок; при нормальных эксплуатационных условиях в работе находятся только 4—5 горелок, а шестая является резервной; она включается, обычно, лишь при выводке ванной печи, после горячих ремонтов и в других случаях, когда из-за тех или иных неполадок температура в печи сильно падает. Часть печи, соответствующая 5 первым горелкам, является варочным бассейном (он занимает около половины длины печи); в остальной части бассейна происходит отстаивание и студка стекла; эту часть называют обычно „рафинажным“ бассейном (хотя это название не совсем удачно, так как рафинаж — это осветление стекла; между тем эта часть печи предназначена в основном для студки стекла и правильнее называть ее *бассейном студки*).

Для того, чтобы уменьшить передачу тепла в рафинажный бассейн от излучения пламенных газов варочного бассейна, одну секцию свода между ними опускают ниже; это — так называемый „экран“. Если этого не делать, то будет наблюдаться сильный „перегрев“ стекла в рафинажном бассейне, т. е. поступающее в канал Фурко стекло будет более горячим, чем это требуется для вытягивания машинами Фурко.

Продольный разрез



Поперечный разрез



План

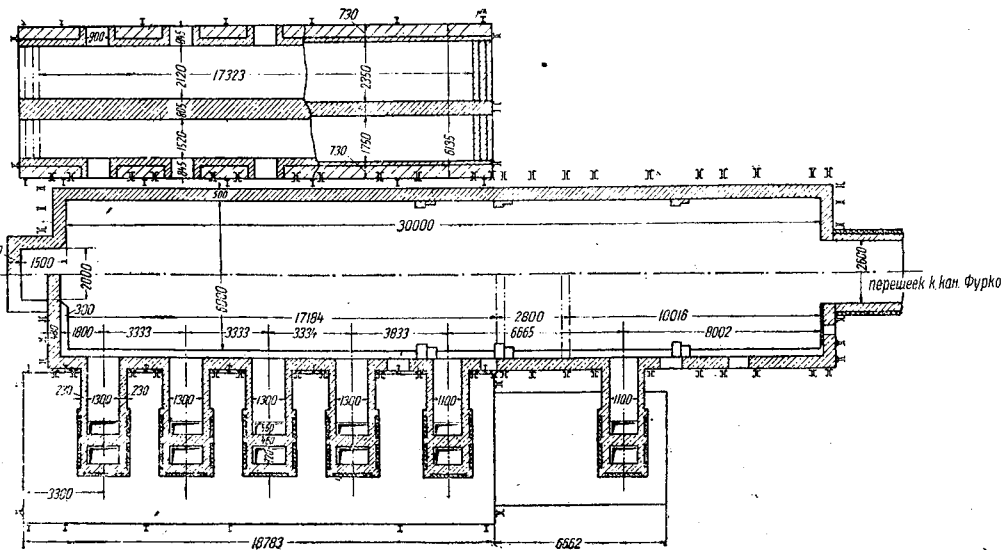


Рис. 13. Ванная печь системы Гоббе для механизированного производства оконного стекла.

Так как шестая пара горелок в нормальных эксплуатационных условиях не работает, то регенераторы заложены только на длину первых пяти горелок. К шестым горелкам подведены от задней части регенераторов специальные воздушные и газовые каналы, а сами горелки являются „выносными“.

Бассейн печи лежит не на регенераторах, а на специальных кирпичных столбах.

3. ВАННАЯ ПЕЧЬ С ПОДКОВООБРАЗНЫМ ПЛАМЕНЕМ

В качестве примера такой печи приводим на рис. 14 небольшую печь (система Сименс-Дралле) с нефтяным отоплением для варки так называемой „аптеки“, т. е. небольших флаконов для лекарств. Поскольку печь работает на жидком топливе, то газовые регенераторы, клапаны и пр. отсутствуют; имеется только пара воздушных регенераторов с воздушными перекидными клапанами (на рисунке не показаны). Нефть распыляется с помощью форсунки (устройство форсунок описано ниже) и подается в горелку у влета; там же она смешивается с подогретым в регенераторе воздухом и там же начинается горение. Пламенные газы поступают из одной горелки в стойло печи, проходят вдоль боковой стены;

затем, повернув обратно, они идут вдоль другой стены и через другую горелку (приемную) поступают в соседний регенератор. При перекидке клапанов предварительно закрывают работающую форсунку, перекидывают клапаны и затем включают форсунку, установленную на другой горелке.

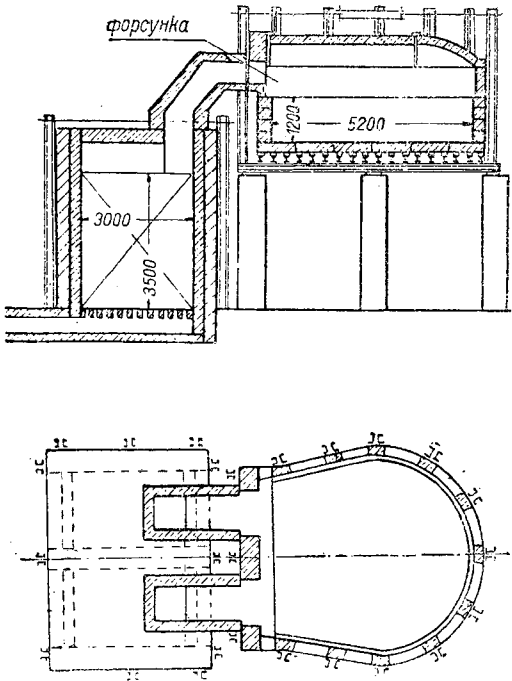


Рис. 14. Ванная печь с подковообразным пламенем (для нефтяного отопления).

Бассейн печей с подковообразным пламенем обычно имеет прямоугольное очертание, закругленное у выработочного отделения (рис. 10-б). В данном же случае бассейн очень короткий и постепенно расширяется к выработочному отделению, напоминая подкову. Расширение у выработочного бассейна объясняется стремлением

увеличить фронт выработки, поскольку на данной печи производится „мелкий ассортимент“, при котором вес вытягиваемой стекломассы на одно рабочее окно меньше, чем при „крупнине“. В виду значительной ширины печи, вызванной стремлением к увеличению фронта работы, и небольшой ее производительности, — длина печи получилась весьма незначительной; это является вполне допустимым (подробнее об этом см. ниже) при выработке изделий, к которым предъявляются сравнительно низкие качественные требования (бутылочное стекло, стеклянная тара и т. п.).

Следует обратить внимание на то, что в данной печи регенераторы расположены не под бассейном, а вынесены и стоят впереди печи. Дело в том, что раньше в старых печах с подковообразным пламенем регенераторы обычно помещали под бассейном (как это видно на рис. 15). Эта конструкция, однако, обладала двумя чрезвычайно серьезными дефектами. Во-первых, дно бассейна было совершенно недоступным для осмотра и искусственного охлаждения

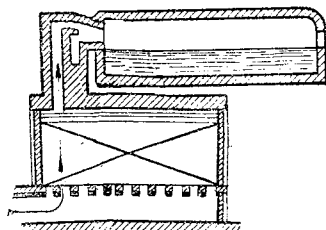


Рис. 15. Ванная печь с подковообразным пламенем с регенераторами под бассейном (неудачное расположение регенераторов).

и, притом, в самом горячем месте (варочном отделении). Во-вторых, так как газы от перекидных клапанов подводятся к регенераторам с той же стороны, где расположены горелки, то, естественно, что регенераторы не используются в полной мере, так как газы стремятся пройти через регенератор кратчайшим путем (как показано стрелкой на рис. 15). Для лучшего уяснения последнего положения, мы рекомендуем читателю сравнить этот регенератор с регенератором печи, изображенной на рис. 14. Во втором случае регенераторы небольшие в плане

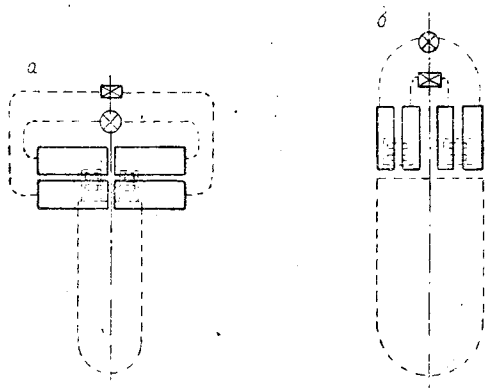


Рис. 16. Взаимное расположение бассейна и регенераторов в печах с подковообразным пламенем:

а — регенераторы расположены перпендикулярно к бассейну,
б — регенераторы расположены параллельно бассейну.

и весьма высокие и вполне естественно, что вся насадочная решетка равномерно омывается газами, т. е. что регенератор хорошо использован. В регенераторах же печи на рис. 15 приходится прибегать к некоторым искусственным мероприятиям для улучшения их работы (как, например, насаживать левую часть регенератора чаще правой); однако эти мероприятия только смягчают отмеченный недостаток, но не могут полностью его устранить.

При газовом отоплении печей с подковообразным пламенем обычно устанавливают две пары регенераторов (т. е. газовые и воздушные). Поскольку в самой печи, за исключением регенераторов и горелок, не имеется почти никакой разницы по сравнению с нефтяной, — мы ограничимся двумя схемами (рис. 16), где показаны в плане два употребительных способа взаимного размещения бассейна печи, регенераторов, горелок и перекидных клапанов. На рис. 16-а регенераторы расположены перпендикулярно к бассейну, а на рис. 16-б — параллельно. Недостатком первого метода являются длинные с несколькими поворотами газовые и воздушные каналы; общие габариты печи по ширине (у регенераторов) сравнительно велики. Недостатком второго способа является несколько более сложное конструктивное сопряжение горелок с регенераторами (особенно, при узком бассейне) и большая длина всей печи. Так как оба варианта, примерно, равноценны, то сплошь и рядом при постройке таких печей в *существующих* зданиях приходится отдавать предпочтение тому варианту, который лучше увязывается с местными условиями.

Следует отметить, что при расположении регенераторов параллельно бассейну воздушные регенераторы обычно помещаются в середине, а газовые — по краям. В противном случае, при повреждении средней промежуточной стенки генераторный газ засасывался бы через трещины кладки в соседний регенератор, где идут в данное время дымовые газы.

4. ВАННАЯ ПЕЧЬ С ПРОДОЛЬНЫМ ПЛАМЕНЕМ

Ванная печь с продольным пламенем показана на рис. 17 и 17-а; она называется также печью Сименса. Бассейн имеет овальное очертание (иногда и прямоугольное); с обоих концов бассейна расположены горелки, в небольших печах — ординарные (как в данном случае), а в печах большого размера встречаются и парные. Пламя идет вдоль печи попеременно: то справа налево, то слева направо. Под каждой горелкой расположена при газовом отоплении пара регенераторов. Остальное ясно из чертежей.

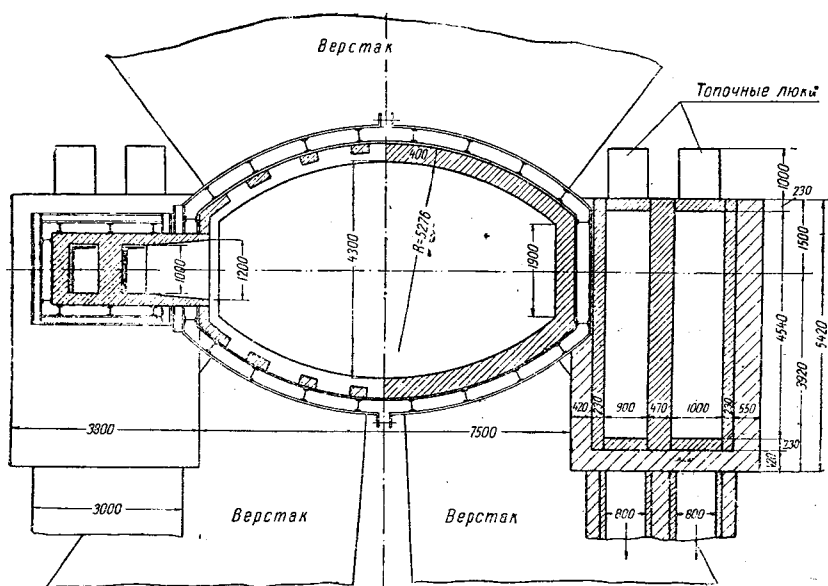
По обеим продольным сторонам бассейна расположены выработочные окна; обычно, два из имеющихся окон служат для засыпки состава.

Следует обратить внимание на то, что пламя в этих печах всегда идет вдоль бассейна. Это позволяет — даже при печи небольших размеров — иметь сравнительно большой путь пламенных газов, что способствует полному окончанию процесса горения газов в самой печи, а, следовательно, лучшей отдаче тепла и лучшему его использованию в самой печи. Этот момент с точки зрения теплотехнической является весьма важным.

Следует обратить также внимание на очень большой фронт выработки, который захватывает целиком обе продольные стены печи.

Печи описанного типа используются или как *периодические* или как *непрерывно действующие*. В первом случае, после того как закончена наварка стекла, приступают к выработке такого через

План



Продольный разрез

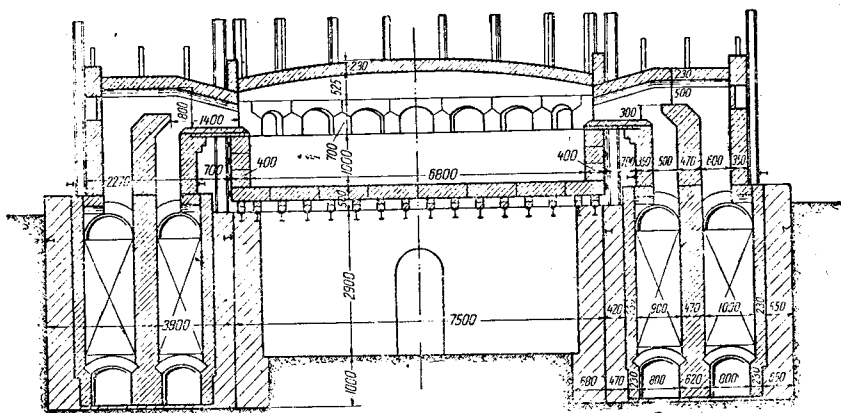


Рис. 17. Ванная печь с продольным пламенем.

все окна. Обычно выработка производится в течение одной смены, причем стекло „отрабатывается“ только на некоторую глубину. Делается это по двум соображениям: 1) набирать стекло со значительной глубины является довольно затруднительным для мастеров, 2) постоянное обнажение дна и стен привело бы к их быстрому разведанию шихтой. К тому же при выработке в одну смену удастся в остальную часть суток наварить стекло; следовательно мастера

работают у печи каждый день в одно и то же время (поэтому часто называют эти печи „дневными“). В случае же полной выработки печи пришлось бы ставить подряд несколько смен, а затем наварка стекла заняла бы много времени; с эксплуатационной точки зрения это, понятно, было бы весьма неудобным.

В виду отмеченных достоинств — хорошего использования тепла, большого фронта для выработки, простоты конструкции — этот тип печей является излюбленным при периодической работе.

Но эта же печь (рис. 17) может быть использована и как непрерывно действующая. В этом случае приходится работать с так называемыми „ботами“.

Бот, служащий для наборки стекла для некрупных изделий, показан на рис. 18; он изготовляется из шамотной массы высшего качества. Открытой стороной *A* бот вставляется в рабочее окно, а концом *B* опускается в стекло; в окне он закрепляется со всех сторон клиньями из огнеупорного кирпича и замазывается глиной.

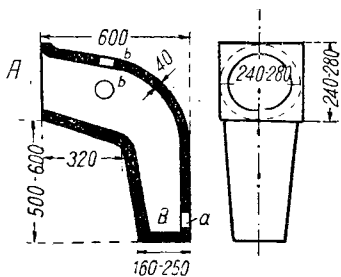


Рис. 18. Бот.

Стекло поступает из ванны в бот прямо снизу (если бот без дна) или через отверстие *a* (если бот имеет дно). Стекло набирается через отверстие *A*; небольшие отверстия *b* служат для регулировки температуры стекла внутри бота; если стекло слишком холодно, то оставляют эти отверстия открытыми; если же стекло слишком горячо, то уменьшают температуру полным или частичным закрытием этих отверстий пробками.

Весьма радикальным способом регулировки температуры стекла в боте является погружение его на большую или меньшую глубину. Дело в том, что температура более глубоких слоев стекломассы ниже, чем температура верхних слоев. Поэтому, обычно, находят практически для каждой печи то оптимальное погружение бота, при котором стекломасса в боте приобретает температуру, наиболее пригодную для выработки.

При установке в описанной выше печи ботов, можно производить непрерывную варку и выработку стекла. В этом случае варка и осветление стекла производится по поверхности зеркала стекла;

Поперечный разрез

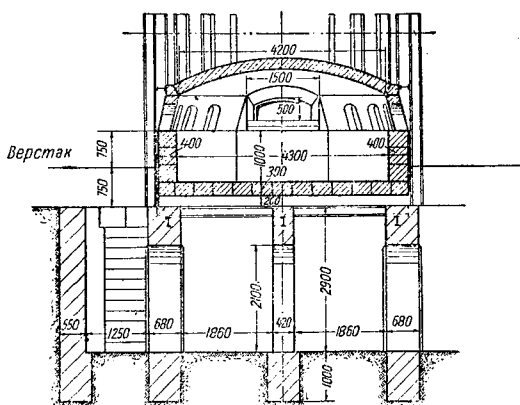


Рис. 17-а. Ванная печь с продольным пламенем.

сваренное полностью стекло, как более тяжелое,—постепенно опускается вниз. Там оно несколько охлаждается и поступает в боты, откуда и производится выработка. Поскольку свежая шихта все время загружается и может смешиваться с уже проваренной массой,—последняя может при своем опускании вниз увлекать за собой не вполне проваренные частицы. Поэтому не приходится рассчитывать на получение в этих печах высококачественного стекла; на них, обычно, вырабатывают такие изделия, к качеству которых предъявляются сравнительно низкие требования.

5. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВАННЫХ ПЕЧЕЙ С ОБЩИМ БАССЕЙНОМ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

ПЕЧИ С ПРОДОЛЬНЫМ ПЛАМЕНЕМ

Как уже указывалось выше, печи с продольным пламенем применяются как непрерывно действующие и как периодические ваннные печи; в последнем случае их применение является рациональным тогда, когда по роду производства или в виду незначительного количества производимой продукции применение ваннных печей непрерывного действия является нецелесообразным. В этом случае ваннные печи периодического действия вытесняют горшковые печи. К областям, где применение периодических ваннных является целесообразным, относится производство разных видов специальных стекол, большей частью тугоплавких и требующих высокой температуры выработки (например, стекло Пайрекс). Количество таких специальных стекол (в весовом выражении) сравнительно незначительно, и периодические ваннные печи для производства специальных стекол начинают в последние годы вытеснять горшковые печи на целом ряде заводов технически передовых стран Западной Европы и США. У нас производство технических стекол стоит еще на сравнительно низкой ступени как по ассортименту, так и по количеству; в основном, оно базируется на горшковых печах. Переход к ваннным печам даже периодического действия является задачей ближайшего времени.

Выше указывалось, что непрерывно действующие печи с продольным пламенем применяются иногда для выработки различных изделий, в отношении качества которых не предъявляется особых требований. Поскольку в данном случае вопрос идет о производстве предметов ширпотреба, которые должны вырабатываться в массовом масштабе, данный тип печей является устарелым. Эти печи сохранились только на мелких ручных заводах и, несомненно, с течением времени будут заменены более мощными и более современными агрегатами.

ПЕЧИ С ПОДКОВООБРАЗНЫМ И ПОПЕРЕЧНЫМ ПЛАМЕНЕМ

Различие в работе печей обоих типов вызывается, главным образом, тем обстоятельством, что все изменения в качестве и количестве газа и воздуха, а также в размерах и конструкции горелок—сильнее отражаются на ходе печи при подковообразном направлении пламени, чем при поперечном. Объясняется это тем, что все

моменты, которые влияют на температуру печи и на длину пламени, — одновременно определяют величину отапливаемой части при печи с подковообразным пламенем.

Это можно пояснить следующими примерами. В печи с поперечным направлением пламени длина отапливаемой части бассейна определяется количеством *работающих* горелок. Прикрывая те или иные горелки с помощью специальных шиберов, мы имеем полную возможность регулировать отношение длины отапливаемого пространства к неотапливаемому; это имеет чрезвычайно большое значение, поскольку в печи нам нужно не только сварить стекло и его осветлить, но и произвести стужку такого до температуры, необходимой для его выработки.

В печи с подковообразным направлением пламени мы лишены такой легкой возможности устанавливать оптимальную длину отапливаемого пространства, так как длина пламени (т. е. в данном случае длина отапливаемого пространства) зависит от различных факторов, которые часто произвольно меняются. Представим себе, что качество генераторного газа ухудшилось (например, вследствие перехода на более влажное топливо). Для того, чтобы поддержать в печи ту же температуру, — нам нужно подавать большее количество газа и, соответственно, изменить количество воздуха. Это увеличенное количество газовой смеси будет попадать в печь через тот же самый влет, т. е. того же самого сечения; следовательно, пламенные газы будут с большей скоростью поступать в печь. При этих условиях пламя будет более дальнобойным, площадь отапливаемого пространства соответственно увеличится, что может нарушить правильность процесса варки стекла в печи. Изменение длины отапливаемой части печи с подковообразным пламенем может произойти также и от других причин (например, разгара влетов, т. е. увеличения их сечения в процессе продолжительной работы печи). При неизменном количестве газов и увеличении сечения влетов, скорость поступления пламенных газов в печь уменьшается, а соответственно уменьшается и площадь отапливаемой части бассейна. Всех этих явлений мы не наблюдаем в печах с поперечным пламенем.

Означенное обстоятельство является недостатком печи с подковообразным пламенем, но оно имеет и некоторые положительные стороны. Недостаток этих печей заключается в том, что поддержание *стабильного температурного режима и стабильного распределения температур* является более затруднительным, чем при печах с поперечным пламенем. Поэтому на печах с подковообразным пламенем ход работы в значительной степени зависит от постоянства качества газа, постоянства соотношения газа и воздуха, неизменности сечения влетов и т. д.

Насколько эти факторы (и, в частности, правильно выбранные сечения влетов) играют роль в работе этих печей, видно из нижеописываемого случая, лично нам известного. В одной выстроенной печи с подковообразным пламенем нельзя было достигнуть надлежащего распределения температур и, в частности, достаточно высокой температуры по всему варочному бассейну. Причина заклю-

чалась в слишком больших сечениях влетов, в результате чего поступавшее с небольшой скоростью пламя быстро заворачивало обратно. Стоило только уменьшить сечение влетов, т. е. увеличить скорость поступления газов в печь, как последняя стала работать нормально.

Указанная особенность печей с подковообразным пламенем является в некоторых случаях их преимуществом, так как позволяет изменять по желанию величину отопляемой части ванной печи путем изменения количества газа и воздуха. В случае, например, порчи стекла в выработочном отделении, в таких печах легче устранить этот дефект путем соответственного поднятия температуры в выработочном бассейне.

С точки зрения теплотехнической следует указать, что путь развития пламени в печах с поперечным направлением пламени, обычно, короче, так как он ограничен шириной печи, которую мы можем увеличивать только до известного предела, обусловливаемого максимально допустимым пролетом главного свода (а также по некоторым другим соображениям, которые будут приведены ниже).

В печах с подковообразным пламенем мы имеем значительно большую длину развития пламени, так как длина факела равна, примерно, удвоенной длине отопляемого бассейна; благодаря этому, легче добиться полного сгорания генераторного газа. Поэтому в узких печах применение поперечного направления пламени не является рациональным; при таких условиях затруднительно получить полное сгорание газов в самом стойле печи и, сплошь и рядом, горение заканчивается в противоположных горелках и регенераторах. Этот случай называется „перелетом“ пламени; при этом не только получается перерасход топлива, но весьма сильно страдают горелки и регенераторы, что может привести к преждевременной остановке печи.

С другой стороны, при печах большой длины нецелесообразно применять подковообразное направление пламени, так как для создания необходимых скоростей пламенных газов нехватает того напора, который создается регенераторами (об этом ниже). При нефтяном же отоплении печей легче получить дальнобойное пламя вследствие высокого давления пара и воздуха, применяемого для распыления нефти. Поэтому при работе на жидком топливе подковообразное направление пламени может применяться для более длинных печей, чем при газовом отоплении.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВАННЫХ ПЕЧЕЙ С ОБЩИМ БАССЕЙНОМ

На основании всего сказанного, можно констатировать, что для печей больших размеров (т. е. большой длины и большой ширины) более целесообразным является применение поперечного направления пламени. Для печей же меньших размеров более целесообразно подковообразное направление пламени.

Как в нашей, так и в западноевропейской практике подковообразное направление применяется, обычно, для меньших печей площадью до 50—60 м². Печи же большего размера, служащие

преимущественно для выработки оконного, бутылочного и литого стекла, делаются почти исключительно с поперечным направлением пламени.

При нефтяном отоплении подковообразное направление применяется и для печей большего размера, чем 50—60 м². Объясняется это не только возможностью создания более дальнобойного факела, но и удобством работы с одной парой горелок. Дело в том, что при газовом отоплении перевод огня производится путем перестановки только перекидных клапанов. При нефтяном же отоплении необходимо, кроме того, выключать форсунки с одной стороны печи и выдвигать их из печи, а затем вставлять форсунки в противоположные горелки. Эта операция, которую необходимо проделывать, примерно, каждые полчаса является весьма кропотливой и утомительной при большом количестве форсунок в печах с поперечным пламенем (особенно, если учесть тесноту между горелками и господствующую там жару).

Вопрос относительно области применения печей с продольным направлением пламени освещен выше.

6. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ ВАННЫХ ПЕЧЕЙ С ОБЩИМ БАССЕЙНОМ

ПЛОЩАДЬ ЗЕРКАЛА

Основным размером ванной печи является площадь пода или так называемая площадь зеркала, измеряемая в квадратных метрах. Площадь бассейна существующих ваннных печей колеблется от самых малых до 200 м² у нас и до 300 м² в США. При проектировании новых печей необходимая площадь пода определяется на основании целого ряда соображений; основным из них является заданная производительность печи. Если поверхность зеркала выбрана, то необходимо определить длину и ширину бассейна, его глубину, а также высоту свода над стеклом. Прежде, чем перейти к освещению этого вопроса, необходимо отметить, что *все размеры принято давать по поверхности зеркала*, т. е. ширина и длина печи даются по бассейну в свету и т. д.

ДЛИНА И ШИРИНА БАССЕЙНА

Печи с *подковообразным* пламенем бывают шириной от 2 до 7 м; длина всего бассейна—от 5 до 10 м (а при нефтяном отоплении и больше); длина неотапливаемого бассейна при газовом отоплении обычно—3—5 м, а при нефтяном—6—8 м.

Для печей с *поперечным* направлением пламени ширина колеблется от 3 до 6 м (обычно—от 4 до 6 м); в США имеются печи шириной до 9—10 м. Длина бассейна лежит обычно в пределах от 15 до 30 м, а отапливаемой его части—от 8 до 16 м.

Переходим к вопросу о целесообразном *выборе длины и ширины печи*.

Целесообразная ширина печи зависит от конструкции горелок. Однако при проектировании печи не следует исходить из горелок, а наоборот выбрать, на основании нижеприведенных соображений, ширину печи и взять тип горелок, соответствующий этой ширине.

В широких печах с поперечным пламенем легче достигнуть при соответствующем устройстве горелок—весьма хороших условий для сжигания газа; в этих же печах легче поместить необходимое количество верстаков при ручной выработке. Поэтому для ручного производства выдувного сортового стекла и бутылок бралось большее соотношение между шириной и длиной печи, чем для печей по выработке оконного стекла, так как при этом можно было поместить значительно большее количество мастеров.

Недостатком более широких печей является то, что при одной и той же площади зеркала здесь труднее достигнуть надлежащего охлаждения стекломассы в выработочном бассейне. Дело в том, что при общем бассейне стекломасса в выработочном отделении подогревается излучением пламенных газов варочного бассейна. Чем шире бассейн, тем больше площадь поперечного сечения пламенного (подсводового) пространства и тем больше передается тепла в рабочее отделение лучеиспусканием пламенных газов. Этим обстоятельством объясняется большая длина ванн печей системы Гоббе для производства оконного стекла. Температура выработки этого стекла как при ручном, так и при механизированном производстве сравнительно невысока (порядка 1100°); поэтому приходится удлинять зону студки, а также устраивать так называемые „экраны“, т. е. пониженные секции свода между варочным и выработочным отделениями (рис. 13).

ГЛУБИНА БАССЕЙНА

Глубина бассейна ванн печей для производства выдувного сортового стекла составляет, обычно, от 0,75 м до 1 м и доходит до 1,2 м; для бутылочного стекла глубина бассейна—0,9—1,2 м, а для оконного—1—1,5 м (обычно—1,2—1,5 м). Глубина бассейна зависит от размеров печи и характера стекла; некоторую роль играют здесь также качественные требования, предъявляемые к стеклу.

Что касается размеров печи, то не требует особых пояснений, что, при прочих равных условиях, глубина бассейна должна возрастать с увеличением печи. Понятно, здесь нет прямой пропорциональности, но размер печи следует учитывать при выборе глубины бассейна, которая, обычно, колеблется от 0,6 м до 1,5 м. На эти цифры следует смотреть, как на крайние пределы. Здесь не лишним будет отметить, что в первых ванн печах непрерывного действия, построенных в 60-х годах прошлого столетия,—глубина бассейна составляла всего 0,3—0,4 м. При этих условиях не только стекло прогревалось до самого дна, но и последнее накалялось до красна. Вырабатывать сильно разогретую стекломассу являлось весьма затруднительным, а перегретое дно ванной печи под действием разогретой стекломассы быстро разрушалось, давало камень, свиль; швы в нем расширялись и быстро разъедались; не-

редко стекло проливалось сквозь образовавшиеся щели и вытекало из ванны. Сименс первый обратил внимание на целесообразность устройства более глубоких бассейнов, порядка 1—1,5 м; при такой глубине и при нормальном ходе варки нижний слой не так сильно прогревается; он сохраняет значительную вязкость и служит как бы изоляцией между верхними горячими активными слоями стекла и дном печи („мертвый слой“).

Цвет стекломассы играет большую роль в вопросе выбора глубины бассейна. Чем прозрачнее стекло для тепловых лучей, тем, при прочих равных условиях, оно сильнее прогревается по глубине и поэтому тем большая требуется глубина бассейна. Отсюда понятно, почему для больших печей при выработке белого стекла принимают глубину бассейна обычно в 1,2—1,5 м; при выработке же зеленого бутылочного стекла глубина ванной не превосходит 1,2 м, а обычно бывает 0,9—1,0 м и даже меньше. Практика показывает, что при варке зеленого стекла уже на глубине 0,8—0,9 м (а, вероятно, и на меньшей глубине) имеется „мертвый“ слой стекломассы. Это подтверждается не только длительным сроком службы донных и нижних рядов стеновых брусьев, но и целым рядом практических данных. Так, например, при остановке одной большой ванной печи глубиной 1,2 м для выработки зеленой бутылки было решено выпустить все стекло; для этой цели был выбит один брус в 4-м ряду—верхняя кромка на 0,9 м ниже уровня стекла. Несмотря на все усилия и, в частности, на сильный разогрев печи, стекло не пошло и пришлось его выпустить из третьего ряда, т. е. на глубине около 600 мм. Поэтому даже для очень больших печей для темного стекла глубину бассейна нецелесообразно делать больше 0,9—1,0 м. Весьма важным вопросом при варке белого стекла является *влияние глубины бассейна на качество стекла и производительность печи*. По этому вопросу до последнего времени существовали две диаметрально противоположных точки зрения.

Одни рекомендовали уменьшать глубину ванной печи для того, чтобы устранить вредное влияние так называемого „остатка“ стекла (т. е., иными словами, уменьшить среднее время пребывания стекломассы в ванной печи). Но это мнение нельзя считать правильным, так как при общепринятой в настоящее время глубине бассейна в печах с общим бассейном всегда имеются у дна мертвые зоны, в чем нам приходилось лично убеждаться.

С другой стороны, большая глубина бассейна обуславливает увеличение глубины активного слоя стекла, т. е. того слоя, который движется. Иными словами, при одной и той же поверхности печи и одной и той же производительности есть возможность при более глубокой ванной печи подвергать стекломассу более продолжительное время процессу варки, осветлению и студке, что дает основание рассчитывать на повышение качества стекла. Если же исходить из условия неизменного качества стекла (т. е. одной и той же продолжительности пребывания активных слоев стекломассы), то с увеличением глубины ванной печи можно достигнуть большей производительности; правда, прямой пропорциональности между глубиной бассейна и производительностью печи не существует.

Несколько лет тому назад оживленные прѣяния вызывал вопрос относительно оптимальной глубины больших 30-метровых ваннных печей Гоббе для механизированного производства оконного стекла. Лишь после того, как на Константиновских ваннных печах глубина бассейна была по нашему предложению увеличена с 1,2 м. до 1,5 м, причем эта реконструкция дала положительные результаты как в качественном, так и в количественном отношении,—вопрос относительно оптимальной глубины бассейна перестал быть спорным.

Весьма серьезным преимуществом большей глубины бассейна является большая долговечность дна печи, благодаря образованию мощного мертвого слоя стекла.

Вследствие более низких температур стекломассы у дна при более глубоком бассейне, общие потери тепла через дно и стены бассейна должны быть меньше, несмотря на некоторое увеличение поверхности стен бассейна (большая высота). Если принять во внимание, что потери через дно составляют около 10—15% общих потерь верхнего строения ванной печи, то этой цифрой пренебрегать нельзя.

Некоторым недостатком печей с более глубоким бассейном является несколько большая стоимость таковых и, возможно, более продолжительный срок наварки при первоначальном пуске (хотя этот вопрос еще окончательно не проверен).

В заключение следует отметить, что все приведенные соображения относительно глубины бассейна, его длины и ширины—*в полной мере относятся только к ванным с общим бассейном*. В печах с конструктивным разделением бассейна имеются некоторые особенности, которые определяют рациональный выбор основных размеров; на этих особенностях мы остановимся ниже.

ВЫСОТА СВОДА НАД ЗЕРКАЛОМ СТЕКЛА

На основании статистического обследования большого количества ваннных печей, установленных в Германии, д-р Маурах дает следующее значение высоты свода над зеркалом: для сортового (выдувного) стекла—0,70 до 1,50 м (обычно—0,80—1,10 м), для бутылочного стекла—0,75 до 1,75 м (обычно—1,25—1,50 м), для оконного и литого стекла—1,0 до 1,85 м (обычно—1,50—1,75 м).

При выборе этого расстояния большей частью исходят не из теплотехнических, а из конструктивных соображений, а затем проверяют, является ли полученный объем стойла достаточным для полного сгорания газов.

Минимально допустимая высота свода над зеркалом зависит от следующих моментов:

Тип печи. Если горелки расположены в торцевых стенах (печи с подковообразным и продольным направлением пламени), то свод можно располагать ниже, чем в печах с поперечным направлением пламени; в последних приходится несколько приподнимать пяты свода для того, чтобы под ними поместить горелки.

Тип горелок. В общепринятых у нас горелках пяты главного свода лежат над аркой влетов. В США за последние годы широко привились горелки, которые с целью опускания свода как бы врезаются в него (эта конструкция показана на рис. 72 и 73); в последнее время эта конструкция горелок начинает применяться и у нас. Есть также целый ряд других более старых конструкций горелок, которые также врезаются в свод. Наконец, некоторого понижения свода можно добиться и за счет замены зуба (крюка), лежащего на металлической доске (лафете), диасной плитой, укладываемой непосредственно на стеновые брусья (заклинок при этом отсутствует). Эта конструкция показана на рис. 72; с точки зрения теплотехнической она является рациональной, но, несомненно, вызывает некоторые неудобства при эксплуатации (при горячих ремонтах).

Ширина печи. Чем шире печь, тем подъем свода больше и тем расстает от стекла до свода (в замке) также больше.

Насчет целесообразности более высокого или более низкого расположения сводов существуют две диаметрально противоположные точки зрения. Сторонником высокого расположения сводов являлся профессор В. Е. Грум-Гржимайло, который доказывал, что для полного сжигания топлива и эффективной теплоотдачи следует делать пламенное пространство весьма значительного объема с тем, чтобы получить в нем как бы мешок горячих газов. Сторонники высоких сводов указывают также на то, что с увеличением до известных пределов толщины излучающего слоя пламенных газов, — передача тепла увеличивается.

Сторонники устройства более низких сводов ссылаются на то, что по крайней мере в применении к стекловаренным печам общепринятая величина пламенного пространства является большей, чем это нужно для полного сжигания газов и для отдачи этого тепла стекломассе.

Поэтому они считают, что при обычных конструкциях газы в стойле печи охлаждаются почти до температуры стекла, т. е. в конце своего движения успевают полностью отдать свое тепло стеклу. Кроме того, при слишком большом пламенном пространстве в нижней части стойла (т. е. над зеркалом стекла) может образоваться слой сравнительно более холодных газов. Наконец, последние исследования показывают, что при тех толщинах (высоте) пламенного потока, которые имеют место в ваннных печах, дальнейшее увеличение высоты свода не дает хоть сколько-нибудь заметного возрастания излучающей способности газов.

Практические данные говорят о том, что уменьшение высоты свода сопровождается, сплошь и рядом, уменьшением расхода топлива, а также увеличением производительности печей. Дальше всех в этом отношении пошли американские конструкторы; с целью понижения свода они разработали особую конструкцию горелок, сопрягающуюся со сводом (см. рис. 23, 72 и 73); при этом удельная производительность (съем стекла с 1 м² зеркала) на американских печах достигает значительно больших величин, чем на ранее установленных печах, как у нас, так и в Западной Европе.

В заключение приведем некоторые соображения относительно *высоты свода в выработочном отделении*. Чем ниже свод, тем стекломасса быстрее остывает, так как при высоком расположении свода передача наружу тепла излучением от стекла своду уменьшается (вследствие меньшей теплопроводности более толстого слоя газов). Кроме того, при низком своде в рабочем отделении передача тепла излучением пламенных газов из отопляемой части печи значительно меньше (это обстоятельство очень существенно); для того, чтобы при ограниченной длине рабочего отделения получить надлежащее охлаждение стекла, нужно расположить свод рабочего отделения по возможности ниже (насколько это позволяют окна для выработки).

VI. ВАННЫЕ ПЕЧИ С КОНСТРУКТИВНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ БАССЕЙНА

1. НЕДОСТАТКИ ПЕЧЕЙ С ОБЩИМ БАССЕЙНОМ

Печи с общим бассейном характеризуются наличием одного общего бассейна, в котором последовательно происходит варка стекла, осветление (очистка), а в дальнейшем — студка нагретой стекломассы до температуры, необходимой для возможности выработки стекла, и, наконец, выработка такового. Весь бассейн ванной печи перекрыт одним общим сводом.

Как показывает практика, при правильной конструкции и хорошей эксплуатации, печи описанного типа дают стекло хорошего качества. Тем не менее, этим печам присущи некоторые чрезвычайно серьезные недостатки. Сюда относятся:

а) Небольшой удельный съем стекла — порядка 250—400 кг сваренной стекломассы в сутки на 1 м² площади всего бассейна или 400—600 кг на 1 м² отапливаемой части бассейна. В описываемых же ниже печах с отдельными бассейнами удельный съем стекла в 1½—2 раза больше (причины изложены ниже). Вследствие небольшого удельного съема, размер печей с общим бассейном и их стоимость, отнесенная к единице продукции, — весьма высоки; велики и расходы по горячим и холодным ремонтам и т. д.

б) Небольшой удельный съем стекла приводит к тому, что удельный (т. е. отнесенный к единице продукции) расход топлива весьма значителен. Объясняется это тем, что расход топлива на единицу площади (кв. м) зеркала стекла весьма мало зависит от удельного съема стекломассы, т. е. съема с единицы площади (подробнее об этом ниже). Поэтому вполне естественно, что при небольшом удельном съеме стекломассы удельный расход топлива высок. И теоретические соображения и практические наблюдения за работой значительного количества печей, произведенные в различных странах, подтверждают правильность высказанного выше положения.

2. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕДОСТАТКОВ ВАННЫХ ПЕЧЕЙ С ОБЩИМ БАССЕЙНОМ

Постараемся выявить основные причины *небольшого удельного съема стекла*, а, следовательно, и *значительного удельного расхода топлива* в печах с общим бассейном.

В ванной печи непрерывного действия должны последовательно иметь место следующие фазы стеклообразования.

В первой зоне—зоне варки—имеет место подогрев шихты и химические реакции плавки стекла, т. е. образование последнего из разнородных компонентов шихты. Оптимальная температура должна быть порядка 1400—1450°C.

В следующей зоне — зоне осветления — имеет место осветление (очистка) стекла. Этот процесс заключается в удалении пузырьков воздуха из стекломассы и в надлежащем перемешивании стекломассы (в целях сообщения ей полной гомогенности). С этой целью вязкость стекла должна быть уменьшена, что достигается повышением температуры, каковую желательно держать порядка 1450—1500°, а иногда и несколько выше. Во всяком случае, температура в зоне осветления должна быть выше, чем в зоне варки.

В третьей зоне—зоне студки—происходит остывание стекломассы в целях сообщения ей той вязкости, которая необходима для возможности выработки стекла (машинами или вручную). Понятно, что в этой зоне не требуется отопления, т. е. подвода тепла извне, так как стекломасса должна постепенно остывать до температуры выработки, зависящей от рода изделий, состава шихты и т. п.; обычно, она лежит в пределах 1100—1250°.

Можно ли в печах с общим бассейном создать необходимое оптимальное распределение температуры? Ответ на этот вопрос может быть только отрицательным.

В самом деле, в данном типе печей имеется *общий свод*, расположенный над всем бассейном, т. е. *общее пламенное пространство*. Если создать максимум температур в зоне осветления, то оттуда тепло будет в значительной мере передаваться излучением в расположенную рядом зону студки и, следовательно, студка стекла будет задерживаться. Поэтому нужно или значительно удлинить зону студки, т. е. увеличить размеры печи, или же сдвинуть зону осветления поближе к засыпчному карману, т. е. уменьшить отапливаемую часть ванной печи; при этом обычно также приходится устанавливать максимум температур уже не в зоне осветления, а поближе к сыпке, в зоне варки.

В результате указанных мероприятий, длина отапливаемой части бассейна составляет сравнительно небольшую часть всего бассейна. Так, наблюдение за работой целого ряда 30-метровых печей Гоббе для производства оконного стекла машинами Фурко с установленными 6, 7 и даже 8 парами горелок — показывает, что в нормальных эксплуатационных условиях, обычно, работают только первые 4 горелки; длина действительно отапливаемой части составляет при этом 12—14 метров (при общей длине бассейна в 30 м).

Замеры температур в этих печах показывают, что максимум лежит, обычно, между 2-й и 3-ей горелками, т. е., примерно, в конце зоны варки. Между тем, как указывалось выше, с точки зрения технологии варки стекла максимум температур желательно было бы держать в зоне осветления, т. е. подальше от засыпчного кармана; но в печи Гоббе этого сделать нельзя, так как при этом в сильной мере задержится студка стекла.

В силу указанных выше причин, т. е. сравнительно незначительного отношения отапливаемой части ко всему бассейну и невоз-

возможности создания оптимального распределения температур,—удельный съем стекломассы в печах с общим бассейном весьма низок; следовательно, удельный расход топлива довольно высок.

В новейших конструкциях печей с общим бассейном стремились устранить до некоторой степени зависимость температурного режима зоны студки от режима отапливаемой части бассейна путем установки так называемого „экрана“, т. е. пониженной части свода между отапливаемой и неотапливаемой частями бассейна (см. рис. 13).

Это мероприятие приносит, несомненно, некоторую пользу, но является все же недостаточно радикальным, так как свободное сечение под экраном весьма велико и количество излучаемого под ним тепла из варочного отделения в выработочное весьма значительно.

3. ТЕРМИЧЕСКИЕ ПОТОКИ СТЕКЛОМАССЫ И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССЕ ВАРКИ СТЕКЛА

Выше мы указывали, что в непрерывно действующей ванной печи стекломасса постоянно движется от загрузочного кармана к выработочному отделению. Поскольку это движение вызывается выработкой стекла, т. е. производственными моментами,—такие потоки называются „производственными“. Однако такая схема движения стекломассы, как отмечалось выше, является самым грубым упрощением. За последние 10 лет был произведен ряд чрезвычайно

интересных обследований движения стекломассы в ваннных печах, которые с неопровержимой ясностью показали, какое колоссальное значение для эффективности варки и для улучшения качества стекла имеют правильно организованные потоки стекломассы.

Оказывается, что, помимо производственного потока (т. е. направленного от загрузки к выработке и вызываемого непрерывной выработкой стекла), в печах имеют место и другие потоки стекломассы, значи-

тельно более мощные. Эти последние потоки имеют место и тогда, когда выработка стекла не производится.

Более детальное изучение вопроса показало, что *основной причиной этих потоков является разная температура стекломассы в различных местах печи. Поэтому эти потоки называются термическими.*

Разъясним вкратце причину и характер этих потоков.

Удельный вес жидкой стекломассы уменьшается с повышением температуры. Если представить себе (рис. 19), что в каком-нибудь месте А температура стекломассы является максимальной (т. е., что мы имеем здесь жидкость с меньшим удельным весом, чем в окружающих местах), то на основании закона физики о сообщаю-

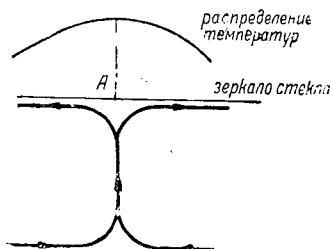


Рис. 19. Схема термических потоков стекломассы.

щихся сосудах — уровень стекла в точке *A* должен быть выше, чем в окружающих точках, так как в сообщающихся сосудах высоты слоев обратно пропорциональны удельным весам. С другой стороны, поверхность свободной жидкости стремится быть горизонтальной плоскостью, а так как в точке *A* имеется некоторое возвышение,¹ то стекломасса из этой точки должна растекаться по поверхности во все стороны, в направлении более низких температур.

Так как в слое под точкой *A* имеется все время более горячая стекломасса, чем в окружающих местах, то такие потоки должны наблюдаться непрерывно. В свою очередь, поскольку мы имеем непрерывное движение от максимума температур к периферии по поверхности стекла, то в нижних слоях мы должны иметь движение стекломассы в обратном направлении. Иными словами, *потоки стекла должны быть направлены по замкнутым линиям, причем по поверхности зеркала они направлены от максимума температур наружу, а внизу они должны идти от более холодных мест к более нагретым; в месте максимума температур потоки имеют восходящее направление.* Все это схематически показано на рис. 19.

О роли термических потоков можно судить хотя бы по тому, что скорость их превосходит в 10 раз скорость производственного потока. Были сделаны, например, замеры скоростей потоков на той же печи при одном и том же термическом режиме: в одном случае — когда производилась выработка стекла, а в другом случае — когда выработки не было. Оказалось, что направление потоков осталось неизменным и в скорости таковых не было найдено разницы. Это показывает, что *термические потоки играют значительно большую роль, чем производственные.*

Изучение потоков стекломассы началось только за последние 10 лет; в этой области предстоит еще колоссальная работа. Но на основании уже изученных явлений можно определенно утверждать, что *успешность варки стекла* (т. е. получение из шихты вполне годной для выработки стекломассы) *во многом зависит от нашего умения управлять термическими потоками стекла.*

Какие выводы можно сделать в отношении желательного направления потоков стекла ванной печи?

Во первых, нужно стремиться к тому, чтобы задерживать как состав, так и несваренную стекломассу в зоне варки (т. е. вблизи места загрузки) для того, чтобы они не попадали в зону освещения и не смешивались с уже сваренным стеклом. Поскольку так называемые производственные потоки имеют направление от загрузки к выработочному отделению, следует придать термическому потоку обратное направление для того, чтобы воспрепятствовать продвижению состава и несваренного стекла в указанном направлении. Иными словами, максимум температур следует располагать не у за сыпной стены, а на некотором расстоянии и, во всяком случае, не ближе того места, где варка стекла должна быть в основном закончена.

¹ Замерить его не представляется возможным, так как это возвышение порядка десятых долей миллиметра.

Во вторых, нужно стремиться к тому, чтобы сваренное, но еще не осветленное стекло задерживалось, по возможности, более долгое время в зоне самых высоких температур с тем, чтобы процесс очистки стекла был полностью закончен. Для этой цели необходимо не только создание максимальной температуры в зоне осветления (и ближе к ее концу), но и уменьшение падения температуры на 1 пог. м (так называемый *градиент* температуры) длины ванной печи. При этом, благодаря медленному падению температуры вдоль печи, — вызывающая потоки причина будет в значительной мере ослаблена, что приведет к „торможению“ потоков, т. е. к задержке стекломассы в зоне осветления.

В печах системы Гоббе для варки оконного стекла бельгийские практики пошли именно по этому пути; в результате, в этих печах мы имеем длинный неотопливаемый бассейн, столь характерный для печей с общим бассейном, предназначенных для оконного производства. Благодаря такому длинному бассейну, падение температуры от температуры осветления до температуры выработки, приходящееся на 1 погонный метр длины печи, — сравнительно невелико; это „тормозит“ потоки и способствует получению высококачественного стекла. Но это обстоятельство приводит к большим размерам печей и к небольшому удельному съему стекломассы.

4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО УСТРАНЕНИЮ ОСНОВНЫХ ДЕФЕКТОВ ПЕЧЕЙ С ОБЩИМ БАСЕЙНОМ

Для устранения основных дефектов ваннных печей с общим бассейном следует провести ряд мероприятий, которые сводятся к разделению печи на отдельные части как в пламенной зоне, так и в зоне стекломассы. Если разделить пламенное пространство на две части, т. е. устроить отдельные своды над отопливаемым бассейном (зона варки и осветления) и над неотопливаемым бассейном (зона студки и выработки), то при этом мы получим возможность создать в каждом из этих бассейнов оптимальный режим и, к тому же независимый от режима второго бассейна. Мы можем при этом создать максимум температур в зоне осветления, не нарушая студки стекла, т. е. поддерживать в последней зоне более низкие температуры.

Второе радикальное мероприятие может заключаться в *разделении печи в зоне стекломассы на отдельные части*. Это последнее мероприятие преследует цель не только овладения потоками стекломассы, но и правильного отбора стекломассы из одного бассейна в другой путем правильного гидростатического распределения сплавляемых масс по вертикальному сечению. Дело в том, что уже давно известен тот факт, что сваренное стекло тяжелее не сваренного (так как удельный вес стекломассы больше, чем компонентов шихты), а полностью осветленное — тяжелее неосветленного (в виду наличия в последнем пузырьков газов). Поэтому в каждой зоне стекломасса с законченными процессами варки (в зоне варки) и осветления (в зоне осветления) стремится опуститься вниз. И поэтому вполне целесообразно при делении бассейна на несколько

частей *отбирать* стекломассу из каждого отделения из нижней его части (подробнее об этом ниже). Целесообразность конструктивного разделения печи в уровне стекломассы вызывается тем обстоятельством, что неполностью сваренное стекло нельзя подавать в зону освещения, а недостаточно освещенное — в зону стужки, так как в противном случае качество стекла, несомненно, ухудшится.

Идеальным решением вопроса является деление зоны стекломассы на три части (соответственно зонам варки, освещения и стужки) с тем, чтобы только вполне сваренная стекломасса могла попадать в зону освещения и только вполне осветленная — в зону стужки.

Несмотря на указанную желательность деления бассейна на три части, — в настоящее время, обычно, делят его только на две части. Происходит это по соображениям, которые будут приведены ниже, при описании различных систем печей с раздельными бассейнами.

5. ГЛАВНЫЕ СПОСОБЫ КОНСТРУКТИВНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ БАССЕЙНА

На рис. 9 даны три главных типа ванн печей с раздельным бассейном, получивших широкое распространение.

Первый тип — это печь *Малышева* (рис. 9-б), где наиболее полно произведено деление; в зоне стекломассы оба бассейна общаются расположенным у дна небольшим сечения протоком; пламенное же пространство полностью разделено путем устройства отдельных сводов над каждым бассейном. Этот тип печей стал применяться в последних годах прошлого столетия.

Второй тип — печь с протоком *американского типа* (рис. 9-в) — стал находить применение около 15 лет тому назад, сперва в США, затем в Западной Европе и у нас. Принципиальное отличие ее от печи *Малышева* (не говоря о деталях конструкции) заключается в том, что здесь свод над обоими бассейнами общий и пламенное пространство можно частично или полностью разделить с помощью специальной делительной перегородки, устанавливаемой над перешейком.

Третий тип — ванная печь с пережимом — разработанная автором и впервые испытанная на Константиновском стекольном заводе в конце 1932 года; она получила широкое распространение у нас в области механизированного производства оконного стекла. Характерным отличием этой конструкции является наличие пережима (сужения) бассейна, с установкой в нем заградительной лодки; оба бассейна перекрыты отдельными сводами.

Ниже мы дадим описание наиболее типовых печей с раздельными бассейнами. Сейчас же мы считаем целесообразным несколько остановиться на описании первой, самой старой печи с раздельными бассейнами, а именно печи, спроектированной и построенной *Сименсом* около 70 лет тому назад.

6. ВАННАЯ ПЕЧЬ СИМЕНСА С РАЗДЕЛЬНЫМИ БАССЕЙНАМИ

Уместно подчеркнуть то обстоятельство, что первая (предложенная и осуществленная Сименсом) ванная печь непрерывного действия была печью с конструктивным разделением бассейна на три зоны (варки, осветления и студки). На рис. 20 представлен продольный разрез по оси бассейна этой печи. Шихта загружается через окно *a* в отделение *A*, которое предназначено для варки стекла. Варочный бассейн *A* отделен от бассейна осветления *B* разделительной стеной, идущей во всю ширину бассейна и снабженной воздушным охлаждением; последнее имеет побудительную тягу в виде трубы (указанной на рисунке). Сваренная стекломасса поступает из бассейна *A* в бассейн *B* по пути *вв*, сначала под разделительной стеной, а затем тонкой струей над порогом

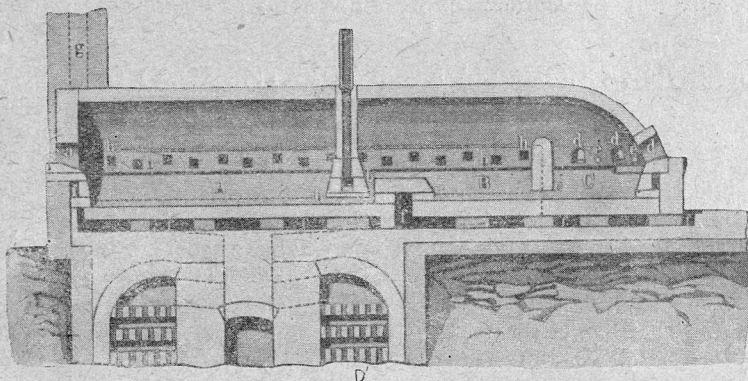


Рис. 20. Продольный разрез печи Сименса с конструктивным разделением бассейна на три части.

причем, подвергаясь нагреву, она должна осветляться. Бассейн *B*, в котором заканчивается процесс осветления стекла, равно как и варочный бассейн *A*,—отапливаются целым рядом небольших горелок *h*, которые расположены в продольных стенах печи (направление пламени поперечное). Из бассейна *B* осветленная стекломасса через канал *с*, расположенный под разделительным мостом, поступает в бассейн *C*, предназначенный для студки и выработки стекла.

Если проанализировать печь Сименса, то в ней мы находим основные принципы, положенные в основу общепринятых в настоящее время печей с конструктивным разделением бассейна на отдельные зоны. Более того, эта проблема решена Сименсом более радикально, чем мы ее обычно решаем в настоящее время: в печи Сименса бассейн разделен на три отдельные части, а не на две, как это обычно сейчас применяется; причина этого изложена ниже.

Идея Сименса значительно опередила как технику производства ответственного огнеупорного припаса, так и методы охлаждения

такового в целях удлинения срока его службы. Слабым местом описанной печи явились разделительные стенки и порог, которые быстро разъедались шихтой и стекломассой. Это обстоятельство принудило Сименса внести в 1877 году изменения в устройство его печи, выразившиеся, главным образом, в том, что перегородки и порог были выкинуты из конструкции. При этом получился один общий бассейн, причем отдельные зоны стеклообразования (т. е. варки, осветления и студки) не были конструктивно отделены друг от друга.

Эти печи с общим бассейном (ранее нами описанные), несмотря на то, что они, несомненно, представляют шаг назад по сравнению с первыми предложениями Сименса, — получили широчайшее распространение в течение последних десятилетий прошлого столетия. Их успех объяснялся как их преимуществом по сравнению с горшковыми печами, которым они пришли на смену, так и отсутствием перегородок, внутренних разделительных стен, порогов, т. е. таких элементов, коррозии коих не могла противодействовать техника того времени.

7. ПЕЧЬ МАЛЫШЕВА

Идея деления ванной печи на отдельные бассейны была все же настолько заманчивой, что она продолжала занимать умы стеклянщиков. Первым, кому удалось в широком масштабе внедрить в промышленность печи с отдельными бассейнами, был русский конструктор Малышев. Им была предложена печь из двух отдельных бассейнов (варочного и выработочного), соединенных между собою протоком; на это предложение им были заявлены авторские права в 1897 году и был получен русский патент.

Главнейшим отличием системы Малышева является полное разделение бассейна как в зоне стекломассы, так и в газовой. На рис. 21 и 21-а показана эта печь в плане и продольном разрезе. Она состоит из варочного бассейна (где происходит варка и осветление стекла) и выработочного (предназначенного для студки и выработки). Каждый из этих бассейнов перекрыт отдельным сводом, так что газовое пространство совершенно разобщено. Каждый бассейн отапливается одной парой горелок и снабжен своими самостоятельными регенераторами. В зоне стекломассы оба бассейна соединены узким протоком, расположенным над самым дном печи (следует указать, что в патенте, который был выдан Малышеву, проток показан углубленным ниже уровня дна печи).

По этому типу в последние годы прошлого и в начале этого столетия было построено в России несколько десятков печей; некоторые из них работают и в настоящее время.

Идея Малышева заключается в правильном гидростатическом распределении сплавляемых масс по вертикальному сечению бассейна; при этой конструкции обеспечивается поступление в выработочный бассейн хорошо проваренной и осветленной стекломассы.

Режим обоих бассейнов совершенно независим друг от друга, что дает возможность интенсифицировать варку стекла в варочном

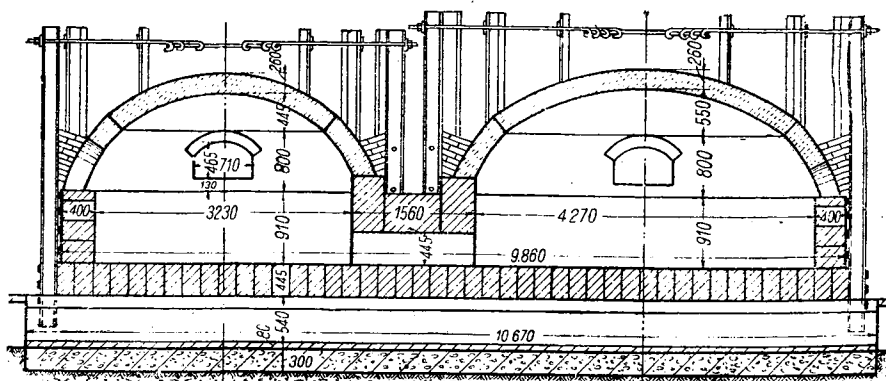


Рис. 21. Печь Малышева (план).

бассейне и, одновременно, поддерживать в выработочном бассейне более низкую температуру. Показателем независимости термического режима обоих бассейнов может служить следующий факт: на некоторых заводах был введен порядок, при котором стekловар управлял лишь режимом варочного бассейна; режим же выработочного бассейна был целиком предоставлен на усмотрение и управление работающих мастеров (выдувальщиков).

Большинство печей Малышева не вышло из стадии первоначального кустарного выполнения (дно на шанцах, стены и свод не подвесные и т. д.). Понятно, что в таком виде они не могли получить более широкого распространения. Самым слабым местом печей Малышева является проток (шейка), конструкция которого не была достаточно хорошо разработана. Проток сильно разъедался стекломассой; случаи вытекания из него стекла были весьма нередки; во время же остановок — стекло часто в нем замерзало. Недостатком этой печи является также и то, что вследствие полного разделения в газовой зоне, выработочный бассейн требует специального отопления; соответствующие горелки, регенераторы и переводные клапаны усложняют конструкцию и удорожают строительство печи; к тому же горелки выработочного отделения затрудняют размещение выработочных окон, часть которых приходится помещать между перешейком и горелками выработочного бассейна; работа у этих окон, понятно, весьма тяжела из-за тесноты места и сильной жары.

Не удивительно, что на некоторых заводах, где в свое время были выстроены печи Малышева, они в дальнейшем были вытеснены печами системы Гоббе, которые к тому времени были значительно удачнее разработаны в конструктивном отношении; главная заслуга в этой области принадлежала бельгийским стекольщикам.

В последнее время за границей было выстроено несколько больших печей, которые, сохраняя принцип Малышева (т. е. идею полного разделения обоих бассейнов как в зоне стекломассы, так и в газовой), все же были значительно изменены и усовершенствованы

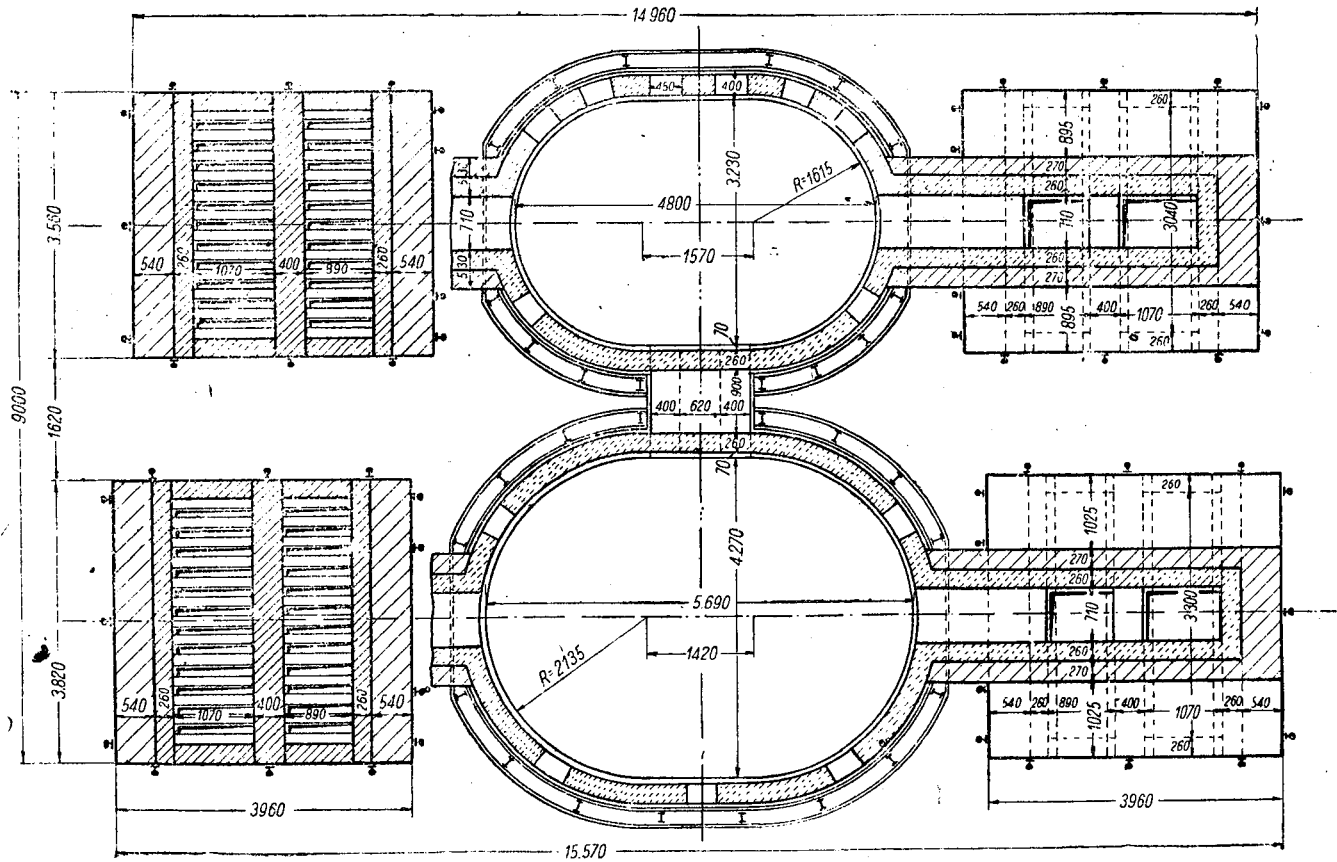


Рис. 21-с. Печь Малышева (продольный разрез).

ваны как в отношении конструктивных деталей, так и в отношении расположения горелок и направления пламени. На рис. 22 приводим для примера схему двух таких печей, а в нижеприводимой таблице — основные показатели их работы (по Дралле):

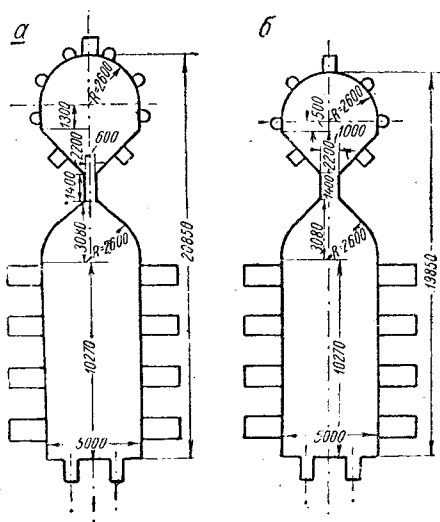


Рис. 22. Схема двух современных печей системы Малышева.

	Печь по рис. 22-а	Печь по рис. 22-б
Площадь варочного бассейна	63,2 м ²	64,0 м ²
„ выработочного бассейна	25,9 „	19,4 „
Глубина бассейна	1	1
Суточная производительность	75 — 85 т	70 — 80 т
Удельный съем стекла	1,19 — 1,35 т м ² сутки	1,09 — 1,25 т м ² сутки
Установлено	6 фидерных машин	6 фидерных машин
Род стекла	Зеленое стекло с 16% Na ₂ O	Неизвестен

Все печи типа Малышева обязательно требуют отопления выработочного бассейна специальными горелками; помимо усложнения конструкции, это вызывает в некоторых случаях также опасения относительно нежелательного влияния пламени в выработочном бассейне при машинной выработке стекла и, в частности, в смысле недостаточной устойчивости и неизменности температур при непосредственном отоплении.

Резюмируя все сказанное о печах Малышева, можно утверждать, что они являлись первой конструкцией, которая, несмотря на свои недостатки, сумела широко внедриться в промышленность.

8. ПЕЧИ С ПРОТОКОМ АМЕРИКАНСКОЙ КОНСТРУКЦИИ (СИМПЛЕКСА)

Полное торжество идеи разделения бассейна связано с конструкцией американских печей с протоком. На рис. 23 даны план, продольный и поперечный разрезы одной из первых конструкций такой печи, которая установлена на Сергиевском стекольном заводе по проекту американской проектной организации Симплекса. На печи установлено пять машин Линча для механизированного производства бутылок. Бассейн состоит из двух отделений, сообщающихся в зоне стекломассы через расположенный внизу у дна проток небольшого сечения. В отличие от печей Малышева, оба бассейна перекрыты не отдельными, а общим сводом; газовая среда обоих бассейнов может разделяться решетчатой перегородкой, выкладываемой на промежуточных стенах бассейна (перешейка); увеличивая или уменьшая эту заградительную решетку (что можно делать и во время работы печи), мы имеем возможность регулировать температурный режим выработочного бассейна.

Конструктивное оформление всей печи, а также и отдельных ее деталей является вполне современным и в этом отношении выгодно отличается от кустарного выполнения прежних печей Малышева. Бассейн расположен на отдельных кирпичных столбах; под ним имеется просторное свободное помещение (подвал), что благоприятствует хорошему естественному охлаждению дна. Конструкция дна и стен бассейна допускает удобное и хорошее их охлаждение. Динасовые стены и главный свод сделаны подвесными, что позволяет производить как горячие, так и холодные ремонты, не трогая динасовой кладки печи. Горелки врезаны в свод с той целью, чтобы приблизить последний к зеркалу стекла.

Особого внимания заслуживает конструкция протока, которая допускает как воздушное, так и водяное охлаждение, что, понятно, удлиняет срок службы такового. На рис. 24 показана раскладка брусез протока в аксонометрической проекции, а на рис. 25 даны различные разрезы этого же места. Как видно, проток выкладывается из отдельных больших фасонных брусез (которые в сложном виде, но без переднего бруса показаны на рис. 24). Такая конструкция допускает хорошее воздушное и водяное охлаждение протока. Обычно, вначале ограничиваются воздушным охлаждением, направляя воздух от вентилятора через канал, идущий поперек протока. В дальнейшем, по мере износа протока (сильнее всего страдают перекрывные брусеза), часто переходят к водяному охлаждению.

Печи описанной конструкции позволяют интенсифицировать плавку в варочном бассейне, поддерживая одновременно, необходимый режим в выработочном. Достигается это путем установки разделительной перегородки в пламенной зоне над перешейком. Изменяя высоту этой перегородки или же кладя ее с большими или меньшими просветами, мы изменяем величину свободного сечения, через которое теплота передается выработочному отделению от пламенного пространства варочного бассейна. Как правило, в этих печах всегда

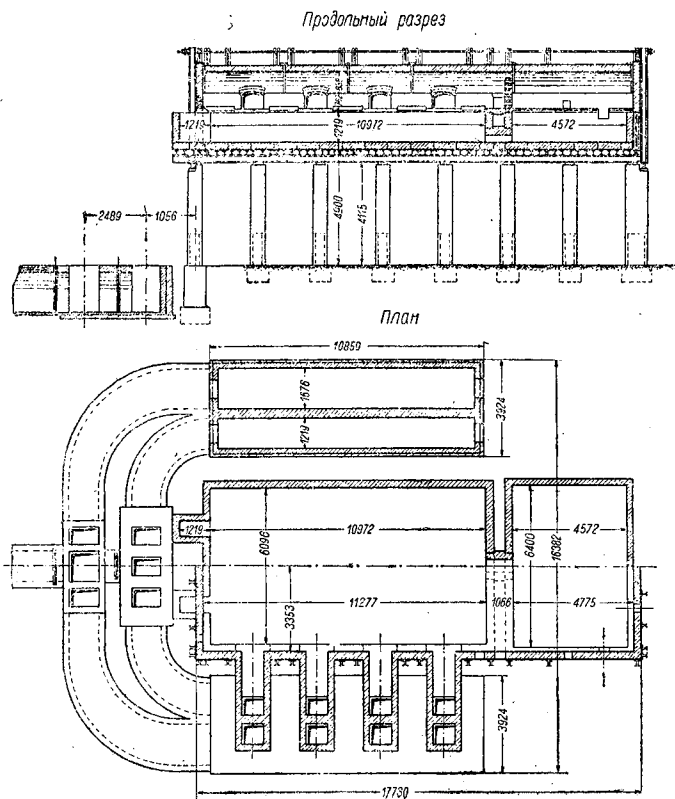
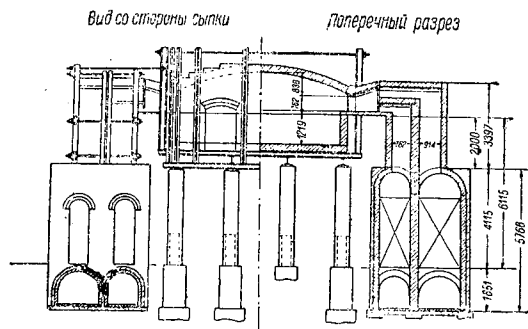


Рис. 23. Печь с протоком американской конструкции с прямоугольным очертанием бассейнов.

имеется в газовой зоне сообщение между бассейнами. В практике, при постройке таких печей определяют необходимую высоту заградительной перегородки на основании соответствующих расчетов или же на основании практических данных аналогичных печей. После пуска печи в эксплуатацию, имеется возможность через боковые окна снять часть решетчатой или ее доложить с тем, чтобы создать в выработочном бассейне оптимальную температуру.

Благодаря наличию некоторого сообщения между варочным и выработочным бассейнами (к тому же регулируемого) — отсутствует необходимость установки в выработочном бассейне специальных горелок, что нужно делать в печах Малышева. Эти горелки сильно стесняют фронт выработки в печах Малышева и приводят к необходимости увеличивать в них размеры выработочного бассейна. Отсутствие этих горелок в выработочном бассейне и возможность регулировать температуру выработочного бассейна теми мероприятиями, о которых говорилось выше, представляют одно из серьезных преимуществ американских печей по сравнению с печами Малышева.

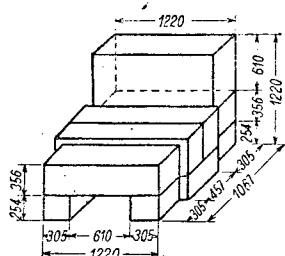


Рис. 24. Раскладка американского протока.

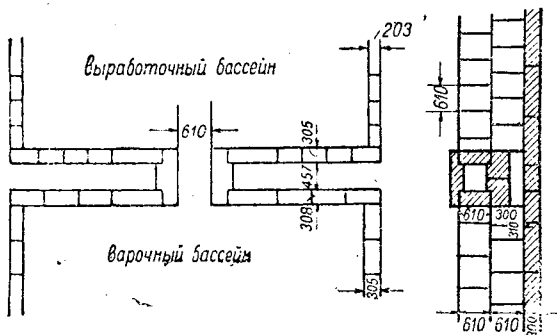


Рис. 25. Разрезы американского протока.

Благодаря наличию протока (т. е. возможности правильно использовать гидростатическое распределение сплавляемых масс по вертикали) и наличию разделительной перегородки регулируемой высоты, — печи американского типа позволяют интенсифицировать плавку в варочном бассейне, поддерживая одновременно необходимый режим в выработочном. Благодаря этому, удельная производительность этих печей весьма высока, при сравнительно небольшом расходе топлива на единицу продукции. Показатели по удельному съему обычно в $1\frac{1}{2}$ — 2 раза выше, чем в печах с общим бассейном (а иногда и еще больше); подробнее об этом будет сказано ниже.

Важным преимуществом этих печей является также и то обстоятельство, что кратковременные изменения термического режима варочного бассейна (в том числе и неизбежные колебания температур при регенеративном отоплении) почти не сказываются на режиме выработочного бассейна. Это является особенно важным при машинной выработке стекла, которая предъявляет очень высокие требования к стабильности режима печи.

Если к тому же учесть, что внедрение машин и различного рода автоматов позволило значительно увеличить выработку изделий (по сравнению с ручным производством) на единицу периметра выработочного бассейна, то становится вполне понятным, что введение машинного производства стимулировало применение печей с интенсифицированной плавкой, т. е. печей описанного типа. Развитие и внедрение последних неразрывно связано с процессом механизации выработки всех видов бутылочного и сортового стекла. Все эти обстоятельства привели к тому, что данный тип печей повсюду завоевал себе полное признание.

Описанная выше и показанная на рис. 23 американская печь с протоком и с прямоугольными бассейнами имеет некоторые недостатки и является до известной степени устаревшей. Основным недостатком является недоступность протока, что вызвало в дальнейшем устройство печей со скошенными в перешейке углами. К тому же можно предполагать, что при этом достигается также более целесообразное движение потоков стекломассы в смысле уменьшения мертвых углов (т. е. застойных мест). В силу этих соображений в настоящее время часто скашивают углы и закругляют очертания выработочного бассейна. Печь этого типа для питания 4 фидерных машин для выработки сортового выдувного стекла высокого качества показана на рис. 26. Помимо отмеченных выше особенностей, эта печь отличается меньшей глубиной бассейна (1 м) и наличием так называемого „заглубленного протока“, т. е. расположенного ниже уровня дна. Введение последнего объясняется следующими соображениями: отбор стекла из нижних слоев варочного бассейна вызван желанием отбирать то стекло, в котором закончены процессы варки и осветления. Следовательно, чем ниже производится этот отбор, тем больше оснований рассчитывать на получение хорошего качества стекломассы; этим оправдывается применение углубленного протока. К тому же, как показывает характер разбедания обычных протоков (и, в частности, усиленная коррозия перекрывных брусьев), стекло в протоке идет главным образом по верху его сечения; таким образом нижняя часть стекломассы у дна лишь в сравнительно слабой степени принимает участие в активных процессах; применение же углубленного протока является побудителем к активизации стекла по всей глубине бассейна.

Высказывались опасения насчет возможности застывания стекла в углубленном протоке. Но американская практика работы таких печей не подтвердила этих опасений. Вообще в печах с протоком опасным моментом является то время, когда по каким бы то ни было причинам прекращается выработка стекла. Вследствие прекращения движения горячего стекла через проток, — при этом вообще

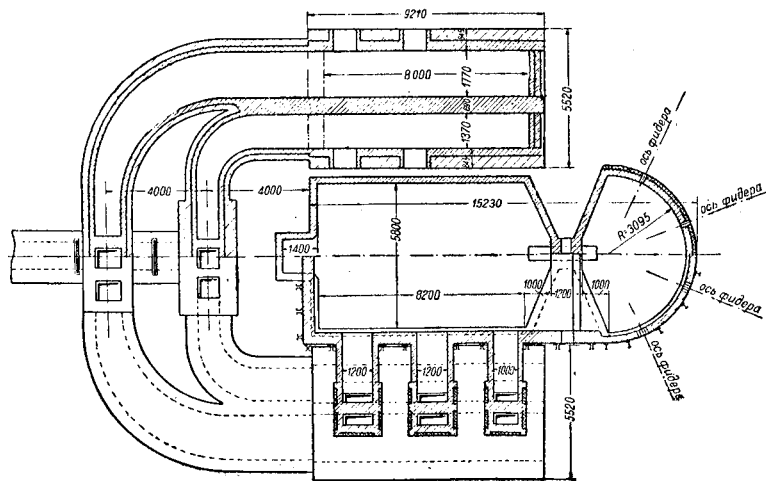
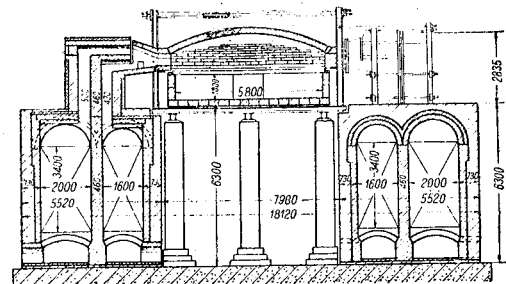
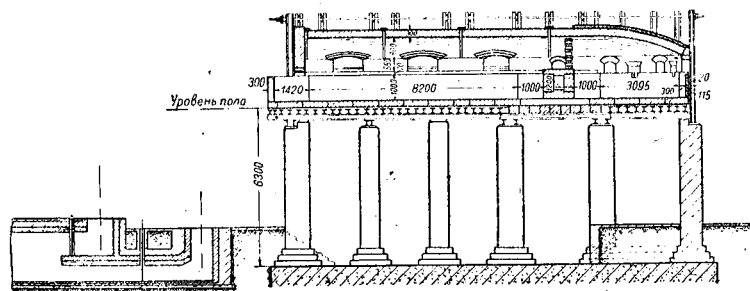


Рис. 26. Печь с заглубленным протоком и скошенными углами перешейка.

появляется опасность застывания в нем стекломассы. Это обстоятельство необходимо иметь в виду при всех печах с протоком, а в особенности — при углубленном протоке. Опасность остывания стекла сильнее при выработке темного стекла, так как при прекращении работы машин (даже при усиленном отоплении печи) труднее поддерживать необходимую температуру в нижних слоях стекла вследствие его меньшей теплопроводности.

Описанные выше две печи с протоком американского типа являются печами с поперечным направлением пламени. Но в таких печах можно применять и подковообразное направление пламени, являющееся

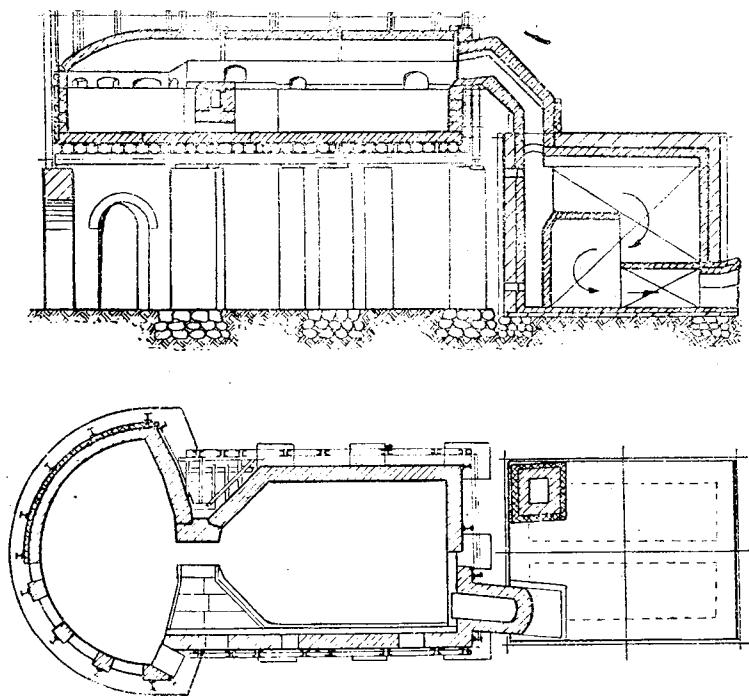


Рис. 27. Печь с протоком для ручного производства электроколяб (отопление мазутом).

вполне целесообразным при небольших размерах печей, отапливаемых как нефтью, так и газом. На рис. 27 показаны разрезы ванной печи с нефтяным отоплением, построенной на целом ряде наших заводов для ручного производства электроколяб.

Бассейн состоит из двух отделений (варочного и выработочного), соединенных протоком. Перешеек сделан со скошенными углами. Выработочный бассейн значительно шире варочного, что вызвано необходимостью увеличить фронт работы, поскольку из печи вырабатывается весьма легковесная продукция (электроколябы). Над перешейком предусмотрена невысокая и очень редкая разделительная перегородка (на чертеже не показанная); это необходимо для того,

чтобы передавалось больше тепла в выработочный бассейн; вызывается это большими потерями тепла в последнем (из-за его сравнительно больших размеров) и наличия большого количества окон, через которые теряется большое количество тепла. Отопление производится мазутом с помощью форсунок, установленных в горелки, расположенные у торцевой стены. Направление пламени подково-

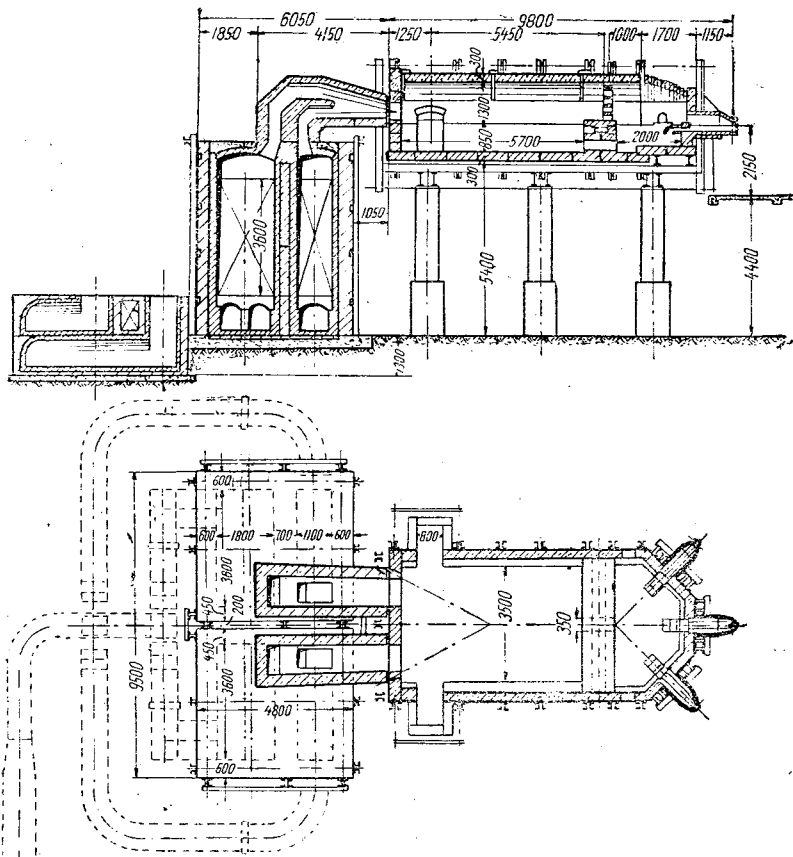


Рис. 28. Печь с протоком с подковообразным пламенем и газовым отоплением.

образное. Загрузка шихты производится совком, в специальное окно в торцевой стене печи между обеими горелками. Печь снабжена парой воздушных регенераторов перед торцевой стеной.

Основные размеры и показатели работы печи следующие: площадь варочного бассейна — $20,7 \text{ м}^2$, площадь выработочного — $15,5 \text{ м}^2$ (или 75% от варочной части бассейна), общая площадь зеркала — $36,2 \text{ м}^2$, глубина — $1,2 \text{ м}$, суточная производительность проектная — 8 т , суточная производительность действительная — около 11 т стекломассы; удельный съем стекла на 1 м^2 варочного бассейна — около 530 кг/м^2 ; суточный расход топлива — около $4,5 \text{ т}$

мазута, а удельный расход топлива на килограмм стекломассы — около 0,4 кг мазута. Следует указать, что небольшой удельный съём стекла объясняется не только высокими качественными требованиями, предъявленными к стеклу, но и невозможностью выработать большее количество стекла в виду легковесности изделий.

На рис. 28 показаны план и продольный разрез ванной печи с протоком, с подковообразным направлением пламени (установлена во Франции). Печь отапливается генераторным газом и снабжена двумя парами регенераторов, расположенных перпендикулярно к оси ванной печи. Предусмотрена также возможность работы печи на жидком топливе, для чего по обеим сторонам горелок имеются отверстия (см. план печи) для установки форсунок. Шихта подается через два загрузочных кармана, расположенных в боковых стенах печи. На рисунке показаны также газовые, воздушные и дымовые борона.

Основные размеры и показатели работы печи следующие: площадь варочного бассейна — 20 м², площадь выработочного — 5,5 м², общая площадь зеркала — 26,9 м²; глубина бассейна — 0,85 м, суточная производительность печи — 20 т стекломассы, удельный съём — 1 т на 1 м² варочного бассейна в сутки, удельный расход топлива на килограмм стекломассы равен 0,47 кг каменного угля теплотворной способности 7 000 калорий/кг. На печи установлено 3 фидера Миллера с машинами Линча для аптекарской посуды. Следует обратить внимание на малые размеры выработочного бассейна по отношению к варочному.

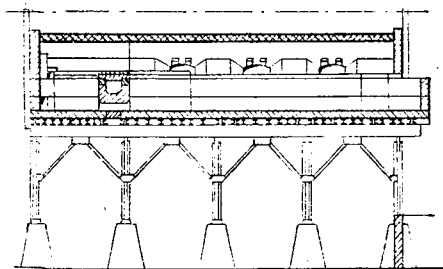
Нужно указать, что некоторые наши конструкторы относятся самым отрицательным образом к печам с подковообразным пламенем. Однако ни наша, ни заграничная практика не подтверждают этого отрицательного отношения и даже, наоборот, указывают на целесообразность применения подковообразного направления пламени при небольших размерах печей. Подтверждением этого могут служить не только приведенные выше примеры, но также и тот факт, что всемирно известная американская проектная фирма Амслер-Мортон применяет для своих рекуперативных печей подковообразное направление пламени; эти печи получили за границей широкое распространение благодаря своим особо высоким показателям.

Основное, что следует иметь в виду при работе на печах с подковообразным пламенем, это необходимость создания максимума температур не в начале варочного бассейна, а у его конца, т. е. ближе к протоку; это вызывается теми соображениями, которые были приведены выше. Добиться этого можно путем установки горелок соответственной конструкции (т. е. таких, в которых смешивание газов не происходит слишком быстро).

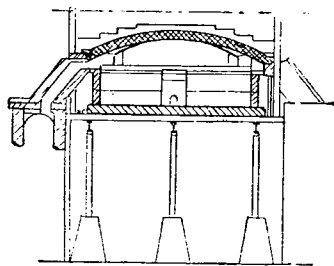
Выше указывалось, что в последнее время стремятся срезывать все прямые углы в бассейне и закруглять все очертания — в целях устранения мертвых углов. Самым ярким и последовательным типом этих печей является так называемая „торпедообразная“ печь, разработанная известным английским конструктором Моршедом; основ-

ные ее разрезы показаны на рис. 29, а именно: продольный разрез (верхний слева), поперечный разрез (верхний справа), план (верхняя половина нижнего рисунка) и вид сверху (нижняя половина нижнего рисунка).

Печь эта регенеративная с поперечным направлением пламени и с нефтяным отоплением. На рисунках регенераторы и газоходы не показаны, так как они не представляют особого интереса. Регенераторы только воздушные, с тремя горелками каждый. Каждая горелка снабжена двумя форсунками, установленными в своде над



разрез AA



разрез BB

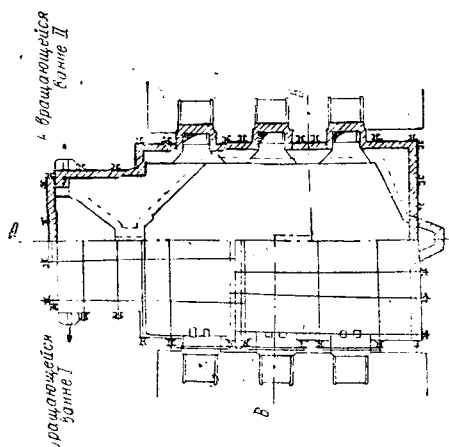


Рис. 29. Торпедообразная печь.

влетом. Стены перешейка очень полого срезаны. Торцевая стена также срезана; сыпка имеет срезанные углы. Рафинажный бассейн очень небольшой и снабжен с обеих сторон протоками, через которые стекло поступает во вращающиеся ванны, служащие для питания вакуумных машин Овенса для выработки бутылочного стекла.

Очертания рафинажного бассейна своеобразны, но весьма рациональны в виду установки только двух машин. Протоки стекломассы от протока идут в обе стороны по направлению к машинам.

Площадь варочного бассейна равна 40 м^2 ; максимальная производительность этой печи — 50 тонн сваренной стекломассы в сутки, что соответствует удельному съему 1250 кг/м^2 в сутки. Расход

нефти составляет 12 тонн в сутки, что соответствует 0,34 кг условного топлива (т. е. теплотворной способности 7000 калорий/кг). Максимальная производительность печи не всегда полностью используется и часто, — в зависимости от ассортимента вырабатываемых изделий, — машины требуют меньше стекла (вплоть до 30 тонн в сутки); при этом суточный расход нефти — 10 тонн.

До известной степени аналогичная печь нашей конструкции для двух машин показана на рис. 29-а.

9. ДРУГИЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ БАССЕЙНА

Предложенный ряд других способов разделения бассейна отличается в большинстве случаев применением охлаждения с помощью труб с циркулирующей в них водой для удлинения срока службы разделительной стенки или для удержания ее на месте; в других предложениях роль разделительной стенки играют сами эти трубы. Остановимся на двух предложениях.

На рис. 30 показаны продольный вертикальный разрез, горизонтальный и вертикальный поперечный разрезы ванной стекловаренной печи системы Грум-Гржимайло.¹

Бассейн печи делится перегородкой *A* на выработочное отделение *D*, представляющее собою часть кольца, и на варочное *E*; оба отделения сообщаются между собою протоками *B*, расположенными на некоторой глубине от уровня стекла и служащими для пропускания проваренной стекломассы из варочного отделения в выработочное.

Стенка *A* выложена из огнеупорных шамотных брусьев с пропущенными в их толще трубками *K*, с циркулирующей по ним водой, что служит для предупреждения разъедания брусьев, а также для их взаимной увязки.

Поставленная на стенке *A* сложенная из кирпича насухо (т. е. без раствора) решетчатая перегородка *C* разделяет газопыльные пространства выработочного *B* и варочного *E* отделений и способствует разделению их на камеру высокой температуры (варочную) и камеру низкой температуры (выработочную).

Закладывая отверстия перегородки *C* или увеличивая ее высоту *H*, можно понизить температуру выработочного отделения до тре-

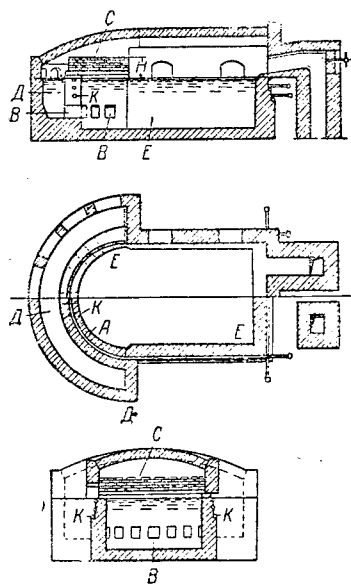


Рис. 30. Печь с разделительной стенкой с водяным охлаждением системы Грум-Гржимайло.

¹ Советский патент № 19310.

буемой по условиям набора стекла, при любой температуре варочного отделения *E*; роль решетчатой перегородки та же, что и в американских печах с протоком.

По мнению автора конструкции, деление стенок цилиндрической формы дает возможность получить выгодное соотношение размеров варочного и выработочного отделений при большой периферии последнего, а также компактность всей печи в целом, обусловленную отсутствием неиспользованных пространств.

У нас установлены две ванны печи этого типа: на одной вырабатывается мелкая парфюмерная посуда, а на другой — белое выдувное и прессовое стекло для технических целей (простейшая химическая посуда, аккумуляторные банки и т. п.)

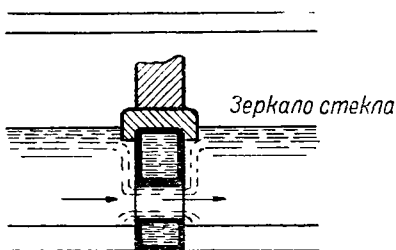


Рис. 31. Разделение печи помощью стальных труб с циркулирующей водой.

Заслуживает внимание еще одна конструкция, где принцип водяного охлаждения разделительной стенки доведен до полного завершения. Существо данного предложения (рис. 31), опубликованного несколько лет тому назад за границей, заключается в том, что роль разделительной стенки играет стальная труба, охлаждаемая циркулирующей в ней водой. Автор данного предложения считает, что при условии постоянной циркуляции воды в трубе, последняя обрастет слоем пристывшего к ней стекла (на рис. показано пунктиром), что предупредит разведания и разрушения трубы. К тому же, благодаря отсутствию огнеупорного припаса или других подверженных коррозии тел, избегается опасность попадания посторонних примесей в стекломассу. Это предложение, несмотря на всю его простоту и заманчивость, не получило широкого распространения по некоторым причинам, которые будут приведены ниже.

10. ОСНОВНОЕ ОТЛИЧИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПЕЧЕЙ С РАЗДЕЛЬНЫМИ БАССЕЙНАМИ ОТ ПЕЧИ СИМЕНСА

Все применяемые в настоящее время печи с отдельными бассейнами имеют одно существенное отличие от первоначальной идеи Сименса. Последний разделял ванную печь на три части, соответственно процессам варки, осветления и студки стекла; во всех же позднейших печах бассейн разделен на две части — отапливаемую и неотапливаемую. Первая соответствует зонам варки и осветления, вторая — зоне студки.

С точки зрения принципиальной, идея Сименса (т. е. деление бассейна на три части) является более правильной. При этом получается идеальное решение вопроса, а именно: только вполне сваренное стекло попадает в зону осветления и только вполне осветленное —

в зону студки. Если же процессы варки и осветления происходят в одном общем бассейне, то не исключена возможность попадания несваренной стекломассы в зону осветления, вследствие чего последний процесс сильно затягивается; результатом этого явится или уменьшение производительности печи или получение не вполне доброкачественного стекла.

Иными словами, при делении ванной печи на три бассейна мы имеем все основания рассчитывать на улучшение количественных и качественных показателей работы печи по сравнению с печью общепринятой ныне конструкции. Это мероприятие должно дать, примерно, такой эффект, как в свое время переход от печей с общим бассейном к печам американской конструкции с отдельными бассейнами.

Почему же мы не строим печей с разделением бассейна на три части? Объясняется это тем, что в нашем распоряжении нет таких огнеупорных материалов, которые не подвергались бы сильной коррозии в тех условиях, в которых находится стекломасса между зоной варки и осветления, т. е. в условиях высокой температуры порядка 1400—1500° расплавленной стекломассы и наличия свободных щелочей шихты. Единственным реальным способом борьбы в этих условиях с коррозией является в настоящее время охлаждение разделительной стенки. Но такое решение вопроса является в данном случае нецелесообразным, так как температура стекломассы должна быть в этом месте весьма высокой для надлежащего осветления (выше мы уже указывали, что температура стекломассы при осветлении выше, чем при варке). Введение же в этом месте охлаждаемой разделительной стенки привело бы к отбору от стекла значительного количества тепла и понижению его температуры; в результате процесс осветления затянулся бы надолго, что привело бы не к увеличению производительности печи, а к ухудшению ее работы.

Иными словами, *вопрос о разделении зоны варки от зоны осветления, т. е. деление ванной печи на три отдельных части, упирается в настоящее время в проблему изготовления огнеупорного припаса, способного противостоять коррозии, при соответствующих тяжелых условиях и, притом, без охлаждения.*

11. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПЕЧЕЙ С ПРОТОКОМ

Главнейшим преимуществом этих печей по сравнению с печами с общим бассейном—является весьма значительное увеличение удельного съема стекла (т. е. количества стекломассы, свариваемой на единицу площади зеркала в сутки); в результате этого получается значительное уменьшение удельного расхода топлива.

Вторым серьезным преимуществом является почти полная независимость режима выработочного бассейна от режима варочного отделения, что особенно важно при механизированном производстве стекла.

Третьим преимуществом является улучшение качественных показателей благодаря правильному использованию законов гидростатики в зоне стекломассы и возможности достигнуть оптимального распределения температур.

Наконец, благодаря сильному охлаждению стекла в протоке, можно значительно уменьшить размеры выработочного бассейна, правда, в тех пределах, которые допускаются необходимым фронтом для выработки (машинной или ручной).

Последнее обстоятельство — охлаждение стекломассы в протоке — является в некоторой мере достоинством этих печей. Но в то же время в некоторых случаях это является и их серьезным недостатком. Охлаждение стекла в протоке — весьма значительное, так как для предупреждения сильного и быстрого разведения стенок (и, особенно, перекрывной плиты протока) их приходится очень сильно охлаждать. При этом стекломасса, идущая по периферии протока (т. е. вдоль стенок) охлаждается значительно сильнее, чем струи центрального потока. Вследствие плохой теплопроводности стекла разница температур в соседних слоях является довольно значительной. Все это приводит к тому, что в выработочное отделение попадает термически неомогенное (т. е. термически неоднородное) стекло; в свою очередь, это может вызвать появление пороков в вырабатываемых изделиях, причем эти дефекты должны тем сильнее сказываться, чем интенсивнее производится охлаждение стекла.

Из всех вышеописанных печей наиболее интенсивное охлаждение имеет место при устройстве деления с помощью стальной трубы, расположенной в зоне стекломассы и охлаждаемой циркулирующей водой (рис. 31). Неудача данного предложения объясняется, несомненно, тем, что в результате весьма интенсивного охлаждения появляется резко выраженная термическая неомогенность, которая приводит к ухудшению качества стекла.

В обычно применяемых печах с протоком охлаждение стекломассы менее интенсивно; к тому же размеры выработочного бассейна обычно больше, чем это требуется для процесса студки стекла, так что там может иметь место некоторое частичное выравнивание температур в стекломассе. Наконец, при выработке небольших изделий вручную или прессовыми и выдувными машинами, которые набирают стекло в небольшом количестве из небольшого участка, — разница в температурах отдельных кусков набранной стекломассы должна быть настолько незначительной, что обычно это не отражается на качестве выпускаемых изделий. Поэтому эти печи с протоком пользуются вполне заслуженным успехом при выработке бутылочного, сортового, электроколбного и т. п. стекла.

Иначе обстоит дело при производстве крупных изделий и, в особенности, оконного и зеркального стекла. Целый ряд практических данных подтверждает, что печи с охлаждаемым протоком непригодны для механизированной выработки оконного и зеркального стекла; известны неоднократные и, притом, неудачные попытки применения этих печей в данной области.

Причина этих неудач заключается в наличии термической неомогенности стекломассы, являющейся следствием, прежде

всего,] описанного выше неравномерного охлаждения стекла в протоке.

Другой причиной этих неудач является наличие „блуждающего“ выхода горячих потоков из протока. Этот вопрос подвергался изучению на ванной печи с протоком для выработки стекла по методу Фурко. Целью обследования, произведенного Государственным институтом стекла, являлось решение вопроса о пригодности печи с протоком для выработки стекла методом Фурко, а именно: может ли данная конструкция обеспечить постоянство температуры поступающей в лодочку Фурко стекломассы по всей ширине лодочки, что является одним из решающих моментов для нормальной работы машины. Изучение канала Фурко показало неравномерность температур по ширине и глубине, что является причиной разнотолщинности листа и вызывается влиянием „блуждающего“ выхода потоков.

Такая большая разница в температурах соседних слоев стекла характеризует невозможность установления постоянного режима работы машин Фурко и очень затрудняет регулировку. Таким образом в отношении конструкции печи можно сказать, что печь с узким протоком является нежелательной для производства листового стекла, требующего постоянства температурного режима стекла при большой ширине струи, поступающей в лодочку машины.

Почему же для бутылочного и сортового стекла эта степень термической негетогенности допустима, в то время как она является недопустимой для оконного и зеркального стекла? Прежде всего это объясняется размерами изделия: в первом случае стекло набирается в небольшом количестве с небольшого участка, вследствие чего не может быть большой разницы температур в различных его частях. При механизированном же производстве листового стекла последнее набирается с большого участка (например, по длине всей лодочки Фурко); в этом случае разница в температурах отдельных слоев является весьма ощутительной и недопустимой.

Далее, технология механизированной выработки оконного и зеркального стекла предьявляет обычно особо жесткие условия относительно термической гетогенности стекломассы. Поэтому самая незначительная разница в температурах соседних слоев стекла ухудшает качество получаемой продукции. Поясним это одним примером, взятым из области производства оконного стекла машинами Фурко. Известно, что толщина вытягиваемого листа зависит, при прочих равных условиях (скорость вытягивания ленты, химический состав стекла, размеры лодочки и ее щели и т. д.),—от вязкости стекломассы или, иными словами, от ее температуры. Чем выше температура, тем толщина вытягиваемого стекла меньше (и наоборот), причем самые незначительные изменения температуры стекломассы уже заметным образом отражаются на толщине ленты. Представим себе, что к щели лодочки Фурко подходят струи стекла разной температуры; при этом толщина стекла у разных точек щели будет разной, и мы получим разнотолщинность стекла, что обнаруживается в его полосности.

12. ПЕЧЬ С ПЕРЕЖИМОМ

Учитывая преимущества конструктивного разделения ванной печи на отдельные бассейны и недопустимость применения при механизированном производстве листового стекла искусственно охлаждаемых протоков или разделительных стенок,— автором предложен и осуществлен новый тип печей с отдельными бассейнами для механизированного производства оконного стекла по методу Фурко. Этот тип печи, несомненно, найдет применение и для других методов выработки оконного и зеркального стекла.

Предложенный автором тип печи представляет собою ванную стеклоплавильную печь с отдельными бассейнами, отличающуюся тем, что в зоне стекломассы бассейны соединены пережимом (достаточно широким для того, чтобы избежать возникновения термической неомогенности стекломассы, поступающей в зону студки), и применением отдельных сводов над обоими бассейнами. В пережиме устанавливается заградительная лодка, глубина погружения которой может меняться; это позволяет регулировать температуру стекломассы при ее поступлении в зону студки.¹

Схематическое изображение бассейна такой печи в плане и в вертикальном продольном разрезе показано на рис. 9-2.

На рис. 32 и 32-а показана такая печь, которая пущена в эксплуатацию в 1934 г на второй системе Гомельского завода. По этому типу строятся ваннные печи на других наших новостройках для производства оконного стекла. Печь отапливается генераторным газом и снабжена двумя парами регенераторов с установленными на них 6 парами горелок, служащих для отопления варочного бассейна. Направление пламени поперечное. В рафинажном бассейне предусмотрена также пара горелок, которые соединены с регенераторами с помощью газовых и воздушных каналов. Обычно в нормальных эксплуатационных условиях эти горелки не работают и используются только при выводке печи и наварке стекла после горячих и холодных ремонтов, а также в случае тех или других перебоев в работе печи.

Очень важное значение имеет правильный выбор размеров неотапливаемого (рафинажного) бассейна и его соотношения с варочным. При проектировании первой печи такой конструкции для Константиновского стекольного завода мы исходили из той предпосылки, что рафинажный бассейн необходимо брать таких размеров, которые не требовали бы ни его специального отопления, ни искусственного охлаждения. Иными словами, необходимо, чтобы потери тепла через наружные стены рафинажного бассейна компенсировались отдачей тепла от стекла при его остывании от той температуры с которой он поступает из варочного бассейна, до той температуры, которая является оптимальной для вытягивания его машинами Фурко. Практика пуска ванной печи на Константиновском стекольном заводе подтвердила правильность этих расчетов.

Работа этой печи подтвердила также большое значение правильного выбора глубины разделительной лодки. Поскольку последнюю

¹ Авторское свидетельство № 38269 по заявке № 120801.

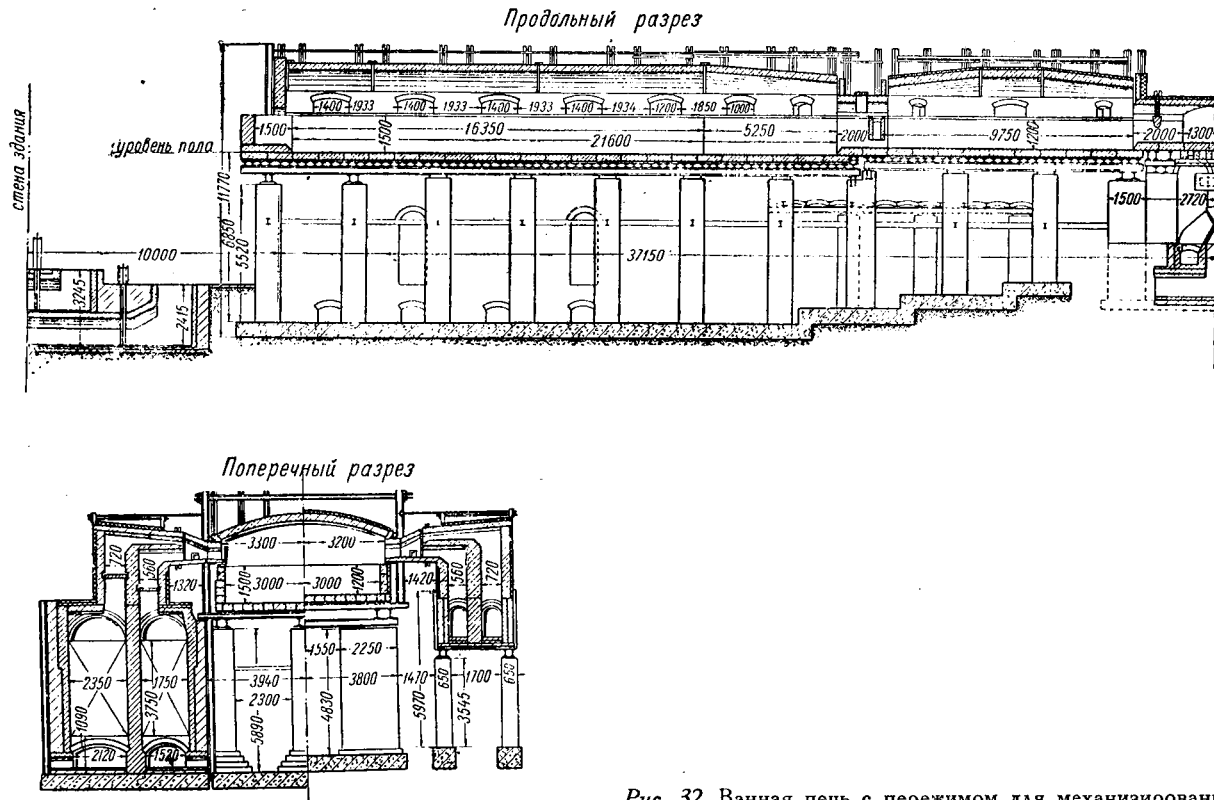


Рис. 32. Ванная печь с пережимом для механизированного производства оконного стекла.

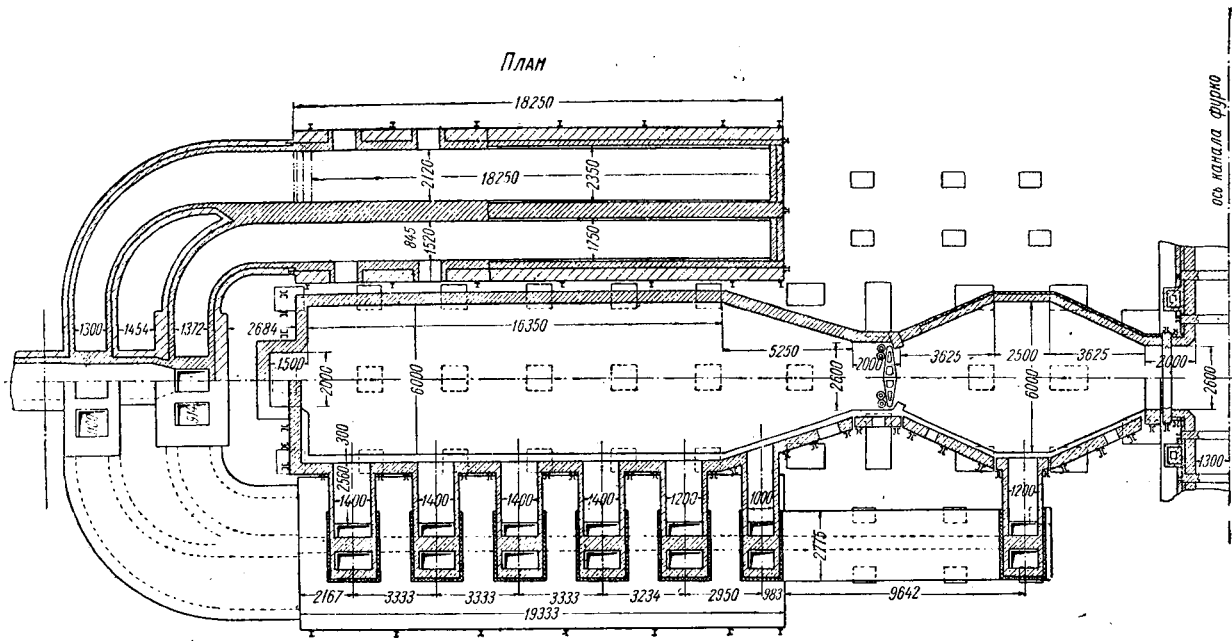


Рис. 32а. Ванная печь с пережимом для механизированного производства оконного стекла.

можно легко менять, мы имеем возможность при этой конструкции печи получать оптимальную температуру стекломассы при ее поступлении к машинам.

Следует обратить внимание на плавные переходы от варочного бассейна к пережиму и на плавные очертания рафинажного бассейна. Плавность очертаний устраняет местные мертвые углы и способствует тому, чтобы бассейн работал всем своим поперечным сечением. И в смысле конструктивного выполнения (в частности, перекрытия свода) оно проще, чем при том очертании бассейна, которое было придано печам Константиновского стекольного завода во время их

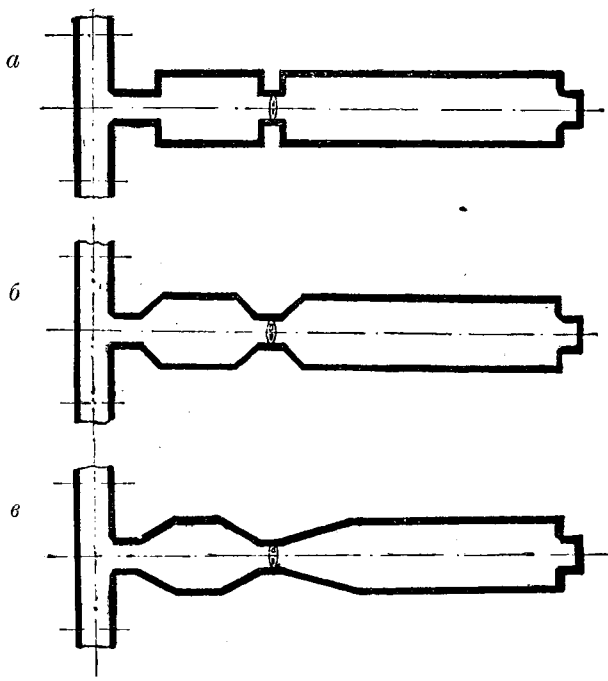


Рис. 33. Различные очертания бассейна печи с пережимом.

реконструкции в 1932 году. Для сравнения приводим на рис. 33 различные очертания выстроенных и пущенных в эксплуатацию печей с пережимом. Рисунок 33-б показывает применяемые нами в настоящее время очертания с плавными переходами и с сигарообразными сводами.¹ На рис. 33-б видно первоначальное оформление этой конструкции. По рис. 33-а осуществлены три печи. В одном из этих случаев перед нами стояла следующая задача: имелась готовая печь Гоббе и нам было предложено переделать ее с минимальными затратами и минимальной ломкой. Вся работа свелась к разборке одной секции свода и к устройству в этом месте пережима.

¹ В новейших конструкциях отсутствует перешеек между ванной печью и каналом Фурко.

Первая печь с пережимом была пущена в эксплуатацию в ноябре 1932 г. Главнейшими преимуществами новой конструкции являлись:

а) увеличение производительности печи на 30—40%, что дало возможность установить 14 машин Фурко на печи, где раньше работало 10 машин; при этом достигнутая производительность не является еще предельной;

б) значительное уменьшение удельного расхода топлива;

в) улучшение качественных показателей.

В процессе работы выяснились также и некоторые другие преимущества данной печи по сравнению с печью Гоббе и, в частности, большая независимость режима канала Фурко от режима варочного бассейна ванной печи.

Удачный опыт пуска и работы данного агрегата привел к тому, что целый ряд новостроящихся печей, которые были предварительно запроектированы по системе Гоббе, строятся по этому типу. Кроме того, на нескольких заводах при холодных ремонтах существующие печи Гоббе перестраивались на печь данной конструкции. В конце 1934 г. уже имеется в эксплуатации шесть печей данного типа, работающих с самыми благоприятными показателями. В 1935 г. должны вступить в эксплуатацию на наших новостройках три больших печи такой системы, не считая реконструкции печей на существующих заводах.

13. ГЛАВНЫЕ РАЗМЕРЫ БАСЕЙНА

При описании ванной печи с общим бассейном мы довольно подробно остановились на тех соображениях, которыми следует руководствоваться при выборе основных размеров печи. Для того, чтобы не повторяться, мы остановимся ниже только на тех отличиях, которые вызываются особенностями печей с конструктивным разделением бассейна. Следует остановиться на двух вопросах: *о соотношении длины печи с ее шириной и о глубине бассейна*. Выше было указано, что в печах с поперечным направлением пламени (например, печи Гоббе) приходится удлинять печь за счет уменьшения ее ширины для того, чтобы избежать перегрева стекла в рафинажном бассейне. В печах с раздельными бассейнами этого обстоятельства опасаться не приходится; более того, из-за необходимости создать достаточный фронт для установки машин,— в печах с протоком размеры выработочного бассейна обычно больше, чем это требуется с чисто теплотехнической точки зрения; поэтому его приходится подогревать за счет излучения пламенных газов варочного бассейна. Исходя из этих соображений, можно брать в печах с раздельными бассейнами отношение ширины к длине больше, чем в печах с общим бассейном.

Этот вывод можно подкрепить также следующим соображением. В печи с раздельными бассейнами мы имеем возможность создать распределение температур, оптимальное с точки зрения правильной организации потоков стекломассы; создавая максимум в зоне осветления, мы задерживаем шихту и несварившуюся стекломассу у торце-

вой стены и, в известной мере, препятствуем попаданию несваренного стекла в зону освещения. Наконец, наличие протока, т. е. отбор стекла из варочного бассейна на значительной глубине, препятствует попаданию неосветленной, т. е. более легкой стекло-массы в рафинажное отделение. Все эти моменты отсутствуют в печах с общим бассейном; поэтому вполне естественно, что *в печах с протоком отношение ширины печи к ее длине обычно больше, чем в печах с общим бассейном.* Относительно величины этого соотношения нельзя дать каких-нибудь определенных правил. Но если читатель внимательно просмотрит все приведенные чертежи печей, которые выполнены в масштабе, то он получит представление относительно обычно принимаемых соотношений.

Переходим к *глубине бассейна*. Выше мы объясняли, почему для печей с общим бассейном при варке белого стекла желательна большая глубина бассейна; мы указывали также на целесообразность устройства больших печей с глубиной $1\frac{1}{2}$ м, что подтверждено практическими данными.

В печах с протоком условия движения стекломассы в районе протока носят другой характер, нежели в печах с общим бассейном. В первом случае мы имеем в районе протока мощные потоки большой скорости, причём они носят *принудительный* характер. Естественно, что вблизи протока мы при этом не имеем мертвого слоя, что, в частности, подтверждается обследованием печей. При большой глубине бассейна у большей части дна печи должны образоваться мертвые слои. Имеется опасность, что при встрече с ними мощных потоков в районе протока — частицы мертвого слоя будут увлекаться потоком. Из-за разницы не только в температурах, но и в химическом составе (в мертвом слое скопляются более тяжелые частицы; он более богат железом), такое явление может привести к порче стекла, попадающего в выработочный бассейн. Это обстоятельство говорит в пользу уменьшения глубины проточных ванн.

Предельной глубиной печей с протоком следует считать 1,2 м, причём для высококачественного стекла нужно делать бассейн менее глубоким (порядка 0,9—1,0 м); так, напр., показанная на рис. 26 печь, предназначенная для варки высокосортного стекла, сделана глубиной в 1 м. Заграничная практика дает много примеров ваннных печей меньшей глубины (вплоть до 0,6 м на небольших ваннных печах для механизированного производства дровов машинами Даннера).

Не требует пояснения, что с уменьшением глубины бассейна разъедание дна усиливается; поэтому качеству донного припаса следует уделять особенное внимание.

В печах с пережимом не наблюдается таких мощных и принудительных потоков в пережиме, как в протоке. Учитывая соображения, высказанные ранее о желательности более глубокого бассейна, мы делаем варочный бассейн в печах с пережимом глубиной в $1\frac{1}{2}$ м, считая, что наличие мертвого слоя в нижнем ряду является к тому же неизбежным. Что же касается рафинажного бассейна то отсутствуют какие-либо соображения, которые говорили бы в пользу целесообразности столь большой глубины. Наоборот, можно пред-

полагать, что устройство ступенчатого перехода в дне пережима к глубине 1,2 м будет препятствовать увлечению частичек мертвого слоя в рафинажный бассейн.

При плавных очертаниях последнего и его хорошей тепловой изоляции есть основание рассчитывать на возможность отсутствия мертвого слоя в рафинажном бассейне; вопрос этот, однако, еще окончательно не выяснен и подлежит проверке. Все означенные соображения говорят о целесообразности меньшей глубины рафинажного бассейна по сравнению с варочным.

1. НАЗНАЧЕНИЕ РЕГЕНЕРАТОРОВ

Регенераторы представляют собою самую важную часть нижнего строения ванной печи. С их устройством мы ознакомились при описании регенеративной ванной печи с газовым и нефтяным отоплением (рис. 3 и 4).

Все приведенные выше печи являются регенеративными; из их описания и помещенных иллюстраций читатель смог ознакомиться с типовым устройством регенераторов и с их расположением при различных типах печей.

Назначение регенераторов заключается, прежде всего, в использовании теплоты отходящих газов для предварительного подогрева генераторного газа и воздуха. Если бы мы имели печи без использования тепла отходящих газов, то последние, покидая печь при очень высокой температуре, уносили бы громадное количество тепла и печь работала бы крайне неэкономно. Благодаря использованию тепла отходящих газов нам удается в современных печах подогревать газ и воздух, примерно, до 1000° и это тепло мы используем в самой печи для варки стекла.

Но дело не только в экономии топлива. Если бы мы захотели отапливать ванную печь холодными генераторным газом и воздухом (т. е. без предварительного их подогрева), то мы убедились бы, что эта задача является совершенно безнадежной, так как нам не удалось бы получить высоких температур порядка $1400-1500^{\circ}$. Можно определенно заявить, что газовое отопление стекловаренных печей стало возможным только тогда, когда было освоено использование тепла отходящих газов для подогрева газа и воздуха или, по крайней мере, одного воздуха, т. е. после внедрения регенераторов (или рекуператоров). Благодаря этому подогреву газа и воздуха мы имеем возможность создать в печи достаточно высокую температуру, что ускоряет процесс плавки и уменьшает расход топлива.

При нефтяном отоплении можно было бы варить стекло при работе на холодном воздухе, хотя это было бы чрезвычайно неэкономно в смысле расхода топлива. Что же касается применения твердого топлива для ванн стекловаренных печей, то оно стало практически возможным только благодаря совместному применению двух методов: газификации топлива и регенерации тепла отходящих газов, что дало целый ряд значительных преимуществ.

2. ПРЕИМУЩЕСТВА ГАЗОВОГО ОТОПЛЕНИЯ ПЕЧЕЙ И РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Эти преимущества в основном сводятся к следующему:

а) При сжигании газообразного топлива достаточно очень небольшого количества избыточного воздуха. Это объясняется тем, что для быстрого горения любого топлива необходимо хорошее перемешивание его с воздухом, что при газообразном топливе легко достигается даже при небольшом избытке воздуха. Это обстоятельство имеет весьма важное значение, так как избыточный воздух также нагревается до температуры печи и покидает последнюю с весьма высокой температурой, т. е. уносит с собой большое количество тепла, благодаря чему сильно увеличивается расход топлива.

б) Сгорание газа и выделение тепла имеет место в стойле печи, т. е. именно там, где эта теплота требуется для варки стекла, а не в отдельной топке, как это имело бы место при отоплении твердым топливом.

в) Обслуживание печей с газовым отоплением сравнительно очень просто: легче регулировать подачу газа и необходимого для горения воздуха (способ регулировки будет объяснен в дальнейшем) и, кроме того, имеется возможность получать по желанию пламя с избытком газа или воздуха, что очень важно для правильной варки стекла.

г) Газовое отопление допускает устройство центральной газогенераторной станции для питания газом целого ряда печей из одного места, что значительно уменьшает расходы.

д) Весьма важным обстоятельством является возможность применения для газогенераторов различных видов низкосортного местного топлива, которые в обычном виде непригодны для использования в промышленных печах.

Резюмируя сказанное, можно констатировать, что изобретение регенераторов братьями Сименс в середине прошлого столетия подвело техно-экономическую базу для внедрения ваннных стекловаренных печей.

Назначение регенераторов состоит также в создании напора, благодаря которому в печь подается необходимый для горения воздух, а при самодувных газогенераторах — также и газ; этот вопрос будет освещен ниже, в главе XIII.

3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ РЕГЕНЕРАТОРОВ

Основными типами регенераторов являются *вертикальные и горизонтальные*. В первых газы движутся в насадочной решетке по вертикальному направлению; во вторых движение газов в насадочной решетке происходит горизонтально.

Как у нас, так и за границей больше всего распространены вертикальные регенераторы. На всех приведенных выше чертежах установлены вертикальные регенераторы. У нас горизонтальные регенераторы были установлены около 25 лет тому назад на некоторых

крупных ваннных печах, но не привились вследствие ряда конструктивных недостатков, которые вызывали быстрое засорение, затруднительность чистки и недостаточность нагрева. В дальнейшем эти регенераторы были заменены вертикальными.

В 20-х годах этого столетия за границей горизонтальные регенераторы снова стали прививаться—сперва в Чехо-Словакии, а в дальнейшем— в Германии.

Пионером в этой области был инженер Вессели, который спроектировал и построил много печей для машин Фурко с так называемым чехословацким расположением машин и горизонтальными регенераторами. На рис. 34 даны две схемы горизонтальных регенераторов и для сравнения одна схема печи с вертикальными регенераторами (34-а). Горизонтальные регенераторы показаны на рис. 34-б и 34-в; они характеризуются наличием двух вертикальных шахт, служащих для распределения газов в каналах насадки и для их поворота. На обеих этих схемах показаны горелки так называемые „галлерейные“, которые отличаются большим количеством небольшого сечения влетов (на рисунке.— 10 штук), которые питаются газом с помощью двух шахт, сопряженных с регенераторами. Но, понятно, что печь с горизонтальными регенераторами может быть снабжена обычно принятыми у нас шахтными горелками, которые показаны на рис. 34-а.

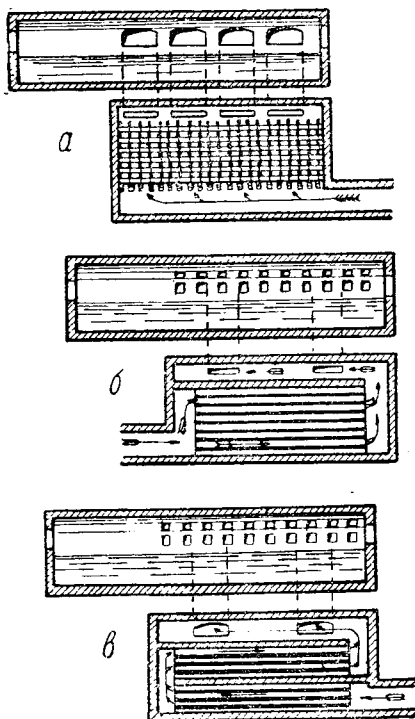


Рис. 34. Схемы регенераторов:

а — вертикальный регенератор с насадочной решеткой, б — горизонтальный регенератор с гладкой трубчатой насадкой в один оборот, в — горизонтальный регенератор с гладкой трубчатой насадкой в два оборота.

4. СРАВНЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕГЕНЕРАТОРОВ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ

У нас почти повсеместно распространены вертикальные регенераторы. С горизонтальными регенераторами несколько лет тому назад выстроена одна большая печь на 10 машин Фурко (Курловский стекольный завод); кроме того, на заводе „Пролетарий“ при переходе с ручного производства на механизированное были переделаны вертикальные регенераторы на горизонтальные в двух печах.

С точки зрения теплотехнической (т. е. использования тепла отходящих газов) можно считать оба типа регенераторов вполне приемлемыми для ваннных стекловаренных печей, хотя, предположительно, некоторое предпочтение следует отдавать вертикальным регенераторам. Считаем необходимым оговориться, что этот вопрос следует уточнить путем специального обследования ванной печи с горизонтальными регенераторами. Эта работа в настоящее время проводится Институтом стекла.

Серьезным недостатком горизонтальных регенераторов является большое сопротивление, оказываемое ими проходу газов. Объясняется это тем, что газы идут вдоль насадки, т. е. совершают длинный путь и, притом, сравнительно с большими скоростями. Кроме того, в этих регенераторах газы делают несколько поворотов. Все это, вместе взятое, создает большое сопротивление движению газов, особенно в том случае, если насадочная решетка с двумя оборотами (как показано на рис. 34-в). Поэтому при больших печах обычно применяются горизонтальные регенераторы с одним оборотом (рис. 34-б). По мере засорения регенераторов во время работы печи, сопротивление их может настолько возрасти, что в печь не поступает необходимого количества воздуха и дымовая труба не в состоянии оттянуть все отходящие газы. Поэтому, если по некоторым соображениям все же устанавливаются горизонтальные регенераторы, то целесообразно предусмотреть подачу воздуха вентилятором (нагнетание) и отсос дымовых газов с помощью так называемого „экспаустера“. Опыт работы горизонтальных регенераторов на заводе „Пролетарий“ доказал целесообразность этих мероприятий.

По ряду соображений горизонтальные регенераторы требуют значительно меньшей строительной высоты, нежели вертикальные. В вертикальных регенераторах для более равномерного распределения движущихся газов в насадочной решетке целесообразно увеличение высоты последней по причинам, которые будут изложены ниже; в горизонтальных регенераторах, наоборот, уменьшение высоты насадочной решетки способствует более равномерному распределению газов.

В вертикальных регенераторах под насадочной решеткой должен быть предусмотрен канал для подвода и распределения газов. В горизонтальных же регенераторах этих каналов нет, и насадочная решетка лежит непосредственно на поду регенератора (ср. рис. 34-а с 34-б и 34-в).

Благодаря указанным двум причинам, при горизонтальных регенераторах общие габариты печи по высоте получаются значительно меньше, чем при вертикальных. Этот вопрос имеет особое значение при реконструкции существующих заводов (например, при установке в существующих зданиях печей большей мощности). В таких случаях бывает часто необходимым увеличить регенераторы; между тем условия здания могут не позволить ни поднять их вверх, ни опустить вниз. В данном случае замена вертикальных регенераторов горизонтальными может оказаться иногда весьма целесообразной.

5. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ РЕГЕНЕРАТОРОВ

Размеры регенераторов определяются путем соответственных расчетов. Расчетом обычно определяется или вес насадочного кирпича или величина его поверхности, омываемой газами. Если эти данные подсчитаны и мы на основании изложенных ниже соображений выберем определенный размер насадочного кирпича и способ его кладки, то можем определить объем насадочной решетки. Таким образом у нас будут иметься необходимые данные для определения основных размеров регенератора. Эта последняя задача допускает много решений, так как мы можем получить тот же самый объем, комбинируя различным образом длину, ширину и высоту регенераторов.

Перейдем к изложению тех соображений, которыми следует руководствоваться при выборе основных размеров регенераторов и их соотношения; речь будет идти о повсеместно применяемых вертикальных регенераторах; в отношении же горизонтальных регенераторов мы дадим там, где это понадобится, дополнительные указания.

ДЛИНА РЕГЕНЕРАТОРОВ

При вертикальных регенераторах большой длины (т. е. таких, которые мы имеем при больших ваннах печак) трудно достигнуть равномерного распределения газов по длине регенераторов: воздух или генераторный газ подводится соответствующим бортовым в нижнюю часть камеры (поднасадочное пространство), но уже на пути стремится подняться через нагретую насадочную решетку вверх и попасть в горелки вдоль свода камеры (по подсводовому пространству). Отходящие газы стремятся остаться в верхней части камеры или пройти вниз только у переднего конца регенератора.

Передняя часть насадочной решетки работает весьма интенсивно; что же касается задней ее части, то последняя не принимает почти никакого участия в регенерации тепла; потеря тепла через стены и рубашки задней части регенератора имеет все же место. Поэтому наличие этой „мертвой“ зоны в регенераторе может оказаться не только бесполезным, но даже и вредным. Наличие мертвой зоны особо сильно заметно в том случае, если последние горелки, расположенные над регенератором, закрыты. Тогда вся зона насадочной решетки под этими неработающими горелками не принимает участия в теплопередаче.

На первых больших ваннах печак системы Гоббе для механизированного производства оконного стекла регенераторы были очень длинными (свыше 21 м). Над ними располагали 7 горелок; кроме того, имелась еще 8-я горелка — выносная. Практика показала, что нормально работают 4 или 5 первых горелок, а остальные — чрезвычайно редко. Поэтому, в более новых печах системы Гоббе регенераторы стали делать значительно короче, длиной около 17 м, т. е. на протяжении первых 5 пар горелок. Это дало определенные положительные результаты и на некоторых уже работающих печах существующие регенераторы были соответственным образом сокращены. Нужно принять за правило, что при выборе длины регенера-

торов печей с поперечным пламенем—регенераторы должны располагаться не под всеми горелками, а только под теми, которые в нормальных эксплуатационных условиях постоянно работают.

Можно до известной степени улучшить работу задней части регенераторов, если выбрать для нее такую систему кладки, которая оказывает меньшее сопротивление проходу газов. Для этой цели весьма пригодна насадка по способу Каупера (см. ниже, рис. 37), так как при этом способе кладки мы получаем гладкие вертикальные трубы, сопротивление которых проходу газов весьма незначительно. Нами был проделан в свое время такой опыт на одной ванной печи системы Гоббе для ручного производства оконного стекла, длиной 17,5 м, в которой раньше было трудно разогреть выработочное отделение; результаты замены обычной насадки насадкой системы Каупера под последними (четвертыми) горелками получились весьма положительные.

Если в печах с подковообразным пламенем регенераторы вынесены из-под бассейна, как это обычно сейчас и делается, то генераторный газ и воздух вступают снизу регенератора с одной стороны, а отводятся сверху—с другой стороны. Чем длиннее регенератор, тем менее равномерно омывается газами насадочная решетка, т. е. тем хуже используется объем регенератора. Поэтому рационально делать такие регенераторы возможно выше и короче. Так, следует считать весьма удачным соотношение длины и высоты насадочной решетки в небольшой печи с подковообразным пламенем, показанное на рис. 14 (длина насадки—3 м, высота ее—3,5 м).

Однако сильное увеличение высоты регенераторов вызывает обычно значительное удорожание не только самой печи, но и здания (большая высота). Кроме того, иногда это сопряжено с эксплуатационными неудобствами, связанными с подачей шихты, сырья и отвозкой полуфабрикатов. Поэтому приходится часто мириться с меньшей высотой насадки, чем это желательно с точки зрения теплотехнической. В печах, показанных на рис. 27 и 28, соотношение длины насадки и ее высоты больше, чем в ранее упомянутой печи, но все же его можно считать еще вполне приемлемым.

При длинных регенераторах в печах с подковообразным пламенем иногда делают в насадочной решетке горизонтальные перегородки—для того, чтобы газы двигались в несколько оборотов. При этом использование насадочной решетки получается весьма полным, но возрастает сопротивление проходу газов. Кроме того, такие регенераторы быстрее засоряются пылью от шихты, уносимой из ванной печи отходящими газами. В печи, построенной на Ухановском заводе и показанной на рис. 27, были первоначально сделаны такие перегородки в регенераторах (показаны на чертеже), но при первом холодном ремонте печи их выкинули.

ВЫСОТА И ШИРИНА РЕГЕНЕРАТОРОВ

Если общий объем насадочной решетки определен расчетным путем, а длина выбрана на основании вышеприведенных соображений, то легко найти поперечное сечение (т. е. произведение высоты на ширину насадочной решетки). Как нужно выбирать соотношение

этих двух величин? Нужно ли брать высокие и узкие регенераторы или же широкие, но низкие?

Высоту вертикальных регенераторов следует делать, по возможности, большей, так как при этом распределение газов в насадочной решетке будет лучше. Кроме того, более высокие регенераторы создают более сильный напор, благодаря которому воздух, а также генераторный газ при самодувных регенераторах подается в печь. Поэтому следует брать соотношение высоты и ширины (при прочих равных условиях), по возможности, больше, так как благодаря лучшему и более равномерному использованию насадочной решетки достигается лучший подогрев генераторного газа и воздуха и более низкая температура отходящих газов. Поэтому целесообразно увеличивать высоту вертикальных регенераторов за счет их ширины, но, понятно, до определенных пределов.

Предел увеличения высоты регенераторов диктуется следующими соображениями:

а) С увеличением высоты регенераторов увеличивается высота ванной печи и здания; при механизированном производстве по способу Фурко увеличивается также высота канала Фурко, здания над ним и т. д. Это значительно увеличивает стоимость строительства и часто заставляет делать регенераторы ниже, чем это диктуется одними теплотехническими соображениями, которые будут приведены ниже.

б) При значительном увеличении высоты регенераторов увеличивается наружная поверхность регенераторов и потеря тепла через стены возрастает; возрастает также засос холодного наружного воздуха через стены регенераторов, так как кирпичная кладка, как бы тщательно она ни была сделана, является все же газопроницаемой. При достижении некоторого максимума высоты увеличение потери тепла через стены и вследствие засоса холодного воздуха может аннулировать тот эффект, который получается от более равномерного использования насадочной решетки.

в) С увеличением высоты регенераторов нужно увеличить также высоту дымовой трубы; это является некоторым, хотя и сравнительно незначительным, недостатком.

На основании критического анализа целого ряда стекловаренных печей можно прийти к заключению, что соотношение между высотой и шириной насадочной решетки воздушного регенератора следует брать не меньше $1\frac{1}{2}$. Желательно даже брать это соотношение немного больше (около 1,75). Делать его больше 2 — вряд ли целесообразно, так как при этом получаются очень большие габариты по высоте, вызывающие значительное удорожание строительства, которое нельзя оправдать серьезными теплотехническими или эксплуатационными преимуществами.

СООТНОШЕНИЕ РАЗМЕРОВ ВОЗДУШНЫХ И ГАЗОВЫХ РЕГЕНЕРАТОРОВ

При расчетах регенераторов, обычно, подсчитываются отдельно размеры газового и воздушного регенератора и, следовательно, расчетным путем находится их соотношение.

Это последнее зависит, главным образом, от калорийности газа (вернее от того количества воздуха, которое нужно для его сжигания) и от температуры генераторного газа при входе в регенератор.

Для газа из дровяных самодувных газогенераторов — малокалорийного, с большим содержанием водяных паров и поступающего в регенератор при низкой температуре, — соотношение регенераторов (воздушного к газовому) — 1,2:1 или 1,3:1.

Такое же соотношение соблюдается при работе на торфе при простейших генераторах без газоочистки.

Для угольного газа, получаемого в хороших современных газогенераторах, соотношение регенераторов обычно больше (около 1,5:1 или даже выше). Объясняется это двумя причинами. Во-первых, благодаря тому, что этот газ обладает большей калорийностью, — для сжигания 1 м³ газа нужно больше воздуха, чем при сжигании бедного дровяного газа. Во-вторых, при работе на угле газ выходит из генераторов при высокой температуре; следовательно, его нужно подогревать в регенераторах сравнительно немного.

В последнее время много больших печей на наших новостройках работает на так называемом очищенном генераторном газе. Этот газ имеет сравнительно высокую калорийность (около 1500 калорий/м³). Казалось бы, что в данном случае целесообразно еще больше увеличить соотношение размеров воздушного регенератора и газового. Но есть два соображения, которые заставляют стать на противоположную точку зрения. Первое заключается в том, что газ поступает к печи при низкой температуре порядка 30° — 40°. Вторая, более важная, причина заключается в том, что очищенный генераторный газ целесообразно нагревать в регенераторе как можно выше, так как при этом разлагаются некоторые составные части (углеводороды) на углерод и водород. Благодаря этому (т. е. появлению в газе частиц так называемого *сажистого* углерода) достигается в стойле печи светящееся пламя, что весьма важно для увеличения передачи тепла стеклу, а, следовательно, и для интенсифицирования варки стекла (причина желательности разложения углеводородов будет изложена ниже в главе о горелках).

По указанным соображениям, при работе на очищенном генераторном газе соотношение воздушных и газовых регенераторов берется около 1,3 — 1,4. Консультационное бюро германской стекольной промышленности рекомендовало в своем заключении по проекту большой ванной печи, работающей на очищенном торфяном генераторном газе, брать соотношение регенераторов равным 1,2:1.

6. НАСАДОЧНЫЙ КИРПИЧ И СПОСОБЫ ЕГО КЛАДКИ

РАЗМЕРЫ КИРПИЧА

Для кладки насадочной решетки регенераторов применяется стандартный шамотный кирпич или специальный фасонный более крупного размера. Стандартный (нормальный) шамотный кирпич имеется двух размеров: более крупный — 250 × 123 × 65 мм и более мелкий — 230 × 113 × 65 мм; но большей частью применяется более крупный

шамотный кирпич. Что касается специального насадочного кирпича, то обычно толщина его от 7 до 10 см, высота (ширина) — 12 — 15 см, и длина — 40 — 50 см. Широко распространен на наших заводах а также применяется на новостройках насадочный кирпич следующих размеров: $400 \times 150 \times 75$ мм и $500 \times 150 \times 75$ мм.

На небольших печах с небольшими регенераторами большей частью применяется нормальный кирпич. Для больших же печей, обычно, применяется специальный насадочный кирпич, так как кладка из более крупного является более устойчивой.

Для кладки горизонтальных регенераторов, а также для специальных видов насадки применяются кирпичи специального размера. Так, для насадки Каупера часто применяются кирпичи $300 \times 150 \times 50$ мм и $350 \times 150 \times 65$ мм.

ТОЛЩИНА КИРПИЧА

Теоретические подсчеты, а также специальные испытания показали, что в поглощении тепла от дымовых газов принимают участие, в основном, только наружные слои насадочного кирпича толщиной не более 2 — 3 см, так как в короткие промежутки времени между перекидками кирпич не успевает прогреться по всей своей толщине. Исходя из этого, является целесообразным употреблять тонкий кирпич (не больше 5 см толщиной), так как остальная внутренняя часть кирпича остается бесполезной. Однако, из чисто практических соображений (и, в частности, из соображений большей устойчивости кладки) толщину кирпича, обычно, не берут меньше 6,5 см.

Чем тоньше кирпич, тем больше поверхность, омываемая газами, если объем насадочной решетки и вес насадочного кирпича является неизменным. При более тонком кирпиче каналы между рядами кирпичей получаются при этом уже и засорение насадки пылью от шихты происходит сильнее. К тому же мелкий кирпич более склонен к оплавлению, чем крупный. Поэтому при выборе толщины насадочного кирпича приходится принимать некие средние размеры для того, чтобы отдача тепла была, по возможности, большой и чтобы не происходило слишком быстрого засорения насадочной решетки.

СТЕПЕНЬ ЗАПОЛНЕНИЯ

Насадочный кирпич можно класть чаще или реже. Показателем того, насколько часто укладывается насадочный кирпич, является так называемая „степень заполнения насадочной решетки“, которая обычно дается в процентах. *Степень заполнения — это отношение объема самого кирпича к объему всей насадочной решетки (последняя равна сумме объема кирпичей и промежутков между ними).*

Так, например, если толщина насадочного кирпича = 65 мм и ширина каналов также = 65 мм (т. е., иными словами, сам кирпич занимает половину всего объема насадочной решетки), то степень заполнения равна 50%.

Приведем другой пример: толщина кирпича = 75 мм, расстояние между рядами = 125 мм; степень заполнения равна

$$\frac{75}{75 + 125} \times 100 = 37,5\%$$

Чем чаще мы укладываем кирпич (т. е. чем больше степень заполнения), тем больше кирпича мы можем насадить в данный объем и, следовательно, тем больше будет эффективность работы регенератора. Но, с другой стороны, при большей степени заполнения ширина каналов между отдельными рядами кирпича уменьшится и такая насадочная решетка скорее засорится и потребует смены. Практически приходится находить такую степень заполнения, которая позволяла бы работать без смены насадочной решетки от одного холодного ремонта до другого.

На стекловаренных печах степень заполнения берется обычно от 33% до 50% (в среднем, около 40%).

Следует указать, что на многих существующих печах, регенераторы коих слишком малы, приходится применять большую степень заполнения (около 50%), так как, в противном случае, подогрев газа и воздуха будет недостаточным. При этом сознательно идут на необходимость смены насадки при горячих ремонтах.

РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ КЛАДКИ НАСАДОЧНОГО КИРПИЧА И ИХ СРАВНЕНИЕ

Общепринятыми в стекловаренных печах являются два метода кладки насадочной решетки, предложенные еще Сименсом (рис. 35). В первом из них (рис. 35-а) одни ряды идут поверх других; этот способ называется насадкой *долевыми ходами* или же *сплошными колодцами*. Во втором (рис. 35-б) кирпичи одного ряда расположены

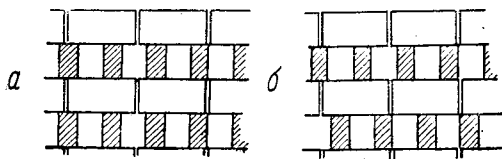


Рис. 35. Кладка насадочной решетки по Сименсу:

а — долевыми ходами, б — в шахматном порядке.

над промежутком предыдущего ряда; это — насадка в *шахматном порядке* или в *перебой*.

При кладке долевыми ходами — сопротивление насадки проходу газов, а также ее засорение — меньше, чем при кладке в шахматном порядке. Зато во втором случае передача тепла улучшается вслед-

ствие более полного омывания поверхности насадочного кирпича газами; кроме того, в виду большего сопротивления насадки газы распределяются в ней более равномерно. Иными словами, серьезным преимуществом насадки в шахматном порядке является лучший подогрев газа; недостаток же ее заключается в большой склонности к засорению.

Практика работы стекловаренных печей показывает, что засорение регенераторов начинается в нижней части и там сильнее всего

проявляется. Объясняется это тем, что частицы шихты, увлекаемые отходящими газами в регенераторы, сплавляются вверху таковых и затем в жидком состоянии в виде капель стекают вниз. В нижней части регенераторов температура сравнительно низка и эти стекловидные капли затвердевают. Поэтому, *нецелесообразным* является применение кладки насадки в шахматном порядке в нижней части регенераторов, где опасность засорения и застекловывания больше всего.

В верхней части регенераторов (особенно при небольших регенераторах) применение насадки в шахматном порядке является целесообразным, так как не только улучшает распределение газов по всему объему насадочной решетки, но и способствует лучшему подогреву газа и воздуха. Поэтому в большинстве случаев можно рекомендовать применение насадки долевыми ходами для нижней части регенераторов, а насадки в шахматном порядке — для верхней части. Иногда применяется так называемая кладка „в разбежку“. В ней (рис. 36) одни ряды кладутся по Сименсу, а другие (поперечные) — в разбежку. Для кладки применяется обычно кирпич нормальных размеров. Сопротивление проходу газов здесь меньше, чем в насадке Сименса.

Еще меньше сопротивление насадки, сложенной по Кауперу (рис. 37). Здесь вся насадка получается из вертикальных каналов

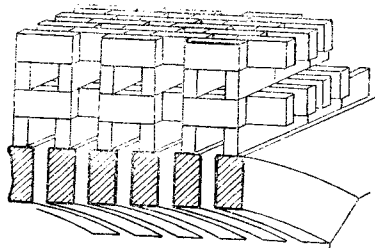


Рис. 36. Кладка насадочного кирпича в разбежку.

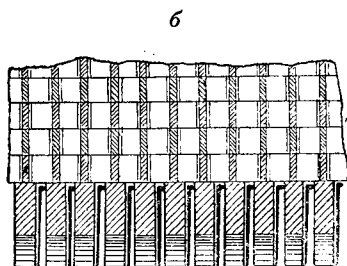
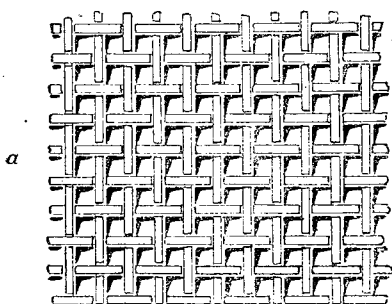


Рис. 37. Насадка Каупера:

а — план, б — вертикальный разрез.

с гладкими стенками. Кладка Каупера является весьма целесообразной при большой высоте регенераторов и сравнительно небольших их размерах в плане (т. е., в первую очередь, при небольшой их длине). Это имеет место в новейших конструкциях канала Фурко, где в виду небольшой длины регенераторов мы применяем в последнее время этот тип кладки. В ваннных печах этот случай,

т. е. наличие коротких регенераторов, — сравнительно редок и поэтому кладка Каупера применяется тоже сравнительно редко. Иногда

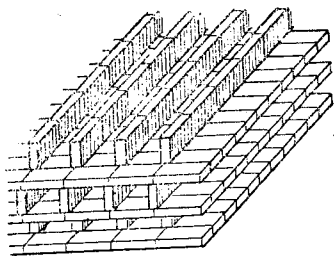


Рис. 38. Горизонтальная трубчатая кладка.

целесообразно насадить переднюю часть регенератора решетчатой кладкой по Сименсу, а конец насадить по типу Каупера; об этом мы уже говорили выше. Кладка Каупера является очень устойчивой, так как каждый кирпич распирается со всех сторон другими кирпичами.

В горизонтальных регенераторах применяется иногда обычная насадочная решетка; однако это бывает сравнительно редко, так как она оказывает большое сопротивление проходу газов и быстро засоряется.

Поэтому обычно применяется горизонтальная трубчатая кладка (рис. 38). При этом вертикальный кирпич берется толщиной 80—100 мм, а горизонтальный—60—80 мм. Степень заполнения—45—50%.

1. НАЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕКИДНЫХ КЛАПАНОВ И ГЛАВНЫЕ ТИПЫ

Перекидные (переводные) клапаны служат для направления генераторного газа и воздуха то в одну, то в другую сторону и для одновременного изменения направления дымовых газов.

В то же время они отделяют регенеративные камеры от газогенераторов и дымовой трубы.

Основные требования, которые предъявляются к перекидным клапанам, заключаются в следующем:

- а) они должны обладать плотным (герметическим) затвором;
- б) во время самой перекидки, а также в промежутке между перекидкой газа и воздуха не должно образоваться сообщения между газовыми, воздушными и дымовыми каналами;
- в) затворы должны быть легко доступными для контроля и наблюдения; сами клапаны не должны препятствовать доступу к каналам.

У нас применяются следующие типы переводных приспособлений: *клапан Сименса* — для перекидки воздуха; *барабан Клега* — обычно для перекидки газа, а иногда и воздуха; *барабан Турка* — для перекидки воздуха; *клапан Моргана* — для перекидки газа.

Имеются еще и другие типы переводных приспособлений, но они не получили распространения на ваннных стекловаренных печах; поэтому мы ограничимся описанием вышеупомянутых 4 конструкций и их сравнением.

2. КЛАПАН СИМЕНСА

На рис. 39 показан разрез клапана простейшей конструкции, так называемого перекидного клапана Сименса, применяемого для переключения воздуха. Он представляет собой чугунный разъемный кожух, внутри которого может вращаться на горизонтальной оси язык *F*. Левая часть клапана *B* посредством воздушного канала *D* соединена с левым воздушным регенератором, а правая часть клапана *C* через канал *E* — с правым воздушным регенератором; средняя же часть клапана *H* примыкает к дымовому каналу *G*, соединенному с дымовой трубой. При положении языка *F*, указанном на чертеже, наружный воздух попадает через *A* в левую часть клапана *B* и оттуда — через канал *D* — в левый регенератор; следовательно, в печи огонь идет слева направо и продукты горения попадают из печи в правый регенератор и по каналу *E* и правой

части клапана *C* — в среднюю часть клапана *H*, а оттуда через дымовой канал *G* — в дымовую трубу; движение воздуха и дымовых газов показано на рисунке стрелками.

При переводе клапана в другое положение, — что достигается поворотом языка *F* вокруг горизонтальной оси, — воздух из *A* проходит вправо через *C* и *E* в печь (в правый регенератор), а отходящие газы из левого регенератора через воздушный канал *D* и затем через *B* и *H* и дымоход *G* поступают в дымовую трубу; иными словами, огонь в печи будет справа налево.

Достоинством клапана Сименса является его простота, дешевизна и надежность в работе. Но ему присущ один очень серьезный недостаток, а именно: он не дает герметического затвора; поэтому часть поступающего воздуха просасывается в дымовой боров через прозоры между языком и ребрами, к которым он прилегает. Если даже произвести при сборке тщательную подгонку,

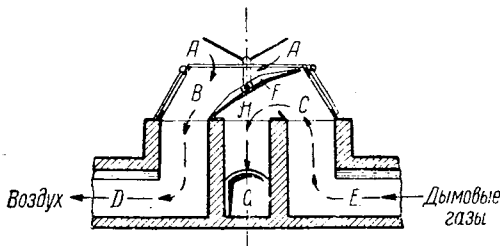


Рис. 39. Перекидной клапан Сименса.

то при нагревании язык все же коробится и появляются неплотности. В силу этих соображений клапан Сименса может применяться только для переключения воздуха, где вред, вызываемый отсутствием герметичности затвора, не так ощутителен. Пользоваться же клапаном Сименса для переключения газа ни в коем случае не следует, так как при этом неизбежны большие потери генераторного газа. Это обстоятельство мы особо подчеркиваем, так как на некоторых небольших наших заводах этот клапан используется для газа. В этом случае величина потерь газа, уносимого в дымовую трубу, может достигать очень больших размеров. Так, на одной горшковой печи потери составляли, согласно произведенного теплотехнического обследования, около 40% всего количества газа.

Но и при установке клапана Сименса для перекидки воздуха имеются некоторые недостатки.

Во-первых, часть воздуха попадает непосредственно в дымовую трубу; в результате печь может испытывать недостаток воздуха, необходимого для горения генераторного газа. Этот недостаток особенно дает себя чувствовать на печах с небольшими и низкими регенераторами, особенно к концу кампании печи, когда из-за засорения насадочной решетки сильно возрастает сопротивление прохождению воздуха.

Во-вторых, благодаря засосу холодного воздуха в дымовую трубу — температура отходящих газов падает и тяга дымовой трубы уменьшается. Если труба недостаточно высока, то это может настолько уменьшить тягу дымовой трубы, что последняя при засорении регенераторов не сможет отводить полностью продукты горения из печи.

Наконец, если степень неплотности клапана в обоих его положениях не одинакова, то ход печи, а также величина тяги могут быть неодинаковыми при обоих положениях клапана.

3. БАРАБАН КЛЕГГА

В качестве газового клапана очень часто применяют на наших заводах так называемый „барaban Клега“ (рис. 40); иногда его применяют также и для переключения воздуха. Барабан Клега представляет собой цилиндрический барабан, сделанный из листового железа, с перегородкой в центре (по диаметру). Нижний свободный конец перегородки, как и самого барабана, входит в корытообразное кольцо BB с крестовиной CC и $C'C'$. Фундамент под желобчатым кольцом BB , в свою очередь, разделен двумя выложенными накрест стенками на 4 части: левая секция через канал G соединена с левым регенератором, правая секция через канал H — с правым регенератором; из остальных двух секций — одна (на рисунке нижняя) соединена с газопроводом D , а другая (верхняя) — с дымоходом (L).

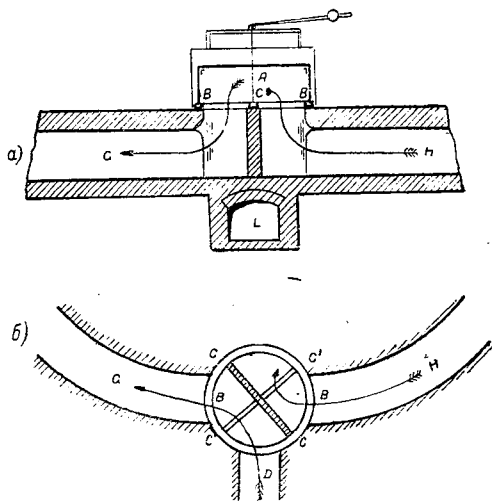


Рис. 40. Барабан Клега:

а — вертикальный разрез, б — план.

Когда перегородка барабана занимает положение CC — как показано штриховкой на плане, — генераторный газ поступает через газопровод D в барабан и затем по газовому каналу G — в левый регенератор, а оттуда — в печь; дымовые же газы выходят из правого регенератора по каналу H и через клапан — в дымовой бороз L . После перекидки генераторный газ из газопровода D идет в печь по каналу H , а продукты горения — через канал G в дымоход L .

Герметичность барабана Клега достигается благодаря тому, что в желобчатое кольцо и крестовину наливается вода, в которую погружается сам барабан. При этом создается водяной (гидравлический) затвор, абсолютно непроницаемый для газа. В этом заключается преимущество барабана Клега перед клапаном Сименса. Но все же и у него имеются слабые места. Опасными местами являются перегородки в барабане и промежуточные кирпичные стенки под крестовиной. Перегородка в барабане может легко перегореть, если температура отходящих газов будет высокой. Иногда в больших барабанах делают эту перегородку двойной, благодаря

чему она изнутри охлаждается воздухом, и имеется возможность следить за ее состоянием. Большие потери в газе могут быть вызваны недостаточно тщательной кладкой кирпичных стен под крестовиной, а также в том случае, если крестовина не совсем плотно лежит на кладке.

Следует обратить внимание на то, что внутренняя перегородка должна быть меньше погружена в воду, чем барабан; при переводе газа с помощью рычага поднимают барабан вверх настолько, чтобы перегородка вышла из воды, а край барабана оставался в воде.

Барабан Клегга может быть использован не только для перевода газа, но и воздуха. В этом случае наружный воздух поступает через канал *D*, который при газовом клапане служит для подвода газа. В этом канале необходимо предусмотреть задвижку или другое приспособление для регулирования количества поступающего воздуха.

4. БАРАБАН ТУРКА

Удобнее пользоваться воздушным барабаном Турка, который представляет собой видоизменение предыдущей конструкции. Различие заключается в том, что он разделен не на четыре, а на три части (вместо крестовины имеется кольцо с тремя радиальными спицами). В самом барабане имеется перегородка, отделяющая одну треть барабана. Схема этого барабана в плане показана на рис. 41. Сплошными линиями показано желобчатое кольцо с желоб-

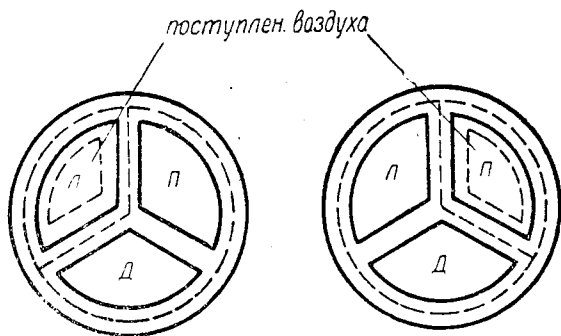


Рис. 41. Схема барабана Турка (план).

чатыми спицами, заполненными водой; пунктиром показан барабан и внутренняя перегородка. Левое отделение *Л* соединено с левым регенератором, правое *П* — с правым регенератором, а нижнее *Д* — с дымовой трубой. На рисунке показано слева такое положение барабана, когда воздух попадает в левую секцию *Л* и, следовательно, огонь идет в печи слева направо. В правой части рисунка показаны пунктиром барабан и перегородка после перекидки, т. е. когда огонь в печи идет справа налево. Воздух поступает через отверстие, сделанное на крышке барабана в той трети, которая

отделена перегородкой. Она показана на рисунке пунктиром. Количество засасываемого воздуха регулируется специальной задвижкой, которая устанавливается на этом отверстии.

Барабан Турка обладает теми же достоинствами и недостатками, что и барабан Клегла. Но для воздуха он удобнее, так как при сохранении тех же сечений получается портативнее и легче.

5. КЛАПАН МОРГАНА

В последние годы часто применяют (особенно на больших печах) газовый перекидной клапан *Моргана* (его иногда называют также клапаном *Фортера* или клапаном *Вельмана*). Его общее устройство и конструкция видны на рисунке 42. Он состоит из желобчатого основания с тремя отверстиями, колпака (так называемой „лягушки“), перекрывающего пару отверстий, приводного механизма и наружного кожуха.

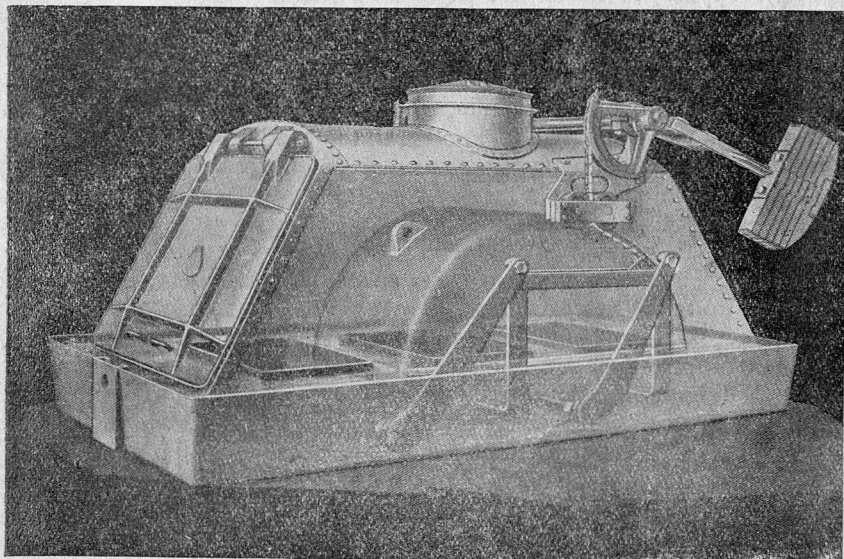


Рис. 42. Перекидной клапан Моргана.

Центральное отверстие сообщается с дымовой трубой, а оба боковых—с соответственными газовыми регенераторами (аналогично тому, что мы имеем в клапане Сименса). Генераторный газ, поступающий в кожух сверху из газопровода, примыкающего к патрубку на крышке кожуха,—поступает через то отверстие желобчатого основания, которое в данный момент не закрыто колпаком (на рисунке в левое отверстие). Следовательно, генераторный газ поступает в левый регенератор и огонь в печи слева направо. Отходящие из правого регенератора газы поступают в правое отверстие основания и, проходя под колпаком, попадают в сред-

нее, которое соединено с дымовой трубой. Для того, чтобы изменить направление газа, колпак переставляют так, чтобы он покрывал центральное отверстие и то крайнее, которое прежде оставалось открытым (левое). Чугунное прямоугольное основание колпака имеет очертание противня и снабжено тремя отверстиями, края которых поднимаются вверх. Колпак, перекрывающий центральное отверстие и одно из крайних, имеет полуэллиптическое очертание и состоит из тяжелого стального или железного кожуха, который снабжен поперечиной, связывающей его боковые стенки, и гнездами для рычагов.

Основание клапана заливается водой, так что у закрытых колпаком отверстий образуется гидравлический затвор, предупреждающий утечку газа. Вследствие высокой температуры отходящих газов вода в колпаке испаряется; поэтому для поддержания постоянства уровня дают постоянный приток воды из водопровода; в боковой стенке основания обычно предусматривается трубка, через которую сливается вся излишняя вода.

На обоих концах кожуха имеется по чугунной рамке с дверцей для вынимания и вставки колпака. Обе дверки снабжены небольшим смотровым отверстием с откидной крышкой, допускающей наблюдение за работой клапана в любое время, а также за его чисткой. Верх кожуха снабжен горловиной для присоединения газопровода.

Колпак переставляется с помощью системы рычагов и осей. Последние расположены под кожухом, входят в гнезда колпака и поворачиваются в подшипниках. На обеих сторонах клапана имеется по противовесу, монтированному на плече с сегментом, через который перекинута цепь, связанная с опорами колпака. Сегменту придана такая форма, что он уравнивает груз колпака при всех положениях последнего.

Клапан Моргана дает хороший затвор; он выполнен значительно надежнее и прочнее, нежели барабан Клегга, требует обычно меньше места, но значительно дороже. Некоторым его недостатком является то, что колпак (лягушка) недоступен для постоянного осмотра.

6. ПОТЕРИ ГАЗА ПРИ ПЕРЕКИДКЕ

Выше было указано, что клапан Сименса не дает герметического затвора и что поэтому во время работы имеют место прососы газов в дымовой боров и т. д. В описанных выше барабанах Клегга и Турка и клапане Моргана предусмотрены гидравлические затворы, вследствие чего, при условии тщательного выполнения, мы не имеем утечки газов в дымовую трубу. Тем не менее при всех описанных выше конструкциях *имеются некоторые потери газов во время самой перекидки*. Эти потери вызваны следующими причинами:

а) Во время самой перекидки (т. е. поворачивания бабочки клапана Сименса, подъема и поворота барабана Клегга, подъема лягушки клапана Моргана) происходит так называемое „короткое замыкание“, т. е. прямое сообщение между газовыми и дымовыми каналами. В результате газ, вследствие тяги дымовой трубы, направляется в последнюю. Этой потери можно избежать, если прикры-

вать перед перекидкой шибер в дымовом борове за газовым клапаном или вентиль в газопроводе. Но этого обычно не делается. Потерю газа по этой причине можно оценивать, примерно, в 1% от всего расхода газа.

Так как потери газа, до известной степени, пропорциональны тому промежутку времени, в течение которого имеется прямое сообщение между газопроводом и дымовым бором, то для уменьшения потерь газа следует производить перекидку, по возможности, *быстро*. За границей перекидку больших клапанов производят очень часто электромоторами или гидравлическими двигателями. Это весьма целесообразное мероприятие, к сожалению, у нас еще до сих пор не применяется.

б) В момент перекидки газового клапана тот газ, который находился в газовом регенераторе, в горелках и газовом канале, — не поступает в печь, а идет обратно через клапан в дымовую трубу. Следовательно, при каждой перекидке мы имеем неизбежную потерю газа в том количестве, которое нужно для заполнения газового канала, регенератора и газовых шахт горелок. Эта потеря является совершенно неизбежной. Но, кроме того, мы имеем еще потери, вызываемые тем обстоятельством, что обычно газовые и воздушные клапаны переводятся не одновременно, но сперва газовый, а потом воздушный; это вызывает дополнительные потери газа. В самом деле, предположим, что у нас шел огонь слева направо. После перекидки одного только газового клапана газ начинает поступать в правый регенератор и в соответствующие горелки, но не поступает в стойло печи, а вытягивается дымовой трубой через средние воздушные регенераторы, так как последние в это время приключены еще к трубе (воздушный клапан еще не перекинут). С противоположной стороны в это время воздух протягивается в дымовую трубу через газовые регенераторы. В результате, в это время в дымовом бором получается смесь генераторного газа и воздуха, которая — при наличии определенных соотношений между ними и высоких температур — может дать взрыв.

Иногда высказываются соображения о том, что если сделать некоторый интервал между перекидкой газа и воздуха, то опасность взрыва исключается. Но это мнение является ошибочным, так как в этом промежутке в дымовой бором поступает одновременно как генераторный газ, так и воздух. Поэтому, для уменьшения потерь газа при перекидке целесообразно организовать последнюю таким образом, чтобы перевод воздуха следовал немедленно за переводом газа или даже одновременно с ним. Если все же имеются опасения насчет возможности хлопков, то вопрос лучше всего проверить опытным путем, а именно: постепенно уменьшать промежутки между переводом газа и воздуха.

7. ПЕРИОДЫ ПЕРЕКИДКИ

Очень важным является вопрос о том, через какие промежутки времени целесообразно производить перевод огня. Точный и полный ответ на данный вопрос требует в каждом отдельном случае очень

детальных и кропотливых подсчетов; поэтому мы вынуждены ограничиться только изложением тех соображений, которые диктуют выбор оптимальных промежутков между перекидками.

При каждой перекидке мы имеем неизбежные потери газа, о чем говорилось выше. Кроме того, сама перекидка требует затраты известного количества рабочего времени и рабочей силы. Эти два соображения говорят в пользу целесообразности производить перекидку реже.

Но, с другой стороны, имеются очень веские соображения, которые говорят в пользу частых перекидок. Для того, чтобы уяснить себе этот вопрос, — следует вспомнить принцип работы регенератора.

Когда через него проходят отходящие газы, то в насадочной решетке накапливается определенное количество тепла, которое после перекидки отдается газу и воздуху. Чем больше тепла накапливается в насадке в определенный промежуток времени, тем сильнее подогреваются газ и воздух и тем работа регенераторов получается эффективнее. Как же происходит поглощение тепла насадочным кирпичом от дымовых газов и отдача его газу и воздуху? Оказывается, что этот процесс не идет равномерно; первое время после перекидки он идет весьма усиленно, а потом все слабее и слабее.

Этот вопрос подтвержден и теоретическими подсчетами и специальными замерами температуры в насадочном кирпиче. Для иллюстрации на рис. 43 показаны результаты замеров температуры в насадочном кирпиче толщиной 6,3 см. На вертикальной оси отложены температуры, а на горизонтальной —

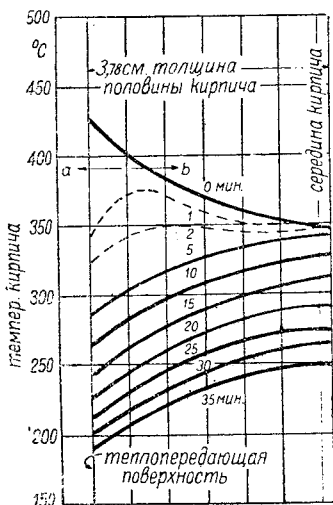


Рис. 43. Результаты измерений температур в насадочном кирпиче в зависимости от времени и места.

половина толщины кирпича (слева — его наружная, тепло передающая поверхность, а справа — его середина). Кривые показывают распределение температур, начиная с момента перекидки, в данном случае, — пуска холодного воздуха. Цифры над кривыми указывают, через сколько минут после пуска воздуха произведены замеры. Верхняя кривая (0 минут) показывает, что в начальный момент температура поверхности была около 420°. Через 5 минут она составляет 285° (падение — 135°); через 10 минут после момента перекидки температура — 265° (падение за эти 5 минут 20°). Чем дальше, тем изменение температур за тот же промежуток времени (5 минут) все меньше и меньше. В середине кирпича также наблюдается падение температуры, но значительно меньшее, чем на поверхности (выше мы говорили о том, что середина кирпича работает хуже, нежели наружные слои). На этом примере видно, что чем дольше период перекидки, тем работа насадки

менее эффективна. Иными словами, для того, чтобы в какой-либо отрезок времени накопить больше тепла в насадке и отдать его воздуху и газу (т. е., иными словами, для того, чтобы лучше подогреть газ и воздух), — требуется производить перекидку чаще.

Если этот вопрос изучать более глубоко, то оказывается, что чем тоньше насадочный кирпич, чем меньше размеры (относительные) регенераторов, — тем чаще следует устраивать перекидку.

Весьма существенным является также следующее обстоятельство. После перекидки температура подогрева газа и воздуха сначала высока, а затем постепенно понижается; в результате понижается также температура печи (до следующей перекидки). Следовательно, чем реже производить перекидку, тем колебания температуры в печи больше (а это особенно нежелательно при механизированном производстве), и это говорит в пользу более частых перекидок.

Выше мы указывали, что при каждой перекидке имеются неизбежные потери газа. С другой стороны, с точки зрения эффективности работы регенераторов и печи, целесообразнее перекидывать чаще. Поэтому, необходимо найти некое среднее, оптимальное решение. Обычно на наших печах перекидка производится каждые полчаса. Кое-где перекидка производится один раз в час. Такую перекидку нужно считать слишком редкой, так как при этом в недостаточной мере используется насадочная решетка и хуже подогревается газ и воздух.

Следует обратить внимание на то, что при печах с очень маленькими регенераторами (по отношению к печи) зачастую представляется целесообразным производить перекидку чаще (через 20 и даже 15 минут). Хотя это, несомненно, является хлопотливым и требует более тщательного надзора, но должно дать положительный эффект в работе печи, так как при слишком малых регенераторах подогрев газа и воздуха низок. При таких печах потери газа во время самых перекидок — даже если они довольно часты — не составят очень больших величин, так как объем регенераторов мал и при каждой перекидке теряется сравнительно небольшое количество газа.

Можно рекомендовать работать с более частыми перекидками, если, в результате засорения насадочной решетки, последняя неполностью работает и не достигается хорошего подогрева газа и воздуха. В этом случае мы имеем явление, аналогичное с наличием слишком малых регенераторов.

IX. РЕКУПЕРАТИВНЫЕ ВАННЫЕ ПЕЧИ

Ванные стекловаренные печи работают всегда с использованием тепла отходящих газов для нагрева воздуха, а часто также и генераторного газа. Имеется два основных типа установок для этой цели: *регенераторы и рекуператоры*.

Сущность регенеративного процесса, сами регенераторы и регенеративные ваннные печи подробно описаны в предыдущих главах.

Рекуперативные ваннные печи играют у нас значительно меньшую роль (в Союзе имеется только одна небольшая рекуперативная горшковая и строится одна рекуперативная ванная печь). Освещение этого вопроса мы все же считаем необходимым, поскольку за границей рекуперативные печи сильно распространены (правда, меньше регенеративных) и поскольку в последние годы в Америке стали находить довольно широкое применение чрезвычайно интересные как с технической стороны, так и с точки зрения достигнутых результатов рекуперативные печи, спроектированные фирмой Амслер-Мортон К°. В настоящей главе мы дадим описание нескольких типов рекуператоров, затем опишем рекуперативную печь и в заключение дадим сравнение регенеративных и рекуперативных печей.

I. ГЛАВНЫЕ ТИПЫ РЕКУПЕРАТОРОВ

Рекуператор представляет собой не что иное, как систему каналов, по которым идут отходящие газы, отдавая свое тепло через стенки труб (каналов) движущемуся им навстречу между трубами холодному воздуху. Иногда же по трубам движется воздух, а трубы снаружи омываются отходящими газами. Вначале для этой цели применялись железные и чугунные трубы; но они оказались непригодными для температур выше 500° (металл быстро перегорает). Поэтому был введен в обращение огнеупорный шамотный припас (и карборунд).

Конструкций шамотных рекуператоров имеется очень много. Для этой цели применяется обычный шамотный кирпич, фасонные плитки и фасонные трубы, начиная от самых простых и кончая весьма сложными. Мы не имеем возможности описать все, даже самые важные, конструкции и ограничиваемся описанием только трех типов, отсылая интересующихся к специальной литературе.¹

¹ Грум-Гржимайло, „Пламенные печи“, ч. III, стр. 68—71, Москва, 1925 г.; Одкин и Коузен, „Руководство по стеклоделанию“, стр. 523—547, Москва, 1931 г.;

Дралле-Кеппелер, „Производство стекла“, т. I ч. II, стр. 595—601 и 616—621.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РЕКУПЕРАТОРЫ

На рис. 44 показаны рекуперативные трубы известного конструктора Германсена. Эти фасонные трубы кладутся в притык одна к другой; по ним идут отходящие газы, а между ними — в перпендикулярных к ним зазорах — движется воздух. Последний движется зигзагообразно снизу вверх, а дымовые газы — зигзагообразно в несколько оборотов сверху вниз. Тепло от отходящих газов передается через стенки труб воде, которая занимает пространство между ними.

Имеется много типов рекуператоров, построенных по тому же самому принципу, что и рекуператоры Германсена. Разница заключается в различном фасоне труб и взаимном сопряжении их друг с другом, а также в том, идут ли дымовые газы по трубам, а воздух — между ними или наоборот. Все эти конструкции имеют одну общую особенность, заключающуюся в том, что трубы расположены горизонтально. Такие рекуператоры называются часто *горизонтальными*.

Основной дефект таких рекуператоров обуславливается следующим свойством кирпичной кладки. Если мы нагреваем кирпичную кладку, то при расширении каждый кирпич толкает соседние и кладка раздается в стороны. При охлаждении кирпичи сжимаются и в швах образуются зазоры. Интересно, что при следующем нагревании эти зазоры не закрываются, вследствие трения кирпичей друг о друга, и кладка вновь раздается и зазоры расширяются. *Появление щелей между рекуперативными элементами является самым серьезным недостатком рекуператоров*; при горизонтальных рекуператорах этот недостаток почти совершенно неизбежен. В результате, через эти щели подогреваемый воздух может поступать в дымовые каналы и оттуда в трубу. При этом эффективность работы рекуператора, т. е. степень подгрева воздуха, сильно уменьшается, так как, с одной стороны, часть уже подогретого воздуха бесполезно теряется (уносится в дымовую трубу), а с другой стороны благодаря засосу воздуха температура отходящих газов падает, что также уменьшает степень подгрева воздуха.

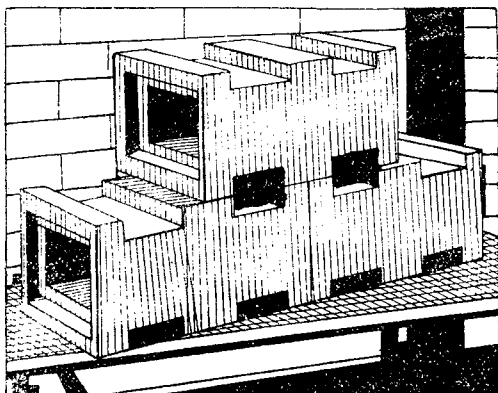


Рис. 44. Рекуперативные трубы Германсена.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ РЕКУПЕРАТОРЫ

Учитывая эти недостатки горизонтальных рекуператоров, были предложены *рекуператоры с вертикальными трубами*. Одна из таких конструкций, известная под названием *Штейн-Чапмана*, показана на рис. 45. Рекуператор состоит из фасонных труб, внутри которых имеется по четыре канала небольшого сечения. *Трубы устанавливаются одна на другую*, причем распираются специальными кирпичами, упирающимися на специальные реборды (выступы), имеющиеся на трубах.

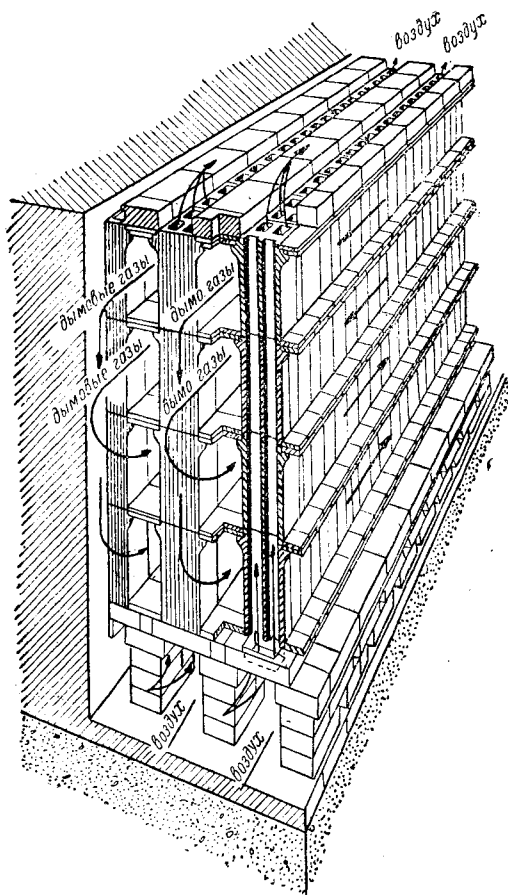


Рис. 45. Рекуператор Штейн-Чапмана.

Воздух поступает в нижнюю часть рекуператора и, проходя по специальным горизонтальным каналам, распределяется между вертикальными каналами в трубах и поднимается по ним. Дымовые газы проходят через широкие каналы, расположенные между трубами. Движение дымовых газов зигзагообразное, сверху вниз в несколько оборотов (на рисунке два оборота). В описанном рекуператоре единственные соединения, через которые мог бы просачиваться воздух в отходящие газы, расположены горизонтально и плотность обеспечивается здесь тесным прилеганием друг к другу кирпичей (вследствие их веса). Это обстоятельство является основным преимуществом вертикальных рекуператоров.

Следует обратить внимание на то, что каналы для дымовых газов сделаны значительно большего сечения, чем для воздуха. Объясняется это, помимо ряда других причин, также и тем, что в отходящих газах стекловаренных печей обычно содержится некоторое количество пыли; засорение широких каналов происходит не так интенсивно, как узких, и, кроме того, они легче могут быть прочищены через пробки, расположенные в рубашках рекуператора против каждой трубы (с этой целью дымовые ходы горизонтальны).

На рис. 46 показана другая конструкция вертикального рекуператора, разработанная американской фирмой Амслер-Мортон К^о.

Основной ее принцип, а также направление движения воздуха и дымовых газов, идентичны с прежде описанной конструкцией; разница заключается, в основном, в следующем: у Штейн-Чапмана рекуперативные трубы ставятся вплотную друг к другу, так что каждая из них омывается дымовыми газами только с двух сторон; у Амслер-Мортонна каждая труба омывается отходящими газами со всех четырех сторон. Трубы Амслер-Мортонна проще по конфигу-

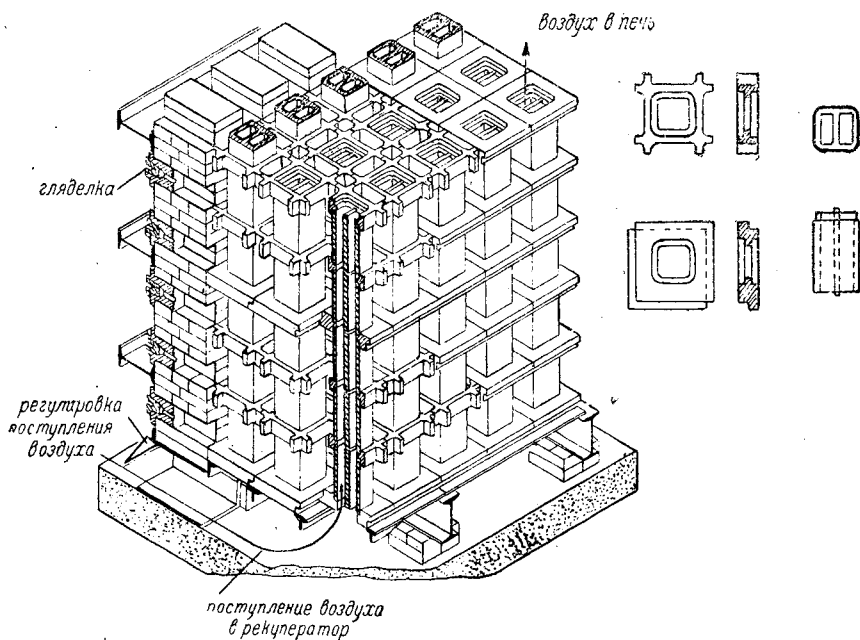


Рис. 46. Рекуператор Амслер-Мортон.

рации: в них отсутствуют реборды, и вместо четырех каналов предусмотрены два канала. Отдельные трубы распираются не кирпичами, а специальными фасонными хомутами.

Описанная конструкция представляется чрезвычайно удачной, и печи с такими рекуператорами, построенные за границей, дают прекрасные результаты.

Тем не менее, следует указать, что рассчитывать на полную газонепроницаемость рекуператоров не представляется возможным, и поэтому последние применяются исключительно для подогрева воздуха; все же попытки их применения для подогрева генераторного газа оказались неудачными из-за прососа генераторного газа в дымовые каналы, что влечет за собой большой перерасход топлива.

В последнее время за границей стали делать рекуперативные элементы из специального огнеупорного материала, так называемого „карбунда“; этот вопрос представляет для нас большой интерес, но из-за недостатка места мы лишены возможности его осветить здесь.

2. РЕКУПЕРАТИВНЫЕ ВАННЫЕ ПЕЧИ

ПЕЧЬ ТЕЙЗЕНА

На рис. 47 показана рекуперативная ванная печь, разработанная известным английским конструктором Тейзенем. Горелки расположены в боковых стенах печи, согласно схемы, показанной на рис. 11-г. Печь с протоком американской конструкции выстроена для механизированного производства стекла. Газ поступает из отдельного генератора через обычный газопровод; отходящие газы через дымовые пролеты поступают в рекуператоры, расположенные внизу под

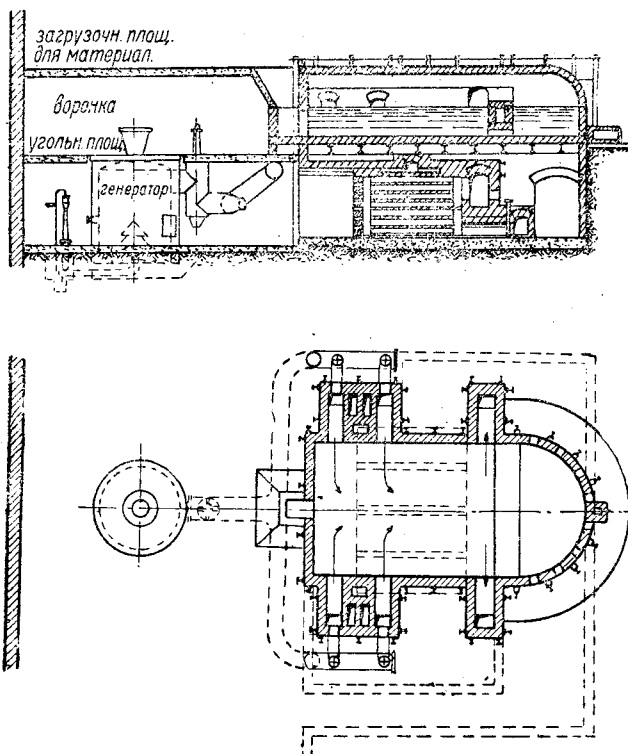


Рис. 47. Рекуперативная ванная печь Тейзена.

бассейном (это мы считаем неудачным, так как дно бассейна недоступно; лучше было бы расположить рекуператоры с боков печи).

Рекуператоров имеется несколько, так что любой из них можно выключить для осмотра, не прекращая работы остальных рекупе-

ПЕЧЬ АМСЛЕР-МОРТОНА

раторов, а, следовательно, и печи. Следует обратить внимание на то, что в этой печи предусмотрен специальный дымовой пролет в середине окружности выработочного отделения; регулируя его свободное сечение задвижкой, можно изменять количество пламенных газов, поступающих в выработочное отделение, а, следовательно, и температуру в последнем.

На рис. 48 показаны план, продольный и поперечный разрезы рекуперативной ванный печи фирмы Амслер-Мортон. Печь с углубленным протоком, направление пламени — двойное подковообразное, поворачивающееся внутрь (рис. 11-а). Воздух поступает вниз рекуператора 8, нагревается в нем и оттуда идет в горелки 4. Туда же подведены форсунки для подачи жидкого топлива (на рисунке не показаны). Отходящие газы через дымовой пролет 5 поступают в подогреватель 6, назначение коего заключается в особо сильном подогреве воздуха; оттуда газы идут в рекуператор 8. Перед рекуператором расположен пылеотстойник (шлаковик) 7.

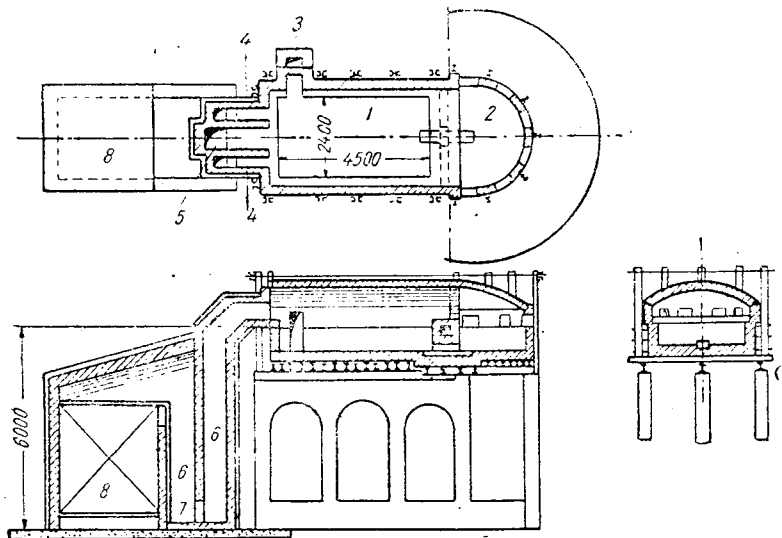


Рис. 48. Рекуперативная ванная печь Амслер-Мортон:

1 — варочное отделение, 2 — выработочное отделение, 3 — загрузочный карман, 4 — горелки, 5 — дымовой пролет, 6 — подогреватель, 7 — пылеотстойник (шлаковик), 8 — рекуператор.

Основные размеры и показатели печи следующие: площадь зеркала варочного бассейна — $10,8 \text{ м}^2$, площадь выработочного — $4,75 \text{ м}^2$, общая площадь зеркала — $15,5 \text{ м}^2$, глубина бассейна — 700 мм , суточная производительность — 10 тонн стекломассы, удельный съем стекла — 930 кг/м^2 в сутки. Печи последнего типа получили в последнее время довольно большое распространение в США и представляют для нас, несомненно, очень большой интерес. На рис. 49 показан продольный вид такой печи с углубленным протоком.

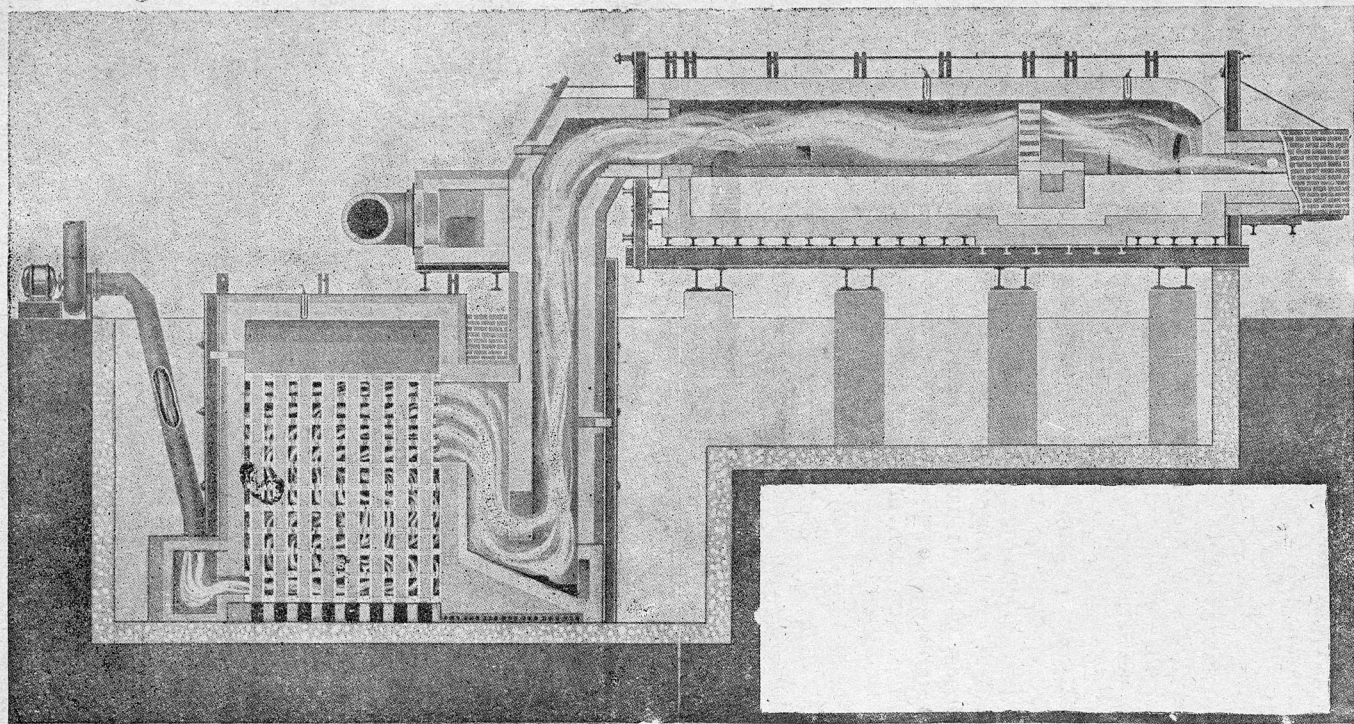


Рис. 49. Продольный разрез печи Амелс-Мортонэ,

3. СРАВНЕНИЕ РЕКУПЕРАТИВНЫХ И РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПЕЧЕЙ

Вопрос о сравнительных преимуществах регенеративных или рекуперативных печей долгое время вызывал горячие дискуссии среди стекольщиков. Хотя регенеративные печи более распространены, нежели рекуперативные, тем не менее последние пользуются большой популярностью, главным образом, в Англии и других западно-европейских странах, а в последнее время — также и в США. В виду этого отметим достоинства и недостатки каждого из этих типов печей.

Преимущества рекуперативных печей заключаются в следующем

а) Эти печи занимают меньше места и постройка их дешевле.

б) Рекуперативная печь работает непрерывно; в ней отсутствуют переводные устройства, благодаря чему, помимо упрощения обслуживания, достигается стабильный режим. Это обстоятельство является очень серьезным преимуществом, особенно в тех случаях, когда по условиям механизированной выработки стекла предъявляются серьезные требования к стабильности термического режима. Поэтому для подогрева выработочного бассейна ваннных печей и для регулировки температур за границей иногда пользуются рекуперативным отоплением. Оно также применяется для отопления так называемых „вращающихся ванн“, служащих для питания вакуумных машин (см. выше описание к рис. 29).

Крайне целесообразным представляется переход от регенеративного отопления к рекуперативному отоплению каналов Фурко, в виду очень серьезных требований, предъявляемых к стабильности термического режима.

К недостаткам рекуперативных печей следует отнести следующие моменты:

а) В рекуператорах можно подогревать только воздух, в то время, как в регенераторах можно подогревать и газ. Практика, а также теоретические подсчеты показывают, что при наличии холодного генераторного газа работать в ваннных печах с подогревом одного только воздуха чрезвычайно неэкономично (большой расход топлива). Поэтому рекуперативные ваннные печи отпадают при работе на дровяном и торфяном генераторном газе, а могут применяться только при работе на жидком топливе и богатом газе; при работе на каменном угле рекуперативные печи могут применяться только в том случае, если газогенераторы расположены рядом с печью (рис. 47) и если последняя питается горячим генераторным газом.

б) Степень подогрева воздуха в рекуператорах обычно немного ниже, чем в регенераторах, хотя в новейших конструкциях рекуператоров этот недостаток устранен.

в) Для рекуператоров требуется специальный фасонный запас высшего качества и самая тщательная кладка. Те или иные дефекты в рекуперативных трубах, какие могут появиться в процессе эксплуатации (трещины, посечки), могут вывести рекуператор и печь из

строю. Регенераторы в этом отношении значительно более неприхотливы, чем рекуператоры.

Следует все же указать, что известны отдельные случаи, когда рекуперативные печи работали много лет без всяких ремонтов рекуператоров.

г) При постройке рекуператоров следует обращать особое внимание на закладку фундамента, так как появление даже незначительных неравномерных осадок вызывает расстройство всего рекуператора. Поэтому рекуператоры не применяются для очень больших современных печей.

Резюмируя все сказанное, можно констатировать, что для больших ванн печей регенераторы являются более целесообразными. Только они применимы в случае работы на торфяном и дровяном газе и при работе на каменном угле в том случае, если предусматривается центральная генераторная станция с очисткой газа и с разводкой его по всему заводу.

При постройке небольших печей, работающих на жидком топливе или богатом газе и каменном угле (при индивидуальных газогенераторах), — рекуперативные печи в некоторых случаях могут являться более целесообразными. Учитывая почти полное отсутствие у нас практического опыта в этой области, в настоящее время может идти речь о постройке отдельных подлежащих испытанию агрегатов. Вопрос этот представляет для нас особый интерес ввиду тех высоких показателей, которые достигнуты в последние годы за границей на новых типах рекуперативных печей.

1. НАЗНАЧЕНИЕ ГОРЕЛОК

В вапных печах горелки подводят горячий газ (или жидкое топливо) и необходимый для горения воздух; в регенеративных печах через эти горелки отводятся в регенераторы продукты горения. В горелках должна иметь место подготовка к смешиванию газа (нефти) с воздухом и даже смешивание таковых. Длина пламени, максимальная температура и кривая распределения температур пути движения газов, излучающая способность пламени и его химическое воздействие на стекло — в весьма сильной степени зависят от конструкции и от размеров горелок.

Правильная конструкция горелок оказывает, хотя и не главное, но во всяком случае немаловажное влияние на производительность печи, качество стекла и расход топлива. Продолжительность службы как самих горелок (влетов), так и свода печи в весьма сильной степени зависит от целесообразного выбора горелок.

Для критического анализа различных конструкций горелок нам необходимо предварительно несколько подробнее остановиться на законах горения, мероприятиях для ускорения и замедления этого процесса и, наконец, на способах отдачи тепла в стойле стекловаренных печей.

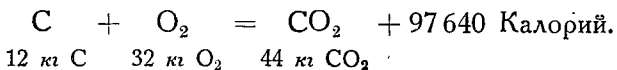
2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ГОРЕНИЯ

Горение представляет собой процесс быстрого химического соединения горючих частей топлива (главным образом, углерода и водорода) с кислородом воздуха, идущий с сильным выделением тепла. Для горения топлива нам необходимо подводить воздух; но в реакциях горения участвует только кислород воздуха а азот является как бы балластом и в реакциях горения не участвует. В генераторном газе также имеется балласт; в основном, это — азот (который вводится с воздушным дутьем при газификации топлива) и водяные пары (образующиеся, главным образом, за счет испарения влаги топлива и в результате того, что обычно некоторая часть пара, прибавляемая к воздушному дутью, не разлагается в генераторе).

Эти балластные вещества не принимают участия в процессе горения; в нем участвует только так называемые горючие составные части топлива. К ним относятся в генераторном газе,

главным образом, следующие газы: окись углерода, или угарный газ (CO), водород (H₂), углеводороды, в первую очередь метан (CH₄) и этилен (C₂H₄).

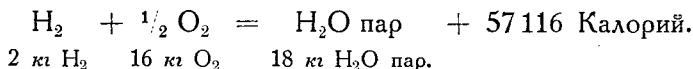
Жидкое топливо (мазут, нефть, керосин, бензин, смола и т. п.) состоит, в основном, из углеводородов; его главными горючими составными частями являются углерод (C) и водород (H₂). Приведем реакции горения главнейших составных частей топлива:



Эта формула указывает, что 12 кг углерода, соединяясь с 32 кг кислорода, образуют 44 кг углекислого газа и что при этом выделяется 97 640 Калорий.

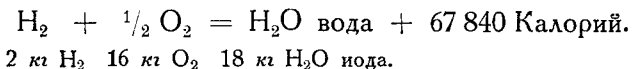
Следовательно при горении 1 кг углерода выделяется: $97\,640 : 12 = 8\,140$ Калорий. Эта последняя величина, т. е. количество тепла, выделяемое при горении 1 кг углерода — называется теплотворной его способностью.

Горение водорода происходит по следующей формуле:



Эта формула говорит о том, что в исходных продуктах получается H₂O в виде пара. Дело в том, что H₂O может содержаться в отходящих газах в виде пара или же в виде конденсированной воды. В последнем случае количество выделяемого при горении тепла будет больше, так как при конденсации пара (т. е. при превращении его в воду) выделяется так называемая *скрытая теплота парообразования*, т. е. тепло, необходимое для превращения воды в пар.

Поэтому, если в конечных продуктах H₂O будет в виде воды, то при горении выделится больше тепла, и формула горения будет иметь следующий вид:

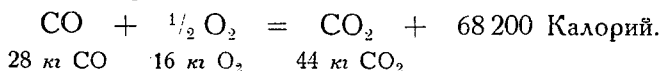


Если количество выделяющегося при горении водорода тепла относить к 1 кг, то мы получим следующие значения теплотворной способности 1 кг водорода: в первом случае — $57\,116 : 2 = 28\,558$ Калорий или *низшая* теплотворная способность; во втором случае — $67\,840 : 2 = 33\,920$ Калорий или *высшая* теплотворная способность.

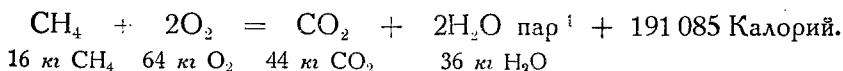
При расчетах печей, а также и котлов, обычно, пользуются значением низшей теплотворной способности, так как температура отходящих газов настолько высока, что пары не конденсируются в воду.

Формулы горения для других составных частей генераторного газа имеют следующий вид:

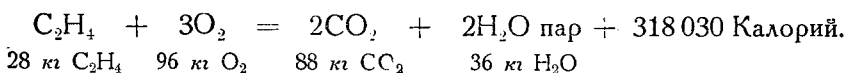
Окись углерода



Метан



Этилен



Очень часто все расчеты, относящиеся к газообразному топливу, ведут в м³ газа. Поэтому нам важно знать *теплотворную способность 1 м³ газа*, т. е. количество тепла, выделяемого при горении этого количества газа.

Эту величину легко определить, если исходить из того факта, что при атмосферном давлении и температуре 0° объемы двух кг водорода или 28 кг окиси углерода или 16 кг метана или 26 кг этилена — одинаковы и равны 22,4 м³ (точнее 22,412 м³). Следовательно, достаточно разделить указанные в формулах количества выделяемого тепла на 22,412 для того, чтобы получить *теплотворную способность 1 м³ данного газа*.

Таким образом, *теплотворная способность 1 м³ газа* составляет:

для водорода — $57\,116 : 22,412 = 2\,580$ Калорий (низшая теплотворн. способность);

для водорода — $67\,840 : 22,412 = 3\,062$ калорий (высшая теплотворн. способность);

для окиси углерода — $68\,200 : 22,412 = 3\,043$ Калорий;

для метана — $191\,085 : 22,412 = 8\,526$ калорий (низшая теплотворн. способность);

для этилена — $318\,030 : 22,412 = 14\,190$ Калорий (низшая теплотворн. способность).

Если мы знаем состав генераторного газа, то легко подсчитать его *теплотворную способность*. Например, генераторный газ содержит следующие горючие составные части: CO — 23,6⁰/₁₀, H₂ — 13,8⁰/₁₀, CH₄ — 2,7⁰/₁₀, C₂H₄ — 0,5⁰/₁₀ по объему. Следовательно, в 1 м³ газа содержится 0,236 м³ CO, 0,138 м³ H₂, 0,027 м³ метана и 0,005 м³ этилена.

При горении 0,236 м³ окиси углерода выделяется тепла: $3043 \times 0,236 = 718$ Калорий.

¹ Как мы уже указывали выше, при подсчетах принимается обычно величина *низшей теплотворной способности*; это относится не только к водороду, но и к другим веществам, в состав которых входит водород (например, метан и этилен).

Аналогичным образом можно подсчитать количество тепла, выделяемое при горении других горючих частей газа. Обычно, подсчет удобнее вести в следующем виде:

При горении	CO	—	3 043 × 0,236	=	718	Калорий.
"	"		H ₂	—	2 580 × 0,138	= 356
"	"		CH ₄	—	8 526 × 0,027	= 230
"	"		C ₂ H ₄	—	14 190 × 0,005	= 71

Теплотворн. способность 1 ж.³ газа = 1 375 Калорий.

Теплотворную способность 1 кг твердого или жидкого топлива подсчитывают по другим формулам. Мы не имеем возможности останавливаться здесь на этом вопросе и ограничимся только указанием на то, что теплотворная способность 1 кг нефти и мазута равна, приблизительно, 10 000 калорий.

3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УСКОРЕНИЕ И ЗАМЕДЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ

Предварительно нужно остановиться на вопросе о том, что представляет собою так называемое *пламя*. Процесс горения идет во времени, т. е. на совершение реакций горения и выделения при этом тепла нужен известный отрезок времени. То, что мы видим постоянно в печах и что называем *пламенем*, есть *смесь горючих газов с воздухом, в которой процессы горения еще не закончены*. Когда же процессы горения в этой смеси заканчиваются, то газы становятся совершенно непрозрачными и мы не наблюдаем больше явления пламени.

Длина пламени, характер его и степень воздействия на стекломассу и печь зависят от интенсивности горения. Следовательно, чрезвычайно поучительно ознакомиться с теми факторами, которые влияют на скорость горения, так как это, в свою очередь, дает возможность применять те или другие мероприятия для ускорения или замедления этого процесса. Основными факторами, которые влияют на скорость горения, являются: состав газа, температура газа и печи, степень перемешивания горючего с воздухом, степень избытка воздуха.

СОСТАВ ГОРЮЧЕГО

Процесс горения состоит, как известно, в том, что частицы горючего, встречая необходимое количество частиц кислорода, соединяются с ними и при этом выделяется тепло. Вполне понятно, что чем скорее каждая частица горючего встретит соответствующие частицы кислорода, тем скорее будет идти процесс горения. Поэтому, чем меньше инертных (т. е. не участвующих в реакциях) частиц имеется в смеси, тем реакция горения идет быстрее. К таким инертным частям принадлежит, прежде всего, содержащийся в атмосферном воздухе азот. Инертные частицы имеются также и в топливе. Например, в генераторном газе таким балластом являются, большей частью, азот и водяные пары.

Всякий работающий на печах мог наблюдать, что при работе на очень влажном топливе (т. е. при наличии в газе большого количества водяных паров) пламя получается коптящим и весьма длинным, т. е. процесс горения затягивается и, сплошь и рядом, не успевает закончиться в стойле печи. *Чем в газе меньше балласта, чем он богаче, — тем процесс горения идет быстрее.* На этом основана целесообразность применения очищенного, т. е. осушенного газа при работе на влажном топливе.

На скорость горения оказывает влияние не только количество инертных веществ, содержащихся в горючем, но и *состав* последнего. Дело в том, что *разные горючие газы горят с разной скоростью, одни — быстрее, другие — медленнее.* Быстрее всех горит водород; затем следует окись углерода. Углеводороды горят медленнее всего, причем, чем они тяжелее (т. е. чем больше в каждой молекуле содержится атомов углерода и водорода), тем горение идет медленнее. При горении углеводородов в первую очередь соединяется с кислородом содержащийся в них водород, а углерод выделяется в виде мельчайших частиц в твердом состоянии и затем сгорает уже с кислородом. Поэтому, если по тем или иным причинам он не сможет сгореть (недостаток кислорода, слишком низкая температура), то этот углерод может отложиться в виде копоти или кокса. Такое коптящее пламя, а также выделение кокса чаще всего наблюдается при разогреве холодных печей и хорошо знакомо обслуживающему персоналу.

Состав топлива мы, обычно, не имеем возможности менять; наоборот, приходится к нему приспособляться в том отношении, чтобы различными мероприятиями устранить те или иные дефекты горения данного топлива. Так, при работе на бедном топливе с большим количеством балласта, — целесообразно применять мероприятия, интенсифицирующие процессы горения. При богатых же газах с большим содержанием водорода (например, коксовый газ), нужно замедлять процесс горения. При работе же на естественном газе, который, в основном, состоит из метана и сравнительно медленно горит, — следует принимать меры для ускорения процесса.

ТЕМПЕРАТУРА

Всем печникам хорошо известно, как трудно разогревать холодные печи на газу и нефти. Часто имеет место затухание пламени или даже взрывы. Объясняется это тем, что поддерживать процесс горения при низких температурах является очень трудным; поэтому в таких печах до подвода газа обычно разводят костер для того, чтобы *создать устойчивый очаг горения.* Дело в том, что при низких температурах горючие газы очень медленно реагируют с кислородом. Так, по произведенным опытам, при изучении реакции $H_2 + O = H_2O$ оказалось, что в три минуты соединились:

при 180°	200°	240°	330°	430°	620°	825°	845° Ц
0,04%	0,12%	1,3%	9,8%	39,8%	84,5%	96,1%	взрыв.

Из этого следует, что в условиях практики энергичное горение водорода возможно только при температуре очага горения в 850°C . Примерно, так же обстоит дело при сжигании других горючих газов.

В стекловаренных печах мы, обычно, имеем значительно более высокие температуры и, следовательно, вполне достаточные для поддержания интенсивного горения. Иначе обстоит дело при выводке этих печей — их приходится до пуска газа разогревать на твердом топливе до температур порядка 700°C . Зависимость скорости горения газов от температуры печи можно наблюдать при пуске газа после холодных и горячих ремонтов: из-за сравнительно невысоких температур пламя получается очень длинным и темным.

На быстроту горения влияет не только температура печи, но, в значительной мере, также *температура подогрева газа и воздуха в регенераторах*. Чем она выше, тем скорость горения больше. Это легко наблюдать в тех случаях, когда по тем или иным причинам регенераторы сильно застыли (горячие ремонты со сменой насадки и т. п.); пламя получается очень длинным и холодным. Значение высокой температуры печи для интенсивного развития реакции горения иллюстрируется также необходимостью создавать специальные камеры горения в печах, работающих в области низких температур (например, для отжига стекла).

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СМЕШИВАНИЕ ГОРЮЧЕГО С ВОЗДУХОМ

Чем полнее и лучше производят перемешивание горючего с воздухом, тем быстрее идут реакции горения. Это не требует особых пояснений, так как каждая частица газа вступает в реакцию горения только тогда, когда она встретит необходимого количества частиц воздуха. Если бы мы подали в камеру горения уже *полностью* смешанный газ и воздух, то получилось бы *моментальное горение, иными словами, — взрыв*. Поэтому в горелках производится только подготовка к смешиванию или начало такового с тем, чтобы основные явления смешивания и реакции горения происходили в стойле печи и, притом, постепенно.

Скорость смешивания газа с воздухом можно увеличить несколькими способами. Один из самых распространенных заключается в том, что газ и воздух встречаются под углом; при этом наблюдается явление удара, что интенсифицирует смешивание газов. Другим весьма распространенным способом является пропускание смеси газа и воздуха через отверстие меньшего сечения; благодаря сжатию струи усиливается смешивание газа с воздухом. Это мероприятие применяется почти на всех конструкциях горелок, в чем можно убедиться из рассмотрения нижеприводимых рисунков. Третьим, весьма радикальным, способом улучшения смешивания является подача горючего в распыленном виде. Это, в первую очередь, относится к сжиганию жидкого топлива; чем последнее сильнее распылено, тем горение идет интенсивнее и скорее заканчивается. Аналогичное явление встречается и при газовых горелках: если газ подводить к воздуху не в виде одной большой струи, а в виде нескольких небольших, то перемешивание а, следовательно,

и сгорание идет усиленное. Эффективным мероприятием является также подача одного из компонентов с относительно *большой* скоростью, чем другого, так как благодаря создающимся на поверхности соприкосновения вихрям—процесс смешивания сильно ускоряется.

Все выказанные соображения нужно иметь в виду при рассмотрении горелок и их конструировании. По сути дела, поскольку состав газа и температура подогрева в регенераторах нам обычно заданы, мы можем влиять на длину и характер пламени главным образом путем придания горелке тех очертаний и тех размеров, при которых создаются оптимальные условия с точки зрения предварительного смешивания газов.

ИЗЫТОК ВОЗДУХА

Другим серьезным фактором, который имеется в нашем распоряжении для регулирования процессов горения в печи, является изменение соотношения между газом и воздухом (мероприятие чисто производственно-эксплуатационного порядка).

Количество воздуха, необходимого для сжигания любого топлива, легко определяется на основании формул, приведенных в начале этой главы. Необходимо только помнить, что на каждую 21 часть кислорода приходится еще 79 частей азота.

Такое количество воздуха, которое как раз необходимо для того, чтобы имело место *полное* сгорание горючего,—называется *теоретическим количеством воздуха*, необходимого для горения. Иными словами, между расходом топлива и воздуха должно быть вполне определенное соотношение для каждого вида топлива. Если мы подаем в печь недостаточное количество воздуха, то мы работаем с так называемым *недостатком воздуха* (т. е. с избытком газа). Если воздух подается в количестве, превышающем теоретическое, то мы имеем горение с так называемым *избытком воздуха*. *Отношение количества действительно подаваемого воздуха к теоретически необходимому называется коэффициентом избытка воздуха*. Иногда же принято называть избытком воздуха ту величину, которая показывается в процентах, насколько количество действительно подводимого воздуха больше, чем теоретически необходимое. В печи мы можем работать с теоретическим количеством воздуха, с его недостатком или избытком. При этом меняется характер пламени и длина факела.

При недостатке воздуха реакции горения, естественно, не могут закончиться и мы получаем весьма длинное пламя, уходящее в обратные (приемные) горелки. Если увеличить количество воздуха до теоретически необходимого, то мы, казалось бы, должны были получить явление полного сгорания. Но практически дело обстоит иначе. Дело в том, что когда большая часть газа сгорит, то в смеси образуется много балласта, т. е. в данном случае продуктов полного сгорания; этот балласт как бы препятствует взаимной встрече остатков газа и воздуха и не позволяет достигнуть полного сжигания горючего. Если проанализировать в этом случае отходящие газы, то мы обнаружим наличие как горючих газов, так и кислорода.

При увеличении притока воздуха (т. е. если давать последний с избытком) скорость горения возрастает, и мы получаем более короткое пламя.

Но ввод излишнего воздуха имеет свои недостатки. Дело в том, что излишний воздух, который сам не участвует в реакциях горения, приходится все же подогревать до весьма высоких температур, что требует довольно большого количества тепла. Поэтому если мы работаем часто с избытком воздуха, то стараемся этот избыток брать, по возможности, меньшим и лишь в той степени, чтобы имело место полное или почти полное сгорание топлива. Нужно указать, что при удачном выборе горелки можно добиться этого результата, т. е. полного сгорания даже при минимальном избытке воздуха.

4. ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО СМЕШИВАНИЯ ГАЗОВ И ВЕЛИЧИНЫ ИЗБЫТКА ВОЗДУХА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР

Степень предварительного перемешивания газа с воздухом, а также величина избытка воздуха — в очень сильной мере влияют не только на длину факела, но и на распределение температур по его длине и на максимальную температуру. Дело в том, что при горении горячего выделяется некоторое вполне определенное количество тепла, благодаря чему повышается температура пламенных газов. Но в то же время имеет место отдача тепла от пламенных газов к зеркалу стекла и поверхности свода и стен. Если горение идет интенсивно, то в начале выделяется значительное количество тепла, которое не успевает полностью расходоваться и температура пламени сильно возрастает. Но пламя при этом получается очень коротким и на остальном протяжении температура значительно ниже, так как горение (т. е. выделение тепла) в основном уже закончено, а потери продолжают иметь место.

Иначе обстоит дело при медленном горении. Тепло выделяется значительно медленнее, но на более длинном участке, и поэтому максимум температур дальше от влета и притом он меньше, чем в предыдущем случае; но зато в дальнейшем температура не так сильно падает.

На рисунке 50 показаны различные случаи распределения температур по направлению движения газов в печи с поперечным направлением пламени. Левая часть рисунка (50-а) соответствует ускоренному горению, которое имеет место, например, в случае весьма интенсивного смешивания газа и воздуха в горелке или работы с чрезмерным избытком воздуха. Температура пламени очень быстро достигает своего максимума сейчас же после влета; так как процесс горения происходит быстро, то температура очень скоро падает. Пламенные газы покидают печь с температурой, которая все же выше температуры стекла.

Средний рисунок (50-б) изображает кривую температуры при нормальном горении; максимум температуры газов находится ближе

к середине печи (примерно, на расстоянии около $\frac{1}{3}$ ширины бассейна от влета). Максимальная температура в данном случае ниже, чем в предыдущем, так как горение происходит более медленно. Если процесс горения заканчивается в стойле печи, то такое горение следует считать нормальным (объяснение см. ниже).

Правый рисунок (50-в) изображает кривую температур в случае замедленного горения (например, при недостаточном смешивании газа и воздуха в горелках или работе с недостаточным количеством воздуха). Наивысшая температура имеет место во второй (правой) части печи и она ниже, чем в обоих предыдущих случаях. Процесс горения не заканчивается полностью в стойле печи, а только в приемных горелках или регенераторах (так называемый „перелет пламени“) и температура продуктов горения при входе в эти горелки выше, чем в обоих предыдущих случаях.

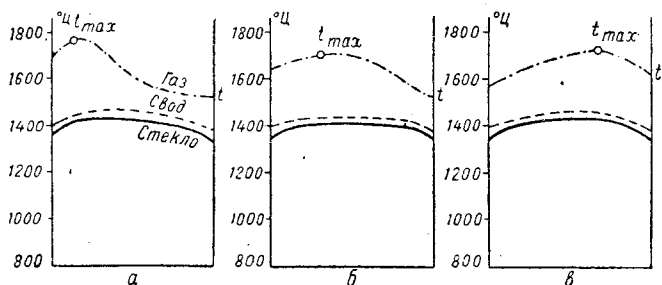


Рис. 50. Распределение температур в поперечном сечении печи (вдоль факела—направление пламени слева направо):
 а — при ускоренном горении, б — при нормальном горении,
 в — при замедленном горении.

С точки зрения чисто-теплотехнической, распределение температур по рис. 50-а кажется вполне целесообразным; но с точки зрения варки стекла оно не всегда желательно, так как из-за сильного падения температур во второй (правой) половине печи—варка стекла происходит там весьма медленно.

Распределение температур по рис. 50-б — в том случае, если температуры отходящих газов не выше, чем в предыдущем случае, и если процессы горения полностью закончились в стойле, — следует признать нормальным. Дело в том, что продукты горения уносят не больше тепла и коэффициент полезного действия будет не хуже, чем в предыдущем случае; но зато здесь имеется то преимущество, что варка стекла происходит более равномерно по всей поверхности бассейна.

Распределение температур согласно рис. 50-в следует признать совершенно неприемлемым по двум причинам. Во-первых, продукты горения уносят с собой из стойла значительно больше тепла, вследствие чего увеличивается расход топлива. Во-вторых, так как горение заканчивается в горелках и регенераторах, то имеет место преждевременный разгар таковых, который иногда принимает даже аварийный характер.

5. СПОСОБЫ ДОСТИЖЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР

При слишком форсированном смешивании газа (или нефти) с воздухом в горелке — может наблюдаться чрезмерное повышение в ней температуры и ее разгар. Если же процесс смешивания и горения идет замедленно и наблюдается перелет пламени, то разгорается уже та горелка, в которую поступают пламенные газы: мы имеем разгар горелки от „обратного“ пламени.

В зависимости от того, разрушаются ли горелки „прямым“ или „обратным“ пламенем,—следует вносить те или другие изменения в конструкцию горелок, а также соответственно регулировать подачу воздуха.

Если горелка быстро разгорается от действия прямого пламени, то целесообразно, при ближайшем ремонте, так ее переконструировать, чтобы затормозить смешивание газа с воздухом; необходимые для этого мероприятия указывались выше. Обычно, представляется также целесообразным работать с меньшим количеством воздуха.

Если же горение в печи идет слишком замедленно и наблюдается разгар горелок от „обратного“ пламени, то необходимо улучшить смешивание газа и воздуха в горелке путем конструктивных мероприятий. Обычно, также целесообразно несколько увеличить приток воздуха в печь.

Как же разобраться в том, происходит ли разгар печи и горелки от прямого или обратного пламени? При внимательном наблюдении за работой печи это можно очень просто и вполне безошибочно определить. Достигнуть этого можно, во-первых, путем наблюдения за обычным характером развития пламени печи, т. е. проверяя, работает ли печь с перелетом или нет. Большую помощь в этом вопросе могут оказать различные приборы для измерения температур, так называемые пирометры. С их помощью можно легко проверить, когда температура во влете выше: при прямом или обратном пламени. Не требует пояснения, что все эти наблюдения и измерения следует делать при том режиме, с которым обычно печь работает; желательно их произвести несколько раз в разное время для того, чтобы гарантировать себя от случайных ошибок.

Помимо указанных, есть один вполне достоверный и безошибочный способ проверить, на каком огне разгорается горелка — прямом или обратном. Дело в том, что от прямого огня может страдать только та часть горелки, в которой происходит уже смешение газа с воздухом; газовые же и воздушные вертикальные каналы горелки страдать не могут, так как температура подогретых в регенераторах газа и воздуха, до начала их смешения сравнительно невысока (порядка 1 000°). Если же горелка разрушается обратным пламенем, то есть все основания считать, что в ней будут разрушаться не только общий смесительный канал, но и газовые и воздушные ходы, а также разделительный язык. Этот момент может служить безошибочным мериллом для определения в высшей степени важного обстоятельства: страдают ли горелки от прямого или от обратного огня.

6. СПОСОБЫ ОТДАЧИ ТЕПЛА ОТ ПЛАМЕННЫХ ГАЗОВ СТЕКЛОМАССЕ

В пламенном пространстве стекловаренных печей тепло от пламенных газов передается стеклу четырьмя способами:

КОНВЕКЦИЯ

Частицы пламенных газов, приходя в непосредственное соприкосновение со стекломассой, передают ей свое тепло. На место остывших частиц газа приходят другие, которые, в свою очередь, также отдают тепло стекломассе непосредственным соприкосновением.

ИЗЛУЧЕНИЕ ПЛАМЕННЫХ ГАЗОВ

Излучением или *лучеиспусканием* называется такой способ передачи тепла, при котором между телом, излучающим тепло, и телом, поглощающим это тепло, — нет никакого *материального соприкосновения*. Тепло излучающего тела превращается в лучистую энергию, которая, в свою очередь, превращается в тепловую и нагревает более холодное тело. Самым важным случаем такого метода теплопередачи являются солнечные лучи. Накаленные газы также передают свое тепло более холодному стеклу на расстоянии, без непосредственного соприкосновения. Излучение пламенных газов мы можем ощущать, стоя у открытого окна печи.

ИЗЛУЧЕНИЕ САЖИСТОГО УГЛЕРОДА

В пламенных газах, обычно, заключается некоторое количество мельчайших частиц так называемого *сажистого углерода*; эти накаленные частицы создают „*светящееся*“ пламя. Наличие этих частиц сажистого углерода объясняется разложением при высокой температуре углеводородов на водород и сажистый углерод. Это разложение имеет место как при сильном нагреве генераторного газа в регенераторах, так и при горении углеводородов в стойле печи (причина последнего явления была объяснена выше).

ИЗЛУЧЕНИЕ СВОДА И СТЕН ПЕЧИ

Свод и стены стойла, обычно, нагреваются до более высокой температуры, чем поверхность зеркала и, следовательно, в этом случае передают излучением свое тепло стекломассе. Иными словами, мы имеем здесь дело как бы с отражением тепла от свода и стен.

СООТНОШЕНИЕ ОТДАЧИ ТЕПЛА РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

За последние 10 лет были произведены весьма серьезные работы по изучению отдачи тепла различными способами в промышленных печах, главным образом в металлургических. Так как условия работы стекловаренных печей весьма близки к условиям работы мартеновских, то отсюда можно сделать чрезвычайно интересные выводы, которые сильно расходятся с общепризнанными ранее взглядами.

Главную роль в передаче тепла стекломассе играет излучение сажи пламенных газов; особенно сильной излучающей способностью обладает углекислый газ и водяные пары. Этим способом передается преобладающее количество тепла (во всяком случае, больше половины).

Наличие сажистого углерода, который придает пламени светящийся характер,—в весьма значительной мере усиливает теплопередачу стеклу. Раскаленные частицы углерода не только передают стеклу то тепло, которое выделяется при их сгорании, но и воспринимают тепло окружающих их частиц газа и передают его, в свою очередь, излучением стеклу. Усиление излучения пламени при наличии сажистого углерода объясняется тем, что твердые тела (сажистый углерод) обладают большей излучающей способностью, чем газы.

Как показали многочисленные опыты, а также практика работы на печах, отапливаемых коксовым газом (в котором отсутствуют углеводороды)—отдача тепла при несветящемся пламени той же температуры значительно меньше. Поэтому часто прибегают к так называемому *карбюрированию* этих газов, т. е. к обогащению их углеводородами путем добавки некоторого количества нефти или смолы.

Передача тепла конвекцией — значительно меньше, чем лучеиспусканием газов. Следует указать, что раньше придавали передаче тепла конвекцией очень большое значение и поэтому так конструировали горелки, чтобы пламя било на стекло. В настоящее же время, поскольку выяснилось, что передача тепла конвекцией играет сравнительно второстепенную роль,—конструкции горелок соответственно видоизменяются, как об этом будет подробно сказано ниже.

Передача тепла стеклу излучением стен и свода также не играет в ваннных печах такой роли, какую ей раньше придавали.

7. ГОРЕЛКИ ПРИ ГАЗОВОМ ОТОПЛЕНИИ

ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ГАЗА И ВОЗДУХА

Иногда на печах старой конструкции подвод газа и воздуха делали рядом друг с другом. В этом случае либо газовый влет располагали между двумя воздушными, либо имелось много газовых и воздушных влетов, расположенных один за другим; при этом получалось плоское широкое пламя, что давало возможность весьма низко опускать свод над уровнем стекла.

Такие горелки по ряду теплотехнических и, главным образом, конструктивных соображений в настоящее время не применяются и подвод газа и воздуха производится не рядом, а один над другим, причем в громадном большинстве случаев воздух подводится выше газа.

Подвод воздуха сверху обычно обосновывают тем, что при этом температура верхней части пламенного пространства (т. е. под сводом) будто бы ниже. Но на самом деле получается как раз об-

ратная картина, т. е. в верхней части стойла благодаря большому избытку воздуха должна быть более высокая температура, чем в нижней части. Все же, предпочтительнее подводить воздух выше газа по следующим соображениям: во-первых, этим избегается вредное действие на свод окиси углерода при высокой температуре. Во-вторых, нижняя часть пламени, благодаря избытку газа, получает восстановительный характер, что дает известные преимущества при сульфатной шихте. Вместе с тем при варке некоторых специальных стекол, требующих определенного окислительного пламени, целесообразно подводить воздух ниже газа, так как при этом над зеркалом стекла должен иметься всегда избыток воздуха.

В некоторых старых печах встречался подвод воздуха как сверху, так и снизу газа (как показано на рис. 51). Это так называемая *галлерейная* горелка системы Гоббе (старая конструкция). Отличие *галлерейных* горелок от обычно применяемых у нас *шахтных* горелок заключается в том, что в последних каждая горелка (влет) имеет свою *отдельную* вертикальную шахту; в первых же имеется большое количество влетов, которые питаются из горизонтальных газовых и воздушных каналов, идущих вдоль печи и соединяющихся с регенераторами лишь посредством одной, двух или

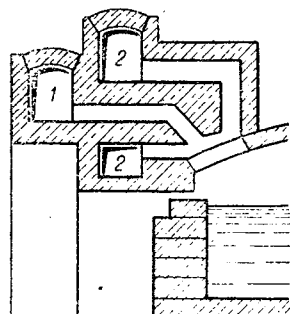


Рис. 51. Галлерейная горелка Гоббе с верхним и нижним подводом воздуха (старая конструкция):
1 — подвод газа, 2 — подвод воздуха.

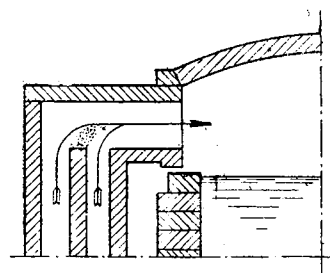


Рис. 52. Горелка без разделительного языка.

трех вертикальных шахт (см. также рис. 34-б и 34-в). На рисунке 51 газ подводится по левому каналу 1, а воздух — по обоим правым каналам 2 (верхнему и нижнему). В этой горелке, благодаря хорошему смешиванию газа и воздуха и удару пламени о стекло, получается весьма интенсивное горение и короткое пламя. Это было целесообразно при работе на весьма низкокалорийном газе и небольшой ширине применявшихся ранее печей. Такие галлерейные горелки в настоящее время у нас не применяются, так как, помимо

всего прочего, они имеют очень серьезный конструктивный недостаток. Последний заключается в том, что газовые и воздушные каналы являются весьма массивными и не позволяют опускать свод печи при его росте во время выводки, что иногда приводило даже к авариям.

Очень редко применяют шахтные горелки с подводом воздуха сверху и снизу, так как это имеет ряд конструктивных неудобств. Но если, тем не менее, такой подвод в отдельных случаях вызы-

вается серьезными соображениями, то следует избегать делать нижний подвод воздуха с большим подъемом вверх, так как при этом, благодаря ударному действию пламени, может получиться преждевременное сгорание как влета горелки, так и свода печи.

ГОРЕЛКИ БЕЗ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ЯЗЫКА

На рис. 52 показана одна из самых простых конструкций горелок — без разделительного языка. Газ и воздух подводятся отдельными вертикальными каналами из регенераторов и смешиваются в общем горизонтальном канале горелки, откуда поступают в стойло печи. В горизонтальном канале горелки имеет место хорошее смешение газа и воздуха, но все же не настолько полное, как это иногда предполагают. Дело в том, что в месте встречи газа и воздуха образуется нечто вроде небольшого разделительного языка из продуктов горения (на рисунке показано точками).

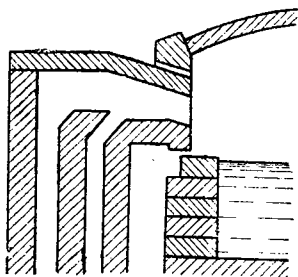


Рис. 53. Переходный тип к горелке с языком.

Такие горелки целесообразно применять только в том случае, если необходимо интенсифицировать процесс горения (например, при работе на низкокалорийном газе и небольшой ширине печи при поперечном направлении пламени). При широких же печах с поперечным пламенем, а также в печах с подковообразным направлением пламени такие горелки являются нецелесообразными, так как максимальная температура получается слишком близко от влета. Также нецелесообразно их применение при работе на хорошем ге-

нераторном газе, в частности — очищенном. Следует остерегаться делать горизонтальный канал слишком больших размеров как в поперечном сечении, так и по длине, так как при этом время пребывания смеси в канале может стать чрезмерным и вызвать преждевременный разгар горелки, так как в ней в слишком сильной мере будут происходить процессы горения.

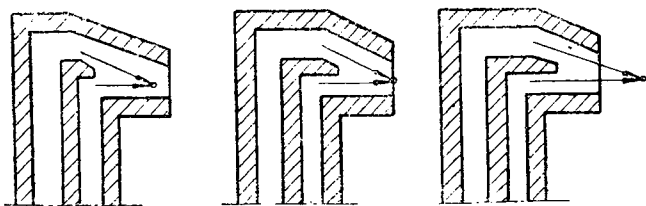


Рис. 54. Горелки с горизонтальным разделительным языком (влияние длины языка на точку встречи газа с воздухом).

нераторном газе, в частности — очищенном. Следует остерегаться делать горизонтальный канал слишком больших размеров как в поперечном сечении, так и по длине, так как при этом время пребывания смеси в канале может стать чрезмерным и вызвать преждевременный разгар горелки, так как в ней в слишком сильной мере будут происходить процессы горения.

Так как горизонтальный канал нужно делать покороче, то необходимо горелку придвигать к бассейну, что, понятно, представляет серьезные неудобства, в виду трудности доступа для наблюдения за стеновыми брусьями и для их ремонта.

ГОРЕЛКИ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ЯЗЫКОМ

Показанная на рис. 53 горелка представляет как бы переходный тип к горелкам с языком. При этой горелке смешивание газа и воздуха очень хорошее, но начинается немногим ближе к пламенному пространству, чем в предыдущем случае. Этот тип горелки может быть целесообразным при узких ваннах печак с поперечным пламенем и при работе на генераторном газе низкого и среднего качества.

На рис. 54 показаны три горелки с расположенным сверху воздушным, а снизу — газовым каналом и с разделительным языком разной длины. Газ подается горизонтально (или с очень небольшим наклоном вверх), воздух подводится с некоторым наклоном вниз, причем точка встречи газа с воздухом приходится, в зависимости от длины языка, — или в горелке или в печи. Чем короче язык, тем сгорание начинается раньше и длина пламени в печи будет меньше. Поэтому длина разделительного языка (или, вернее, расстояние конца разделительного языка от стойла печи) должна зависеть от того, нужно ли ускорять или замедлять процесс смешивания или горения. При широких печах с поперечным пламенем, при печах с подковообразным пламенем, при наличии хорошего генераторного газа — целесообразно удлинять разделительный язык (и наоборот).

Горелки указанного типа широко применяются у нас и являются преобладающим типом.

УГЛОВЫЕ ГОРЕЛКИ

На рис. 55 показана так называемая „угловая горелка“, в которой газ и воздух подводятся под большим наклоном и под большим углом друг к другу. Газ имеет наклон снизу вверх, а воздух — сверху вниз. Благодаря удару при встрече смешивание происходит весьма интенсивно. Поэтому при конструировании таких горелок следует обратить внимание на то, чтобы встреча газа и воздуха была расположена поближе к пламенному пространству и чтобы объем камеры смешения был небольшой, так как в противном случае возможен разгар последней. Это также может иметь место, если сечение для газа небольшое и благодаря большой скорости газа наблюдается ударное действие пламени на верх влета.

Такие горелки были одно время у нас в большом ходу; в последние годы они на мно-

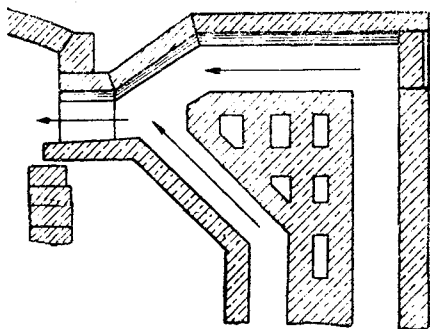


Рис. 55. Угловая горелка.

гих печах заменены горелками с горизонтальным разделительным языком. При последней конструкции легче добиться надлежащей степени смешивания газов во влете, уменьшается опасность его разгара и, кроме того, пламя лучше стелется по поверхности зеркала.

УГОЛ НАКЛОНА ПЛАМЕНИ

Пламя можно направлять по отношению к зеркалу стекла круто (угол от 25° до 50°), с небольшим наклоном ($10—25^\circ$) и горизонтально. Раньше в большом распространении были горелки с весьма крутым направлением пламени к зеркалу (рис. 51), так как этим стремились увеличить передачу тепла стеклу конвекцией. Благодаря

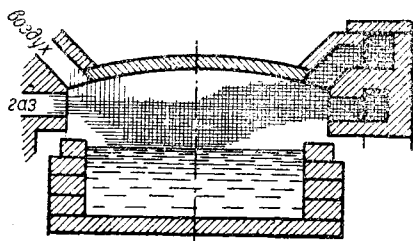


Рис. 56. Вид пламени при большом наклоне влета.

удару пламени о стекло, получалось хорошее перемешивание частиц газа с воздухом и быстрое сгорание с сильным местным повышением температуры. Но передача тепла конвекцией происходит только на ограниченном участке, так как при большом наклоне влета пламенные газы вскоре после удара как бы отражаются от поверхности и над зеркалом стекла образуется неподвижный слой продуктов горения (рис. 56).

Последние не только не принимают участия в передаче тепла, но в некоторой степени даже ему препятствуют. В настоящее время при постройке больших широких печей такое быстрое повышение температуры у влета, сопровождаемое сильным понижением температуры в остальной части печи, является крайне нежелательным и такие горелки теперь не применяются.

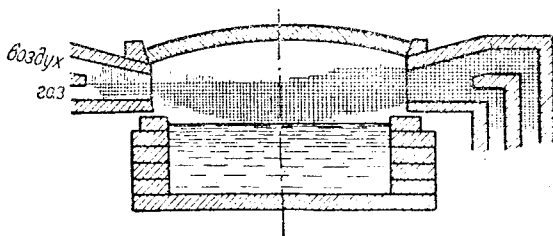


Рис. 57. Вид пламени при небольшом наклоне влета.

В последнее время, когда выяснилось, что передача тепла от пламенных газов к стекломассе происходит не столько конвекцией, сколько лучеиспусканием, — стали широко применяться горелки горизонтальные или с небольшим наклоном.

При горизонтальных горелках передача тепла происходит почти исключительно лучеиспусканием. Для того, чтобы оно было достаточно интенсивным, необходимо, чтобы газовый поток стлался не-

посредственно над поверхностью зеркала. Но расположить нижний край влета на уровне зеркала стекла весьма затруднительно по конструктивным соображениям; поэтому обычно направляют пламя под некоторым, сравнительно небольшим углом к зеркалу. При этом, как видно из рисунка 57, пламя стелется над зеркалом стекла и общая передача тепла получается максимальной.

Следует отдавать предпочтение подводу пламенных газов под некоторым небольшим углом также и по следующим соображениям. При горизонтальном подводе газов между газовым потоком и поверхностью зеркала может образоваться некоторый сравнительно неподвижный и сравнительно холодный слой газов (и засасываемого снаружи воздуха), который ухудшает теплопередачу стеклу. При подводе же пламенных газов под некоторым углом к зеркалу, — не может быть застоя над зеркалом, благодаря ударному (как бы смы- вающему) действию пламенной струи.

8. ГОРЕЛКИ ДЛЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Ванные печи, работающие на жидком топливе, отличаются от газовых отсутствием газовых регенераторов и всей остальной газовой коммуникации. Необходимый для горения воздух подогревается в воздушных регенераторах и подводится к печи с помощью обычного типа кирпичных горелок. Нефть, мазут или другое жидкое топливо подается в эти горелки с помощью специальных приспособлений, называемых *форсунками*.

Ниже мы рассмотрим главные типы форсунок и конструкцию горелок с установкой на них форсунок.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ФОРСУНОК

Для подачи нефти к горелкам ванной печи применяются следующие четыре вида форсунок: капельники, паровые форсунки, воздушные форсунки, механические форсунки.

1. *Капельники*. Капельник (рис. 58) представляет собой обычную газовую трубку, изогнутую в виде колена (для того, чтобы избежать опасности прорыва пламенных газов) и снабженную наверху воронкой. Нефть подается в капельник из нефтепровода, причем количество проходящей нефти регулируется краном. Установка капельника на горелке показана на рис. 59. Обычно, капельник устанавливается над вертикальной шахтой горелки для того, чтобы падающие капли нефти задерживались восходящим потоком воздуха и чтобы горение происходило в верхней части горелки, так как в противном случае возможен разгар таковой.

Иногда капельники ставят не над вертикальным каналом, а над передней стенкой горелки. При этом вследствие небольшой высоты падения капель последние не успевают сгореть и здесь наблюдается сильное коксование.

Установка капельников подкупает своей простотой и дешевизной. Тем не менее, она обладает серьезными дефектами. Во-первых, чрезвычайно трудно установить стабильный режим горения; так, при изменении размеров капель вследствие разной вязкости применяе-

мого мазута или колебаний в степени его подогрева, — горение происходит при больших каплях ниже, а при меньших каплях — выше.

Кроме того, в таких горелках есть постоянная опасность их разгара „прямым“ огнем; для уменьшения этого следует делать всю горелку, по возможности, меньше и придвигать ее поближе к бассейну (это же создает неудобства при обслуживании последнего), а также путем уменьшения сечения вертикального канала горелки — сообщать воздуху возможно большую скорость. Насколько опасно

отопление капельниками, показывает опыт одного из наших крупных механизированных заводов, где в виде опыта были поставлены капельники на время прожигки газоходов; в течение всего лишь нескольких часов влеты горелок очень серьезно пострадали и капельники пришлось изъять из употребления. Этот факт объ-

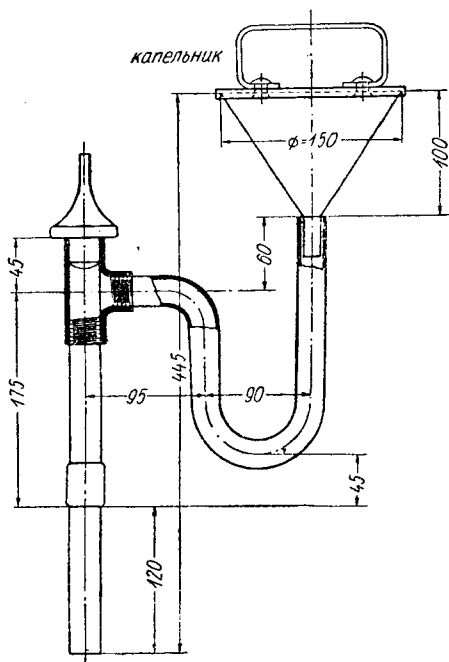


Рис. 58. Капельник.

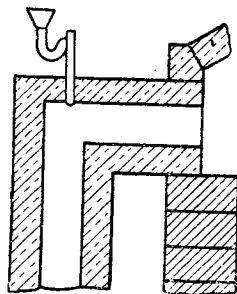


Рис. 59. Установка капельника.

ясняется, несомненно, тем, что размеры газовых горелок ванной печи слишком велики, так как на канале Фурко, где горелки имеют небольшие сечения и стоят вплотную к бассейну, — капельники все время применяются довольно успешно. Недостатком капельников является также коксование в большей или меньшей степени, причем образующийся кокс имеет такую твердость, что с трудом сбивается стальными ломками.

В силу указанных недостатков капельники не нашли применения для отопления ваннных печей.

2. *Паровые форсунки.* Паровые форсунки широко распространены; до сравнительно последнего времени они были почти единственным типом форсунок, применяемым у нас. На рис. 60 показан раз-

рез паровой форсунки системы Шухова, очень распространенной благодаря простоте ее конструкции и ухода за ней. Наружный ее вид показан на рис. 61.

Форсунка готовится из фосфористой бронзы и состоит из двух трубок: внутренней нефтяной 1 и наружной паровой 2. Выходное отверстие для нефти остается постоянным, а кольцеобразная щель для пара меняется и может быть увеличена или уменьшена вдвиганием или выдвиганием внутренней кольцевой трубочки при помощи маховичка. Подача нефти в пределах количества, могущего пройти через внутреннюю трубку, — изменяется вентилем на подводящей нефтяной линии; подача пара в форсунку может регулироваться как вентилем на паропроводе, так и маховичком на самой форсунке.

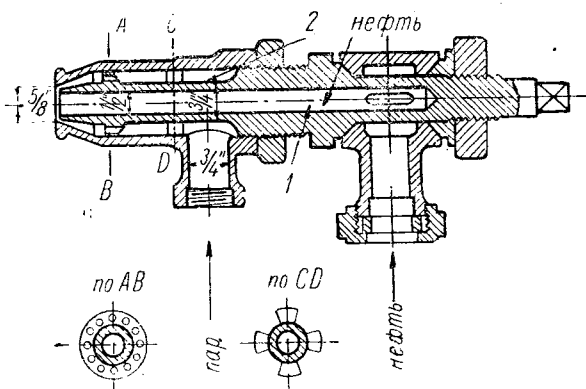


Рис. 60. Разрезы паровой форсунки Шухова.

Паровые форсунки Шухова снабжаются шарнирными кранами (рис. 62), через которые подводится нефть и пар. Вращаясь вокруг шарниров, форсунки могут вставляться в горелки или выниматься, причем шарниры эти так устанавливаются, чтобы при вынимании форсунки нефть и пар отключались при помощи кранов (типа самоварных), которые имеются в шарнирах.

Принцип действия форсунки основан на том, что пар, выходя через паровую щель, увлекает частицы нефти и очень мелко их распыляет. Давление пара должно быть не менее трех атмосфер (желательно — 4—6 атмосфер). Пар предпочтительно иметь перегретый; если приходится работать на насыщенном паре, то следует принимать меры к тому, чтобы в форсунке не попадала конденсационная вода. Расход пара на кг нефти составляет при испытаниях около 0,5 кг, а в действительных заводских условиях — около 0,7—0,8 кг и доходит иногда до 1 кг.

Необходимо иметь в виду, что нефть или мазут не должны быть слишком вязкими при поступлении в форсунку, так как в противном случае распыливание будет идти неудовлетворительно, не говоря уже об опасности застывания нефти в нефтепроводе. Поэтому, обычно, подогревают нефть, причем температура подогрева зави-

сит от вязкости таковой. Высказанное соображение о подогреве нефти относится ко всем видам форсунок.

Форсунки Шухова очень просты по своей конструкции и очень надежны в работе. Регулировка нефти и пара производится очень просто. Благодаря тому, что нефть разбрызгивается паром давлени-

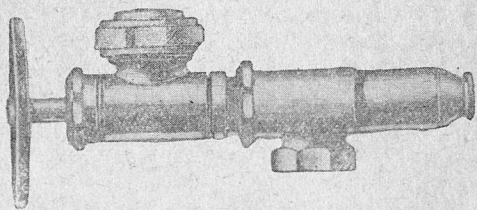


Рис. 61. Наружный вид форсунки Шухова.

ем в несколько атмосфер, — пламя является весьма дальнобойным, что в некоторых случаях весьма важно (например, длинные печи с подковообразным пламенем).

Недостатком этих форсунок является сравнительно сильный шум, а также необходимость иметь пар.

Имеются паровые форсунки и других систем, но принцип действия их, в основном, тот же.

3. *Воздушные форсунки.* В форсунке Шухова и других паровых форсунках можно производить распыление нефти не паром, а сжатым воздухом под давлением в 3—6 атмосфер; это будет *воздушная форсунка высокого давления.* Преимущество ее перед паровой заключается в том что в последней вводится в печь некоторое количество пара (т. е., по сути дела, балласта).

Поскольку этот пар покидает печь при высокой температуре, — расход топлива на печь должен быть немного выше. Использование же топлива при воздушной форсунке оказывается лучшим. Ее недостаток заключается в том, что сжатый воздух, обычно, дороже, чем пар. К тому же на многих заводах установка воздушных форсунок потребовала бы постройки специальной компрессорной станции; котельные же более распространены на стекольных заводах. Поэтому на наших заводах больше распространены паровые форсунки.

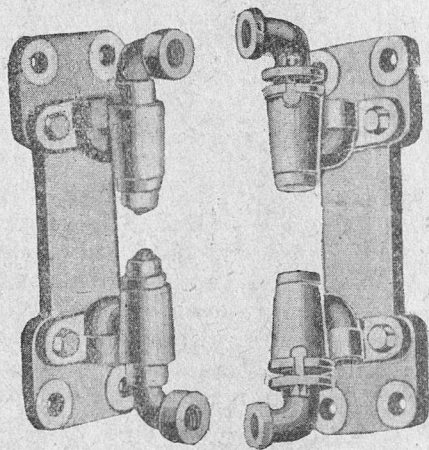


Рис. 62. Шарнирные краны для форсунки Шухова.

Имеются еще так называемые *воздушные форсунки низкого давления*, в которых распыление нефти производится воздухом, нагнетаемым вентиляторами с давлением около 500 мм водяного столба, т. е. $\frac{1}{20}$ атмосферы. Но эти форсунки не применимы для регенеративных (и рекуперативных) ванн печей, т. е. работающих с горячим воздухом. Дело в том, что в форсунках высокого давления

расход воздуха на распыление нефти составляет 6—10%, от всего необходимого для горения; следовательно подавляющее количество воздуха для горения подается подогретым в регенераторах, что сильно уменьшает расход топлива и позволяет достигать высоких температур. В форсунках низкого давления количество воздуха, необходимого для распыления нефти, значительно больше и составляет от 60 до 100% всего количества, необходимого для горения, т. е., иными словами, при работе на этих форсунках пришлось бы целиком (или главным образом) пользоваться холодным воздухом, что, понятно, совершенно нецелесообразно для стекловаренных печей.

Такие форсунки низкого давления широко применяются для подсобных печей, которые работают на холодном воздухе и которые характеризуются невысокой температурой (печи для отжига стекла, сушки сырья и т. п.). Применение форсунок низкого давления является в этом случае весьма целесообразным, так как вентиляторный воздух, несмотря на его большое количество, обходится значительно дешевле, чем воздух высокого давления, получаемый с помощью компрессоров.

4. Механические форсунки.

За последние годы начали находить довольно широкое распространение на наших

заводах так называемые *механические форсунки*, в частности — системы Котляренко и Григорьева. Общй принцип этих форсунок заключается в том, что *нефть подается под большим давлением* (8—12 атмосфер) в форсунки. Внутренняя поверхность последних снабжена разного вида винтообразными нарезками, благодаря чему нефть, выходя под большим давлением из небольшого отверстия, распыляется и приобретает вихреобразное движение.

На рис. 63 приводится продольный разрез форсунки Котляренко. Внутри корпуса 1 вставлен цилиндр 2 из винтообразно навитой проволоки, представляющий винтообразный щелевой фильтр. В корпусе 1 ввернут наконечник-жиклер 3, с выходным отверстием очень малого диаметра (до 0,3 мм). Внутри наконечника помещен цилиндрический дробитель топлива 4 с винтообразно нарезанными канавками. Дробитель 4 имеет шайбочку 6, между которой и отверстием наконечника 3 оставлен кольцеобразный зазор (щель), являющийся контрольным кольцеобразным щелевым фильтром.

Нефтетопливо вступает под давлением в 8—12 атмосфер в корпус форсунки 1, проходит через винтообразную щель фильтра 2 во внутреннюю полость пульверизатора, очищаясь при этом от механических примесей. Двигаясь далее к выходному отверстию наконечника 3, нефтетопливо на своем пути встречает контрольный кольцевой фильтр 5—6, где оно окончательно очищается и вступает в дробитель 4. Проходя с большой скоростью по винто-

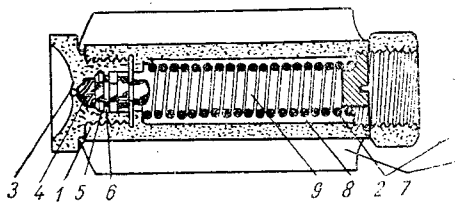
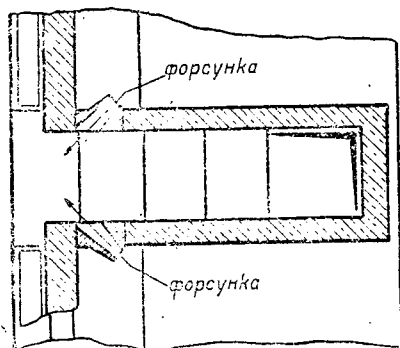


Рис. 63. Продольный разрез механической форсунки Котляренко.

образным канавкам дробителя 4, нефтетопливо приобретает вращательно-поступательное движение, под действием которого оно проходит через выходное отверстие наконечника 4 и вылетает из форсунки в распыленном состоянии.

Механические форсунки имеют серьезные преимущества перед паровыми и воздушными. Во-первых, установка необходимого оборудования для подачи нефти под давлением обходится дешевле с точки зрения капитальных затрат и эксплуатации. Вторым и весьма серьезным в эксплуатационном отношении преимуществом является отсутствие шума при работе форсунок. Но эти форсунки имеют также и очень значительные недостатки при работе на ваннных печах. Во-первых, регулировать количество поступающей в каждую форсунку нефти — чрезвычайно трудно; точная регулировка является даже почти невозможной, а это (особенно при больших пе-



ис. 64. Американский способ установки форсунок (рисунок показывает горизонтальный разрез сопряжения горелки с бассейном).

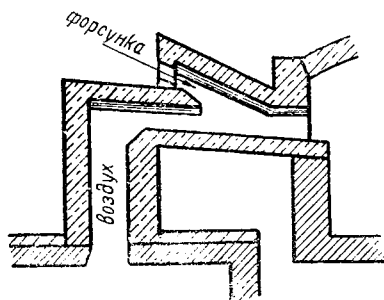


Рис. 65. Установка форсунки с торцевой стороны горелки.

чах) является громадным недостатком, так как не позволяет создавать и поддерживать желательную кривую распределения температур. Во-вторых, эти форсунки часто засоряются и требуют очень тщательного надзора и обслуживания. Наконец, некоторым недостатком является и то, что они не создают никакого напора, т. е. не могут создать дальнобойного пламени.

По означенным соображениям эти форсунки неприменимы для больших печей с поперечным пламенем и большим количеством горелок, особенно при механизированном производстве, которое предъявляет серьезные требования к стабильности режима. При небольших печах ручного производства эти недостатки механических форсунок не так сильно сказываются.

УСТАНОВКА ФОРСУНОК

Установка капельников показана на рис. 59. Что касается форсунок, то они устанавливаются по-разному. Иногда они устанавливаются в торце горелки, т. е. в конце горизонтального канала в месте его сопряжения с вертикальным. Такой способ не целе-

собразен, так как длина пламени в самой горелке слишком большая (длина горизонтального канала и влета), вследствие чего может произойти разгар горелки и влета. Целесообразен метод установки двух форсунок в одну горелку, показанный на рис. 64. Форсунки помещены у сопряжении горелки со стеной печи. Благодаря наклонному положению форсунок по отношению к пути воздуха и взаимному удару — смешивание происходит весьма интенсивно; но так как форсунки расположены вблизи стойла печи, то горение происходит почти исключительно в нем. Такой подвод широко применяется в США для жидкого топлива и натурального газа.

На рис. 65 показан другой способ подвода нефти к горелкам, при котором длина пламени в горелке сильно сокращена. Целесообразным представляется слегка изменить конструкцию в смысле еще большего приближения форсунки к стойлу печи, т. е. установить форсунку у самого влета, сверху такового. Следует указать, что в мартеновских печах часто устанавливают форсунку в своде печи, вблизи влетов. Такое же расположение показано на торпедообразной печи Моршеда (рис. 29).

Те же способы подвода, что и для нефти, можно применить также при отоплении теми газами, которые не требуют предварительного подогрева в регенераторах (как натуральный и коксовый газы).

XI. КОНСТРУКЦИЯ ОСНОВНЫХ ЧАСТЕЙ ВАННОЙ ПЕЧИ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В настоящей главе будет описана конструкция главнейших частей ванной печи, а именно: регенераторов, горелок, дна и стен бассейна и его свода. Одновременно с этим будет освещен вопрос о применяемых материалах и, в частности, огнеупорах, поскольку последние играют главную роль при кладке стекловаренных печей, и от их качества и метода кладки в весьма значительной мере зависит как продолжительность работы печи, так и ее количественные и качественные показатели ее работы.

1. РЕГЕНЕРАТОРЫ

Стены регенераторов возводятся на сплошной бетонной или железобетонной плите или на отдельных так называемых ленточных фундаментах из постелистого бутового камня. В каждом отдельном случае вопрос разрешается на основании расчета в зависимости от свойств грунта.

При постройке печей следует обращать внимание на то, чтобы низ регенератора был выше верхней отметки грунтовых вод, так как в противном случае подпочвенная вода испаряется и водяные пары, поступая в регенератор, могут в очень сильной мере расстроить его работу, а также работу самой печи. Если, все же, приходится по каким-нибудь веским причинам закладывать регенератор ниже уровня грунтовых вод, то необходимо принимать самые серьезные меры для понижения их уровня или для их отвода.

Наружные стены регенераторов кладутся из красного кирпича толщиной в $1\frac{1}{2}$ —2 кирпича и футеруются изнутри шамотным кирпичем в 1 — $1\frac{1}{2}$ кирпича. Эта смешанная кладка иногда производится без перевязки; в больших же печах, обычно, имеется перевязка по мере совпадения швов (в среднем, через 5—7 рядов).

Промежуточная стена между обоими регенераторами (газовым и воздушным) выкладывается целиком из шамотного кирпича толщиной в 2 и $2\frac{1}{2}$ кирпича. На тщательность кладки этой стены следует обратить особое внимание; швы должны быть весьма тонкими; желательно, чтобы вертикальные швы не лежали друг против друга; все это делается с той целью, чтобы избежать просачивания газов из одного регенератора в другой.

Арки, на которых лежит насадочная решетка (так называемые „хомутки“ или „шанцы“), делаются у нас, обычно, с подъемом в $\frac{1}{6}$ пролета, а иногда и полуциркульными (рис. 26 и 23). Они

выкладываются из стандартных клиновидных кирпичей или же из специальных фасонных кирпичей. При кладке следует обращать внимание на тщательность притески, так как эти арки несут большую нагрузку.

На рис. 66 показан вид кладки низа регенератора. На рисунке видны наружные и промежуточные стены, выстилка пода, хомутики с насадочной решеткой, лазы и обвязка регенератора.

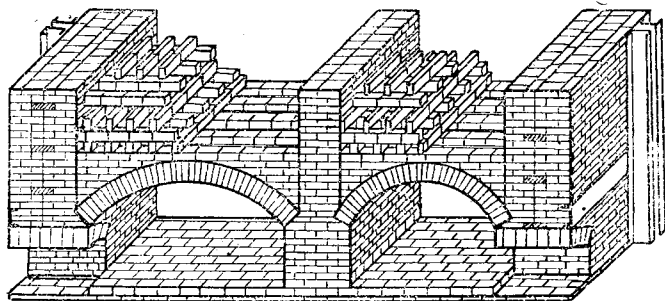


Рис. 66. Вид кладки низа регенератора.

Своды регенераторов делаются, обычно, полуциркульными и кладутся из шамотного фасонного припаса (иногда же из стандартного клиновидного кирпича) высшего качества. Эти основные своды расположены между горелками, а под последними кладутся поперечные к ним своды. Как основные, так и поперечные своды

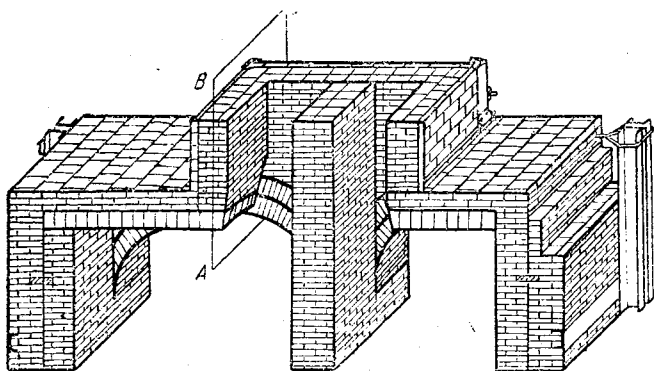


Рис. 67. Вид кладки верха регенераторов.

кладутся в один кирпич, в полтора или же в два кирпича. На рис. 67 показан в аксонометрии один из применяемых видов кладки верха регенератора. На тщательность кладки этой части и на качество применяемого припаса, а также на правильную разработку конструкции следует обращать особое внимание.¹

¹ Вопрос этот, а также различные конструкции верхней части регенераторов, подробно освещен в нашей статье под названием „Аварии регенераторов“, помещенной в журнале „Керамика и стекло“, 1934 г., № 10.

Для кладки регенераторов применяются различные материалы: бетон для фундаментной плиты, бутовый камень (при устройстве отдельных фундаментов), красный кирпич, разнообразное сортовое железо для обвязки и, наконец, шамотный припас. На последнем мы и остановимся. Для стен применяется стандартный шамотный кирпич, который является одним из наиболее важных материалов для кладки печей. Наши стандарты предусматривают два основных размера нормального шамотного кирпича: большой размер (250 × 123 × 65 мм) и малый размер (230 × 113 × 65 мм) и соответствующие им клиновые и арочные кирпичи толщиной в толстом конце 65 мм и в тонком — 55 мм. В зависимости от степени огнеупорности, различают четыре класса шамотных изделий:

Класс огнеупорности	Огнеупорность не ниже в ° Ц
А	1 750°
Б	1 710°
В	1 670°
Г	1 580°

Кроме этого требования, предъявляется также ряд технических условий, касающихся формы, внешнего вида, внутреннего строения, качества обжига, пористости и, наконец, так называемой дополнительной усадки. На некоторых из этих требований мы остановимся. Шамотные изделия не должны иметь в изломе вида раковин; по всей поверхности излома они должны быть однородного, зернистого, нестеклованного строения, без крупных включений, без пустот, трещин и посечек; изделия должны быть хорошо обожжены. При нагревании их в течение двух часов до определенной температуры они не должны давать усадки выше определенных пределов.

Нужно сказать, что требования стандарта не являются достаточными, особенно для такого ответственного припаса, который применяется для сводов регенераторов. Для него более важна температура начала размягчения, за которую принимают деформацию под нагрузкой 2 кг на см². В зависимости от состава и температуры обжига изделий, эта величина лежит в пределах 1 150 — 1 550° (обычно — 1 300°). При кладке ответственных частей печи требуется проверка температуры размягчения, так как бывают случаи, когда кирпич, обладающий высокой огнеупорностью, начинает размягчаться уже при сравнительно низких температурах.

Для стен можно употреблять: до уровня хомутиков — класс Г, до середины высоты насадочной решетки — класс В, а на верху класс Б. Для сводов регенераторов следует применять класс А, причем температура начала размягчения 1 400°.

Сверху регенераторов, обычно, производят тепловую изоляцию. Для этой цели применяют засыпку инфузурной землей (трепел) или же применяют теплоизоляционный кирпич. Поверх изоляции делают выстилку из красного кирпича.

2. ГОРЕЛКИ

Горелки кладутся, обычно, полностью из динаса, причем употребляется нормальный прямой и клиновой кирпич.

Динасовым огнеупорным припасом называются изделия, изготовленные путем обжига измельченных кварцевых и кварцитовых пород на известковой связке и содержащих не менее 90% кремнезема. В отношении огнеупорности динасовый припас делится на четыре класса, с огнеупорностью не ниже 1730° для высшего класса и 1670° — для низшего класса. Существенное отличие динаса от шамота заключается в том, что в динасе температура размягчения очень близка к температуре его плавления. Поэтому в тех частях печи, которые, помимо высоких температур, подвергаются большой механической нагрузке, применяется, как правило, динас. Вторым существенным отличием динаса является его значительное *расширение* при повышении температуры. Поэтому своды, сложенные из динаса, очень сильно растут и это обстоятельство необходимо учесть при постройке и выводке печи. Вообще, температурное расширение динаса (особенно, если оно принимает большие размеры) является нежелательным. Более глубокое изучение структуры динаса показывает, что он состоит из разновидностей кварца (кварца, кристобалита и тридимита), причем взаимное их количество колеблется в зависимости от сырых материалов, применяемых для изготовления динаса, от температуры обжига и его продолжительности. Наименьшим температурным расширением обладает тридимит. Удельный вес его меньше, чем кристобалита и кварца; поэтому, чем меньше удельный вес динаса, тем в нем больше тридимита и тем меньшим коэффициентом температурного расширения он обладает. Поэтому удельный вес динаса высшего класса А должен быть не выше 2,37—2,38, а для низшего класса Г — не больше 2,43. Кроме того, согласно стандартам, к динасу предъявляется целый ряд требований, касающихся его формы, внешнего вида, строения, обжига, размеров и механической прочности, пористости и химического состава. Требования, которым должен удовлетворять фасонный динас, идущий в ответственные детали стекловаренных печей, изложены в ОСТ № 6310.

За последние годы у нас стали применять тепловую изоляцию стен и свода горелок. Это мероприятие является вполне целесообразным, так как температура в горелках высокая, стены — сравнительно тонкие (1 — 1½ кирпича) и поверхность всех горелок весьма велика; поэтому тепловые потери очень значительны. При изоляции горелок необходимо учитывать, что они расположены довольно близко друг к другу. Поэтому, для того чтобы не создавать особой тесноты, целесообразно применять *лучшие сорта теплоизоляционных материалов*, которые позволяют достичь значительной экономии тепла, при сравнительно тонком слое изоляции. Большей частью применяются различные замазки, составленные из инфузорной земли, асбестита, а иногда и из слюды. Можно применять для этой цели также и трепельный кирпич.

При производстве изоляции *не следует заделывать в нее металлическую обвязку*, так как в последнем случае она может раскалиться до-красна и потерять свою прочность; это замечание относится и к изоляции других частей печи.

Не рекомендуется изолировать часть горелки между концом разделительного языка и влетом, так как в ней уже начинается горение газа и могут развиться слишком высокие температуры, опасные для целостности кладки. Самым ответственным местом горелки является ее сопряжение со стойлом (так называемый влет).

3. ДНО БАССЕЙНА

Бассейн составляет основную часть печи. Он, обычно, лежит на кирпичных столбах или стенах. За границей бассейн иногда располагают на металлических колонках (рис. 29).

Поверх стен или столбов кладутся железные балки, на которые укладывается дно. Дно бассейна раньше очень часто укладывалось на кирпичных арках (вместо железных балок). Но эта конструкция сейчас не применяется и встречается только на старых печах. При кладке дна следует иметь в виду необходимость обеспечить, во-первых, хорошее естественное обдувание наружным воздухом; во-вторых,

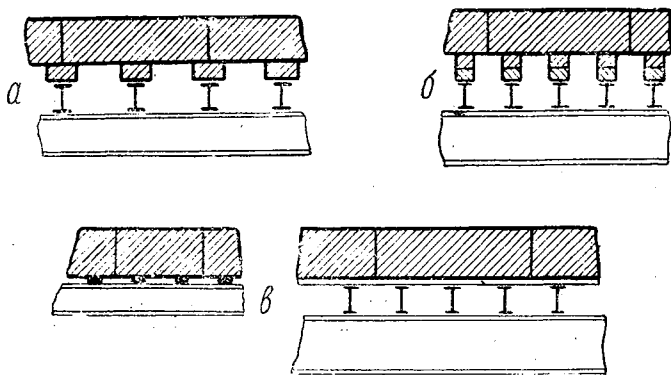


Рис. 68. Различные способы кладки донных брусьев.

рых, возможность и легкость наблюдения за его состоянием и, наконец, предусмотреть возможность его температурного расширения при выводке печи.

Дно кладется из больших шамотных камней, так называемого *донного бруса*; нормальный размер последнего $1\ 000 \times 400 \times 300$ мм. Наши стандарты предъявляют к донному брусу целый ряд весьма серьезных требований, поскольку он является весьма ответственным припасом.

Главные способы кладки донных брусьев показаны на рис. 68. Очень часто применяется конструкция, показанная на рис. 68-а. Поверх так называемых донных балок, расположенных на расстоянии $\frac{1}{2}$ метра друг от друга, — кладутся ряды шамотного кирпича (шанды),

а по ним — донные брусья таким образом, что каждый брус опирается на три балки, и стыки приходятся как раз над кирпичом. Такой способ кладки нельзя считать целесообразным, так как самые опасные в смысле разъедания места (т. е. швы) не охлаждаются наружным воздухом и недоступны для осмотра; наконец, в случае разъедания дна стекло может вытечь на балку.

Более целесообразным является расположение швов не над балками, а между ними, как показано на рис. 68-б.

Обе эти конструкции имеют тот основной недостаток, что при расширении дна при выводке печи кирпичи могут сдвинуться; такое явление иногда наблюдается на больших ваннах печей. Поэтому, более

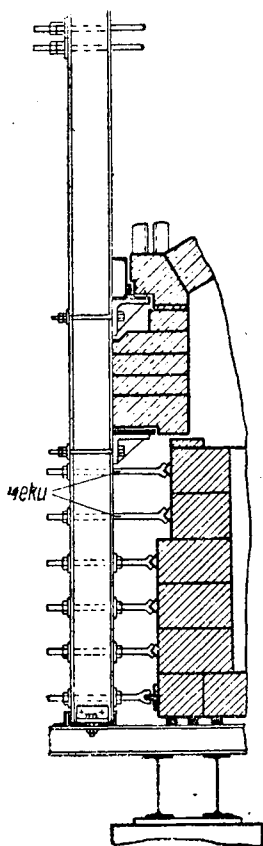


Рис. 69. Разрез боковой стены печи.

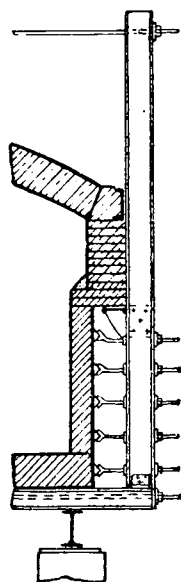


Рис. 70. Разрез боковой стены печи (американская конструкция).

целесообразной является конструкция с сеткой (рис. 68-в). По балкам укладывается полосовое железо сечением 20×50 мм по две полосы под брус и по ним укладываются брусья. Полосы должны быть цельными по длине. При этой конструкции, заимствованной нами из американской практики, донные брусья при расширении скользят по сетке и последняя воспринимает все возникающие усилия.

При выводке печи необходимо учитывать расширение дна бассейна; поэтому конструкция обвязки должна дать возможность его отпускать. Делается это одним из двух способов. При первом способе колонны ванной печи имеют внизу связь, отпусканьем которой дается

возможность расширения дна (рис. 70). При втором способе низ колонн закрепляется намертво, отпуск же дна производится путем специальных болтов (так называемых болтов Жака), которые упираются с одной стороны в колонны, а с другой — в специальную балочку, лежащую вдоль донных брусьев (рис. 69).

4. СТЕНЫ БАССЕЙНА

Прежде чем перейти к описанию стен бассейна, мы должны вкратце остановиться на методах обвязки бассейна. Дело в том, что различные части стойла печи в различной степени изнашиваются. Так, стеновые брусья стоят, в среднем, около 6—8 месяцев, динасовые стены — около 2—3 лет, а свод — около 4—5 лет. Поэтому конструкция обвязки печи должна допускать возможность смены одной части, не трогая другой, так как при этом мы не только экономим материал, но и время. Кроме того, у нас общепринято работать с так называемыми горячими ремонтами (т. е. со сменой стеновых брусьев без охлаждения печи); поэтому, обвязка должна допускать производство этих работ.

Эти соображения учтены в конструкции (рис. 69), которая дает поперечный разрез боковой стены печи. Как видно, динасовые стены лежат на специальном лафетном железе (так называемая доска), т. е. не опираются на стеновые брусья. Свод, в свою очередь, также опирается на независимую металлическую конструкцию.

Переходим к вопросу о кладке стен бассейна. Они кладутся насухо (т. е. без раствора) из так называемых стеновых брусьев (т. е. крупного шамотного припаса). Согласно наших стандартов, к ним предъявляются очень высокие требования, так как они должны противостоять не только действию высокой температуры, но и разъедающему действию щелочей шихты. Срок службы стеновых брусьев колеблется от $1\frac{1}{2}$ —до 12 месяцев, а в отдельных случаях доходит до 2 лет.

Общепринятые у нас и в Западной Европе размеры брусьев — $500 \times 400 \times 300$ мм. Такой брус позволяет легко производить горячие ремонты. В США кладку стен бассейна производят не из брусьев, а из сравнительно тонких плит толщиной в варочном отделении не более 300 мм (а иногда даже 250 мм и 200 мм), а в выработочном — в 200 мм (рис. 70). Эти плиты делаются или во всю высоту бассейна или же из двух частей; в последнем случае имеется только один горизонтальный шов, в то время как у нас имеется, обычно, три—четыре шва. При этом стеновые брусья, как правило, в сильной степени охлаждаются с помощью искусственного обдувания. Эта американская конструкция за последние годы стала применяться в Западной Европе, а также и у нас, и имеет определенные преимущества. Разъедание брусьев при хорошем обдувании значительно меньше и, следовательно, стекло меньше портится примесями шамота; расход огнеупора также значительно меньше. В США при такой конструкции обычно работают без горячих ремонтов, причем продолжительность кампании — около одного года. Эта конструкция особенно целесообразна для печей, вырабатывающих высококаче-

стенное стекло; необходимыми предпосылками для ее применения является наличие высококачественного стенового бруса и хорошего искусственного охлаждения.

Как видно на рис. 69 и 70, каждый ряд стеновых брусьев закрепляется с помощью угольников, которые удерживаются специальными болтами Жака. Эта конструкция очень удобна с точки зрения ее надежности, а также возможности регулировки. Некоторым неудобством ее является невозможность быстро снять и поставить связи при горячих ремонтах. Поэтому для двух верхних рядов брусьев применены не гайки, а чеки, которые входят в прорез распорки (рис. 69). Применяются также и другие конструкции крепления стеновых брусьев, но показанная на рис. 69 является самой целесообразной и наиболее часто сейчас применяемой конструкцией.

5. ДИНАСОВЫЕ СТЕНЫ СТОЙЛА ПЕЧИ

Для кладки стен и свода стойла печи применяется, большей частью, специальный фасонный динас, к которому предъявляются весьма высокие качественные требования.

При кладке стен бассейна динасовые стены обычно делают подвесными. Для этой цели (рис. 69) прокладываются по специальным кронштейнам железные или чугунные доски, поверх которых укладываются динасные зубья или крючья. Выступа-

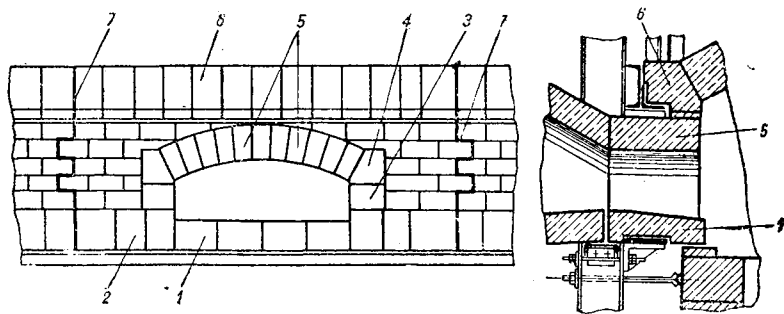


Рис. 71. Типовая конструкция влета:

1 — зубья горелочные, 2 — зубья стеновые, 3 — подпятник влета, 4 — пята влета, 5 — пята главного свода, 6 — пята главного свода, 7 — температурные швы.

ющая часть зуба должна предохранять лафетное железо от действия температуры печи; с этой же целью (как видно на рис. 69 и 70) стеновые шамотные брусья вдвигаются во внутрь печи, по крайней мере на ширину лафетной доски; при этом, последняя омывается наружным воздухом. Между стеновыми брусьями и зубьями, обычно, оставляют промежуток высотой 100—120 мм для хальмовки стекла, возможности установки внутренних водяных холодильников и для других манипуляций по обслуживанию печи. Поверх зубьев стены кладутся или из крупного динасного припаса или из нормального кирпича.

В продольных стенах устраиваются различные окна (для вставки лодок и т. п.). Особо *ответственной* частью являются *влеты горелок*. На рис. 71 показан продольный разрез и вид со стороны печи обычно применяемой у нас конструкции влета.

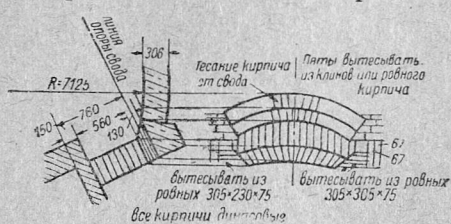


Рис. 72. Разгрузочная арка свода.

Снизу он ограничен зубьями, лежащими на лафетной доске. Так как желательно по возможности понизить низ влета для того, чтобы приблизить пламя к стеклу, то обычно эти зубья делают ниже, чем те, которые лежат под стенами. Это является вполне допустимым, так как

на них нет никакой нагрузки. С боков влеты ограничены подпятными брусками; на них укладываются пяты. Свод влета кладется из крупного кладового припаса. Пяты главного свода идут вдоль всей печи и кладутся выше влетов; иногда по ним прокладывается еще ряд кирпича.

Для того, чтобы иметь возможность опустить свод ванной печи ближе к зеркалу стекла, в США широко применяют конструкцию,

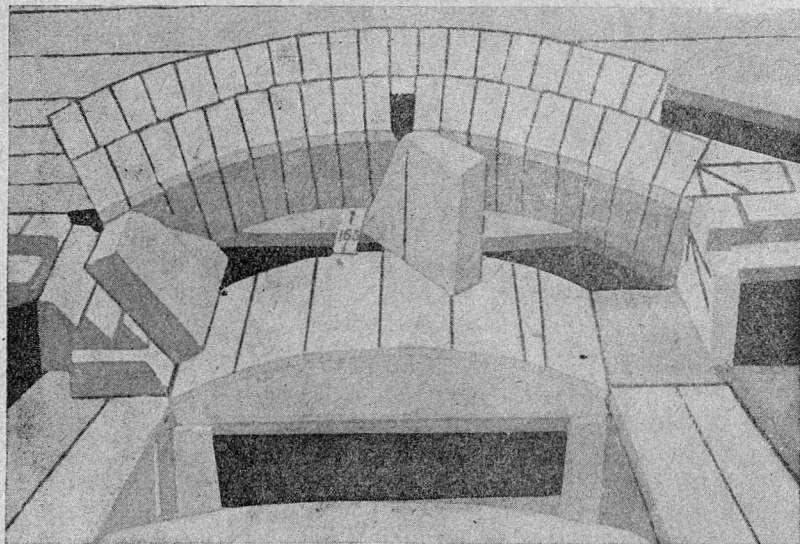


Рис. 73. Разгрузочные арки свода.

показанную на рис. 72 и 73. Арка влета врезана в главный свод печи, причем в последнем имеются двойные разгрузочные арки, назначение которых заключается в восприятии распора свода и передаче его на основные пяты; поэтому можно разобратить влет, не трогая главного свода. На рис. 72 можно заметить, что для приближения пламенного потока к зеркалу стекла,—вместо обычно принятого

у нас зуба и заклинка,—применена плита толщиной 150 мм. Эта конструкция, иногда применяемая и у нас, имеет, несомненно, ряд преимуществ с теплотехнической точки зрения (пламя ближе к стеклу, свод ниже), но зато неудобна с производственно-эксплуатационной точки зрения: она затрудняет доступ в бассейн, а смена брусьев при горячем ремонте требует смены также и этих плит.¹

При кладке стен необходимо оставлять температурные швы с учетом расширения динаса (рис. 71).

6. СВОД ПЕЧИ

Свод печи является одним из самых ответственных участков и на кладку его, а также на качество материалов следует обращать особое внимание. Для больших печей (шириной от 4 метров и выше) принято класть свод толщиной в 300 мм. Такой фасонный кирпич предусмотрен в ОСТ № 6310, а именно: размером $300 \times 250 \times 108/100$ —для клинового и $300 \times 250 \times 100$ —для прямого. Требования, предъявляемые к качеству припаса, весьма высокие и подробно изложены в данном стандарте. Кладку ведут насухо без раствора или же на жидком растворе. У нас общепринятым является второй способ кладки. На качество кладки (подбор кирпичей в одном ряду, тонкость швов и т. д.) следует обращать особое внимание. Недостаточно высокое качество кладки вызывает целый ряд серьезных затруднений при выводке печи и даже может служить причиной аварий.

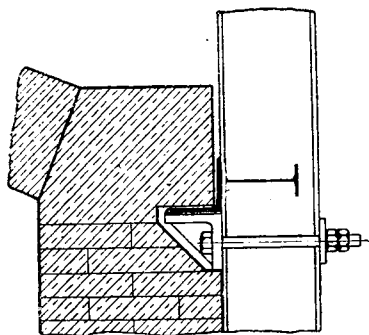


Рис. 74. Подвеска свода (угольник-двугавр).

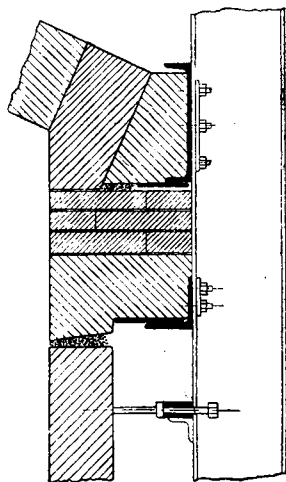


Рис. 75. Подвеска свода.

Учитывая расширение динаса при разогревании, свод ванной печи делят на отдельные секции, между которыми оставляют прозоры (так называемые температурные швы). Цель этого мероприятия заключается в том, чтобы дать возможность каждой секции расширяться независимо друг от друга, за счет этого прозора. Длину

¹ При отказе от горячих ремонтов (при лучших качествах брусьев) эта конструкция рациональна.

отдельных секций делают, обычно, около 3 метров и не больше 6—7 м. Благодаря наличию отдельных секций можно при выводке регулировать каждую из них независимо друг от друга; поэтому расположение температурных швов сообразуется с расположением колонн, обвязки, горелок и т. п. Обычно температурные швы располагаются посередине между горелками, что не только облегчает регулировку каждой секции, но, до известной степени, предохраняет их от непосредственного воздействия факела. Прозоры между секциями прокладываются сверху кирпичом насухо, который замазывается сверху глиной.

Выше указывалось, что в настоящее время своды печей делают подвесными, т. е. укрепленными на специальной арматуре. На рис. 69 показано широко распространенное у нас крепление, состоящее из швеллера и угольника. На рис. 70 показана конструкция крепления в виде швеллера; эта конструкция часто применяется в печах, если влеты врезаны в свод; в этом случае швеллер идет от одного влета до другого и там прерывается. На рис. 74 показано довольно широко распространенное на наших старых печах крепление с помощью угольника и двутавра. Недостатком его является то, что распор свода, обычно, проходит мимо угольника, так как пята очень длинна; кроме того, двутавр приходится прерывать у колонн печей. На рис. 75 показана конструкция, применяемая часто в США и которую мы считали бы целесообразным ввести у нас. Достоинство ее заключается в том, что железная арматура неглубоко входит в кладку, распор свода хорошо воспринимается арматурой и что здесь применен сравнительно мелкий динасный припас. Последнее является очень важным обстоятельством, так как изготовление крупного динасного припаса значительно сложнее и дороже.

За последние годы у нас стала применяться *изоляция сводов печей*. Это мероприятие является очень рациональным, так как экономит большое количество тепла; в некоторых случаях (при плохом качестве газа, при недостаточном подогреве его и воздуха в регенераторах) при этом можно достигнуть увеличения производительности печи. Вместе с тем при изоляции свода повышается температура динаса и при плохом качестве такового возможны нежелательные последствия. Поэтому, всячески рекомендуя производить изоляцию свода, мы подчеркиваем необходимость тщательного наблюдения за ее состоянием.

Изоляцию свода производят засыпкой инфузورной землей, постепенным накладыванием различного рода смазок (состоящих, в основном, из инфузорной земли с добавкой азбестита) или же слоем изоляционного кирпича, который кладется насухо. Материал, применяемый для изоляции, должен обладать плохой теплопроводностью, быть легким и не изменяться при высоких температурах (порядка 1000—1100°).¹ Для того чтобы иметь возможность наблюдать за состоянием свода во время выводки печи, — изоляцию свода осуществляют, обычно, тогда, когда режим печи вполне установится, т. е. после наварки стекла.

¹ Представляется целесообразным между динасом и изоляцией прокладывать слой пористого (опилочного) огнеупорного кирпича.

ХИ. ЗАГРУЗКА ШИХТЫ В ПЕЧЬ

1. ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЗАГРУЗКЕ ШИХТЫ ТРЕБОВАНИЯ

При загрузке в печь шихты (состава) следует обращать внимание на следующие весьма важные обстоятельства.

Прежде всего, загружаемый состав должен немедленно подвергаться непосредственному действию пламени. Во-вторых, следует стремиться к тому, чтобы загрузка шихты происходила, по возможности, непрерывно или хотя бы через короткие промежутки времени. Наконец, третьим весьма серьезным обстоятельством является подача шихты без образования пыли во время загрузки, так как эта пыль не только уносится отходящими газами в регенераторы и забивает насадочную решетку, но и в весьма сильной мере разъедает свод и другие части печи.

В настоящее время применяется, главным образом, периодическая загрузка шихты, причем больше всего распространены следующие два способа: ковшом (совком) и в *загрузочный карман*.

За последние годы за границей прививается механизированная и непрерывная загрузка шихты; удачные опыты в этой области были произведены недавно у нас на опытном заводе Института стекла и в настоящее время внедряются в промышленности.

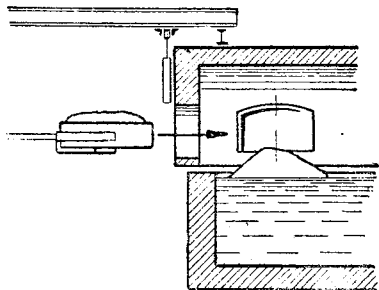


Рис. 76. Загрузка шихты ковшом.

2. ЗАГРУЗКА КОВШОМ

На рис. 76 показано обычное приспособление при загрузке ковшом. Ковш с шихтой вводится в стойло печи через окно (с подъемной заслонкой) и там опрокидывается опрокидыванием. В печах с поперечным направлением пламени загрузка производится с торцевой стороны печи, а в печах с подковообразным направлением пламени шихта подается через одно окно между горелками или через окна в боковых стенах (в одной или в обеих). Способ загрузки шихты ковшом (особенно, в сочетании с бункерами для шихты) дает известную экономию в рабочей силе. Так, на одной, лично нами осмотренной в Бельгии ванной печи на 10 машин Фурко,

загрузка шихты в печь производилась только одним человеком. Но этот способ имеет один очень существенный недостаток: при перевертывании ковша образуется весьма сильное пыление. У нас этот способ не привился на больших печах, а применяется иногда на небольших печах с подковообразным пламенем. В Западной Европе (в частности, в Германии) подача шихты ковшом была раньше очень распространена, но в последнее время стали (особенно на больших печах) переходить к устройству загрузочных карманов.

При загрузке ковшом следует подвешивать его так, чтобы, с одной стороны, он был расположен, по возможности, ниже над уровнем стекла (для того, чтобы уменьшить пыление состава), а с другой стороны—достаточно высоко, чтобы можно было насыпать высокую кучу. Для удобства манипулирования удобнее подвешивать ковш в одной точке, чем в двух, и притом так, чтобы нагруженный составом ковш не очень сильно перевешивал ручку, которую держит засыпщик.

3. ЗАГРУЗОЧНЫЕ КАРМАНЫ

Загрузочный карман представляет собой специальный выступ бассейна, в который сперва загружается шихта, а затем проталкивается в бассейн. Загрузочные карманы у нас настолько распространены, что описание их является излишним (рис. 13, 26 и др.).

При перекидке клапанов через каждые полчаса,—загрузку шихты делают через 15 минут или через $\frac{1}{2}$ часа. Более целесообразным является производство загрузки через каждые 15 минут, так как при этом зеркало стекла более равномерно покрыто шихтой. К тому же при печах большой производительности делать засыпку каждые полчаса неудобно, так как за один раз подавалось бы при этом слишком много шихты и сама загрузка продолжалась бы слишком долго.

Размеры загрузочного кармана должны быть согласованы с производительностью печи. Желательно делать их такими, чтобы можно было сразу засыпать то количество шихты, которое подается каждые 15 минут. На наших больших печах для 13 машин Фурко, с суточной производительностью 90—100 тонн сваренной стекло-массы—ширину засыпчного кармана мы делаем равной 2 м в свету (т. е. внутри).

Очень важным обстоятельством является правильный способ подачи самой шихты в бассейн. Обычно, всю кучу состава проталкивают в бассейн, приподнимая предварительно подвесную заслонку; при этом не наблюдается сколько-нибудь значительного пыления шихты. Иногда наблюдаются неправильные методы подачи шихты, которые состоят в следующем: всю кучу шихты не проталкивают сразу, а сгребают ее частями, причем получается невероятное распыливание шихты. Нам лично хорошо известен один случай, когда на большой печи для механизированного производства оконного стекла применялся такой способ подачи шихты и, в результате, через сравнительно короткое время регенераторы (вплоть до пятых горелок) оказались чрезвычайно засоренными,

вернее,—совсем забитыми шкварой. В другом случае, на одной большой печи наблюдалось, что динасный припас главного свода начал „течь“. Стекая по своду и динасовым стенам, эти капли падали на окружку и сильно ее разрушали. Оказалось, что это явление было вызвано не плохим качеством динаса (как это сначала думали), а неправильным методом подачи шихты. Когда последний изменили и стали всю кучу шихты сразу проталкивать в печь,—течь главного свода немедленно прекратилась. Эта течь была вызвана тем, что вследствие сильного пыления шихты щелочи попадали на свод и разъедали его; эти образования стекло-видного характера и дали течь.

4. НЕПРЕРЫВНАЯ ЗАГРУЗКА ШИХТЫ И ЕЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Около 5—6 лет тому назад¹ появились в США специальные приспособления для непрерывной загрузки шихты в печь. Как видно из рисунка 77, на железной тележке находится короткий шнек (бесконечный винт), соединенный через редуктор с мотором. Состав, выходя по лотку из выше расположенного бункера (на чертеже не показанного), попадает в шнек, которым и подается не-

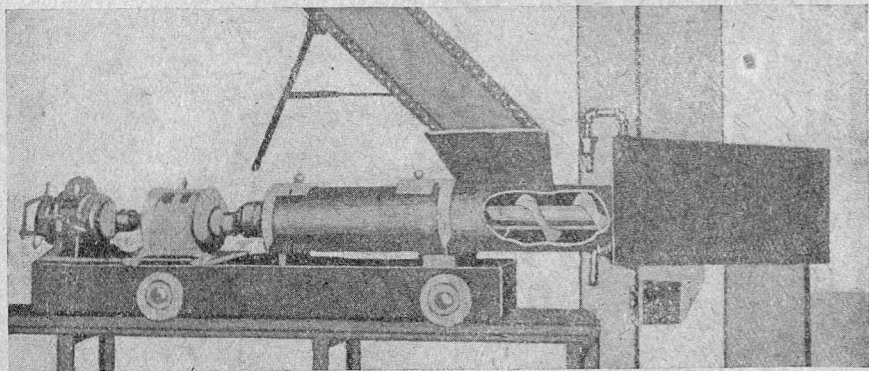


Рис. 77. Непрерывная подача шихты в печь.

прерывно в печь. Количество подаваемого состава можно регулировать как задвижкой в трубе, так и изменением (с помощью реостата) числа оборотов мотора и шнека. Машина может быть легко установлена на месте; в случае надобности ее легко выдвинуть из печи. Самую серьезную часть представляет собой питатель, который подвергается прямому действию пламенных газов. Он должен быть снабжен постоянным охлаждением с помощью циркулирующей в нем воды; трубка для подвода воды видна на рисунке.

¹ См. наш реферат в журнале „Керамика и стекло“ 1929 год, № 5.

Преимущества непрерывной механизированной подачи шихты заключаются в следующем:

а) Шихта подается в печь непрерывной струей, что дает возможность избежать одновременных больших засыпок и получить более равномерное распределение шихты по зеркалу варочного бассейна; благодаря этому достигается более быстрая и равномерная варка состава и устраняются пороки стекла, связанные с неравномерной подачей шихты. Благодаря этому производительность печи может возрасти на 10—20%.

б) Количество загружаемой шихты легко регулируется и может точно отвечать количеству вырабатываемой стекломассы.

в) Устраняется работа засыпщиков в пыльной и горячей обстановке.

Такие приборы за последние годы находят широкое распространение как в США, так и в Западной Европе. Недавно на опытном заводе Института стекла удачно опробована такая машина, изготовленная у нас в Союзе. Следует стремиться к более широкому и возможно более быстрому внедрению этого мероприятия в нашей промышленности.

В настоящее время (1935 г.) на Константиновском стекольном заводе проводятся опыты по тонкослойной варке стекла, т. е. подаче шихты несколькими шнеками (предложение проф. И. И. Китайгородского); предварительные опыты дали благоприятные результаты.

1. ПРИЧИНА ДВИЖЕНИЯ ПЕЧНЫХ ГАЗОВ

В печи мы наблюдаем постоянное движение генераторного газа, воздуха и отходящих газов. Почему же газы движутся по вполне определенному пути и в чем заключается причина этой закономерности? Что касается генераторного газа, то при наличии генераторов с дутьем ответ не вызывает никаких трудностей: воздух подается в генератор с помощью вентилятора, который создает как в самом генераторе, так и в газопроводах определенное давление, благодаря чему газ поступает в печь.

Но почему же поступает воздух? Объясняется это следующими причинами. Все газы (в том числе и воздух) при нагревании сильно увеличиваются в объеме. Так, если любой газ нагреть до 273°C , то объем его (при неизменном наружном атмосферном давлении) увеличится вдвое против того объема, который он имел при 0°C . Иными словами, 1 м^3 воздуха (при 0° весящий $1,29\text{ кг}$) будет при 273° занимать уже 2 м^3 ; следовательно вес 1 м^3 воздуха при этой температуре будет вдвое меньше, т. е. $1,29:2 = 0,645\text{ кг}$. Вот это значительное уменьшение так называемого объемного веса (т. е. веса 1 м^3) газов при повышении температуры и является основной причиной движения газов в печи. Явление, которое мы здесь наблюдаем, аналогично подъему воздушных шаров, наполненных более легким газом (например водородом). Печные газы, нагреваясь, становятся легче и стремятся подняться вверх. В самом деле, в выстроенной вновь, но еще не разогретой печи мы не наблюдаем никакого движения газов. Когда же при выводке печи мы разогреваем регенераторы, то последние способствуют подаче воздуха в печь. Происходит это следующим образом: попадая в нагретый регенератор, наружный холодный воздух нагревается, становится легче и подымается вверх через горелки печи. На его место попадает новое количество воздуха и, таким образом, устанавливается постоянная подача воздуха в печь благодаря его нагреву в регенераторах или рекуператорах. На основании этих соображений вполне ясно, что регенераторы или рекуператоры следует устанавливать ниже стола печи, так как благодаря разогреву нагретый воздух стремится вверх, а не вниз.

По тем же самым причинам происходит подача генераторного газа в печь при самодувных генераторах. Это явление немного сложнее, чем описанное выше. Дело в том, что побудителем движения газа является не только нагрев газа в регенераторах, но

также и то обстоятельство, что в самом газогенераторе газы приобретают достаточно высокую температуру и этим создают в газопроводе некоторый напор (давление). То, что это явление имеет место в действительности, подтверждается следующим фактом: если в верхней части генератора или в сборнике имеется какое-нибудь отверстие, то из него выбивается газ. Выбивание газа доказывает, что мы имеем здесь давление большее, чем наружное или так называемое *положительное давл. ние*. В нижней же части самодувного газогенератора (т. е. у его колосников) мы имеем давление меньше атмосферного или так называемое *разрежение или отрицательное давление*; благодаря этому наружный воздух поступает (как бы засасывается) в газогенератор. Такое же разрежение имеется в нижней части воздушного регенератора; если вынуть пробку в рубашке, то пламя поднесенной спички затягивается в регенератор вместе с засасываемым воздухом. По этой же причине засасывается воздух в перекидной воздушный клапан.

Следовательно, *основной причиной подачи воздуха в печь является нагрев его в регенераторах*, благодаря чему он становится легче и стремится подняться вверх.

Теперь перейдем к объяснению *принципа работы дымовой трубы*, которая должна отводить отходящие газы из печи. Согласно сказанного, горячие пламенные газы стремятся вверх. Между тем их приходится отводить вниз для подогрева насадочной решетки регенераторов, которые (по приведенным выше причинам) располагаются ниже стойла печи.

Каким способом можно заставить горячие газы идти вниз? Самым естественным кажется установка внизу регенераторов эксгаустера (вентилятора), который отсасывал бы горячие газы из регенераторов и печи. Такой эксгаустер создает внизу регенераторов определенное разрежение (т. е. давление ниже наружного атмосферного) и благодаря этому заставляет горячие отходящие газы идти вниз. Но такой же засос или разрежение создает дымовая труба, если в ней движутся горячие, т. е. более легкие газы. Что дело заключается именно в том, чтобы в трубе были горячие газы, доказывается следующим фактом, хорошо известным каждому печнику. Для того, чтобы создать тягу дымовой трубы (т. е. для того, чтобы она могла создать необходимое разрежение и оттягивать дымовые газы), необходимо ее предварительно разогреть; это, обычно, производится раскладыванием костров в дымовом борове или у основания трубы. Когда через трубу уже идут нагретые газы, то они стремятся вверх и как бы тянут за собой отходящие газы из печи.

2. РЕГУЛИРОВКА ГАЗА, ВОЗДУХА И ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

При проектировании печей следует учитывать возможность подавать в печь воздух и газ в необходимом количестве и отводить образующиеся дымовые газы. Так как в процессе эксплуатации печи расход газа и топлива может колебаться (например, при изменении

качества генераторного газа), то необходимо иметь возможность регулировать подачу в печь газа и воздуха и отвод продуктов горения. Это является тем более необходимым, что в процессе работы печи некоторые ее части (и, в особенности, насадочная решетка) засоряются и это вызывает увеличение сопротивления прохода всех газов.

Приборы для регулирования газа, воздуха и продуктов горения очень несложны. Для управления газом, обычно, имеется в газопроводе над перекидным клапаном *тарельчатый клапан*, называемый на заводах иногда „сковородой“. Подниманием и опусканием этого клапана мы приоткрываем или, наоборот, закрываем свободное сечение для генераторного газа, т. е. регулируем поступление его в печь.

Сам клапан подвешен к круглой железной штанге, снабженной наверху винтообразной нарезкой. Штанга проходит через специальную колонку (обычно расположенную вблизи засыпочного кармана) и снабжена наверху гайкой с ручками. Вращая с помощью этих ручек гайку, мы поднимаем или опускаем тарелку клапана и этим регулируем количество поступающего в печь генераторного газа. За нормальным поступлением газа в печь, обычно, следит дежурный стекловар (называемый на некоторых заводах „стекловаром на винту“).

Регулировка поступления воздуха в печь производится путем приоткрывания или закрывания отверстия, через которое воздух попадает в воздушный перекидной клапан. Пример простейшего приспособления для регулировки подачи воздуха показан на воздушном перекидном клапане Сименса (рис. 39). При барабанах Турка регулировка происходит путем большего или меньшего приоткрывания отверстия на самом барабане. Если в качестве воздушного перекидного клапана пользуются барабаном Клегга, то обычно устанавливают задвижку или шибер в том канале, который подводит воздух к перекидному клапану.

Регулировка тяги дымовой трубы, обычно, производится путем подъема или опускания простейшей чугунной или железной задвижки (шибера), помещенной в дымовом борове. При ее поднятии мы увеличиваем живое сечение для прохода отходящих газов и, следовательно, оттяжка таковых из печи увеличивается; при опускании дымового шибера имеет место обратное явление.

Приборы для управления поступлением газа (газовый вентиль) и воздуха (воздушная задвижка) в печь и отвода продуктов горения (дымовой шибер) являются главнейшими приборами, которыми стекловар регулирует работу печи. Для удобства манипулирования, управление этими приборами обычно сосредоточено на площадке у торцевой стены печи. Ниже (в этой же главе) мы укажем те основные соображения, которыми должен руководствоваться стекловар при управлении печью. Но предварительно остановимся еще на одном вопросе.

Дымовые газы из стойла печи идут как через газовые, так и через воздушные регенераторы двумя параллельными потоками. Количество отходящих газов, идущих через тот или другой реге-

нератор, зависит от свободных сечений горелок, насадочной решетки в обоих регенераторах, газовых и воздушных каналов, и, наконец, от сечения самих перекидных клапанов. Может случиться, что через один из регенераторов будет уходить подаваемое количество отходящих газов, а через другой — очень незначительное; при этом первый регенератор будет сильно накален, а второй — нагрет значительно слабее. Поэтому мы должны иметь возможность регулировать распределение отходящих газов между газовыми и воздушными регенераторами. Достигается это, обычно, установкой отдельных дымовых шиберов как за газовым, так и за воздушным перекидными клапанами. Эти шиберы служат только для регулировки соотношения дымовых газов, проходящих через воздушный и, соответственно, газовый регенераторы. Наличие этих шиберов является крайне необходимым для правильной работы печи, хотя, к сожалению, они не всегда устанавливаются. Кроме этого, в общем дымовом борове устанавливается дымовой шибер, который служит для постоянной регулировки тяги.

3. РЕГУЛИРОВКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

В ваннах печей непрерывного действия необходимо поддерживать стабильный температурный режим; это является необходимым условием для нормальной работы печи и получения надлежащего качества стекла. Необходимо подчеркнуть важность следующих двух обстоятельств. Во-первых, мы должны иметь возможность создать вдоль печи оптимальное распределение температур (о значении этого вопроса говорилось выше). Во-вторых, мы должны поддерживать температуры на одном уровне.

В больших ваннах печей с поперечным направлением пламени температура в каждом сечении печи в весьма значительной мере обуславливается поступлением газа и воздуха через соседние горелки. Чем это количество больше, тем температура выше. Поэтому правильный выбор сечений отдельных горелок является весьма ответственным вопросом при проектировании печей. Но, кроме того, нужно дать возможность изменять в производственных условиях кривую распределения температур вдоль печи. Для этой цели в горелках всегда предусматриваются пазы, через которые вставляются шамотные задвижки для частичного или полного закрытия вертикальных каналов горелки (рис. 13 и др.).¹ Такая отрегулировка производится, обычно, при пуске печи в ход; в последующем, она производится в случае надобности, но сравнительно редко и, притом, по распоряжению и указаниям руководящего технического персонала завода; поэтому на этом вопросе не будем дольше останавливаться.

Наблюдение же за стабильностью температуры в печи и соответствующая регулировка газа и воздуха относятся уже к обязанности стеклоара. На тех печах, которые снабжены приборами для измерения высоких температур (пирометрами), обычно, выбирается одна контрольная точка, показаниями которой должен руководство-

¹ Целесообразно частично закладывать влеты горелок.

ваться стекловар. Если температура падает, то стекловар дает в печь больше газа и, соответственно, воздуха. Если температура в печи подымается выше нормальной, то поступление газа и воздуха в печь следует уменьшить. Возможность контроля температуры печи по температуре в одной ее точке объясняется тем, что при уменьшении поступления в печь газа и воздуха—температура падает по всей печи, а, следовательно, и в контрольной точке.

Важно только *удачно* выбрать эту точку. Большей частью для контроля берут показания пирометра, установленного или на сыпке или в месте максимальных температур.

4. РЕГУЛИРОВКА ДАВЛЕНИЯ И РАЗРЕЖЕНИЯ В ПЛАМЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Если мы изменяем количество поступающих в печь генераторного газа и воздуха, то мы должны соответственным образом изменить положение дымового шибера для того, чтобы полностью оттянуть из печи все продукты горения. Если при увеличении поступления газа и воздуха мы не изменим (не подыдем) положения дымового шибера, то продукты горения, стремясь найти себе выход, выбиваются из всех щелей кладки, а также устремляются в выработочное отделение. Если же, наоборот, труба тянет слишком сильно, то в печи создается разрежение и через все неплотности кладки в нее засасывается наружный воздух; при этом печь и стекло сильно охлаждаются.

Хорошо ли тянет труба или нет — можно легко узнать по тому, какое давление имеется у нас на уровне зеркала. Обычно держат печь таким образом, чтобы в этом месте (т. е. на уровне зеркала) имелось нулевое давление (из печи не выбивает пламя и не засасывается воздух) или же очень небольшое разрежение (при котором имеет место слабый засос воздуха). Выше же зеркала стекла давление должно быть всегда положительным, о чем можно судить по выбиванию пламени из смотровых окошек, располагаемых над стеклом на высоте около 300 мм.

Как ясно из сказанного, давление газов в стойле печи зависит от тяги дымовой трубы; регулировка ее является весьма сильным орудием в руках стекловара. Так, например, если необходимо немного поднять температуру стекла в выработочном отделении, то стекловар путем незначительного опускания дымового шибера добивается того, что часть пламенных газов вынуждена пойти в выработочное отделение и его нагреть. Если же требуется остудить стекло в выработочном отделении, то иногда прибегают к приподыманию дымового шибера для того, чтобы засасывать холодный воздух в печь. Это мероприятие иногда является неизбежным, но злоупотреблять им, во всяком случае, не следует.

В заключение считаем целесообразным остановиться еще на одном вопросе. Часто, особенно в конце кампании печи, при сильно засоренных регенераторах в печь не подается достаточного количества воздуха, а при самодувных регенераторах — также и газа. Нельзя ли в этом случае помочь работе печи, если путем откры-

вания дымового шибера создать в пламенном пространстве разрежение, которое должно помочь засосу газа и воздуха? Многие ответят на этот вопрос положительно. Но на самом деле это не так. Благодаря разрежению, которое мы создадим в стойле печи, мы, правда, немного увеличим приток газа и воздуха из регенераторов (однако, весьма незначительно); с другой же стороны, через все щели кладки в печь будет засосано так много холодного наружного воздуха, что печь и стекло сильно застынут.

5. ХАРАКТЕР ПЛАМЕНИ И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СТЕКЛО

В зависимости от избытка воздуха или его недостатка мы имеем или так называемое *окислительное или восстановительное пламя*. При варке обычных стекол мы стремимся работать со слабо окислительным пламенем, которое является также оптимальным с теплотехнической точки зрения. Лишь при работе на сульфатной шихте часто представляется целесообразным работать на слегка восстановительном пламени, т. е. не давать воздуха в достаточном количестве. Однако, даже при необходимости иметь в печи восстановительное пламя, следует лишь слегка уменьшать количество воздуха против теоретического для того, чтобы не иметь больших потерь с несгоревшим газом. Иногда бывают случаи, при которых целесообразно создать восстановительное пламя в какой-нибудь части печи (например, у последних работающих горелок); в этом случае прибегают к частичному закрыванию шиберами воздушных каналов соответствующих горелок. Регулировка же характера пламени по всей печи достигается соответственной регулировкой поступления в печь газа и воздуха при помощи газового вентиля и воздушной задвижки.

Контроль над характером пламени в печи производится путем систематических анализов отходящих газов. Эти пробы следует брать из горелок, так как, если брать их из регенераторов или перекидных клапанов, то возможные засосы воздуха в регенераторы могут привести нас к ложным выводам. На многих наших механизированных заводах ведется систематический контроль и пробы отходящих газов берутся каждый час. Хотя такие анализы являются единственным безошибочным критерием, тем не менее каждому, кто работает на печах, необходимо наглядно уяснить себе, как влияет изменение количества воздуха на характер пламени.

На практике можно сделать следующий опыт над ванной печью или опечком для обжига огнеупорного припаса. Открыв полностью воздушную задвижку, мы увидим, что факел получает резкие контуры паяльной лампы или керосиновой горелки; мы получаем острое, ослепительное пламя, которым легко вызвать местные разгары в печи („сжечь печь воздухом“, как иногда выражаются старики-стекловары). Начнем понемногу прикрывать воздушный клапан; вначале мы не увидим никакой разницы, а затем пламя — сперва бесцветное — приобретает, по мере уменьшения доступа воздуха, сначала голубоватый, а потом — желтоватый и красноватый оттенки. Одновременно начинается увеличение длины факела и медленное

потускнение резкости его контуров. Наконец, мы потеряем границу между свободной полостью печи и самим пламенем; им заполнится вся печь; во всей печи начинают вспыхивать огоньки, но без резких контуров; пламя, заполняющее печь, окажется настолько прозрачным, что через него будет ясно видна задняя стенка печи. Это пламя определяется словом „пыл“ или „томильный жар“. Химический анализ печных газов в момент появления томильного жара или пыла (когда пламя в печи, как „молоко“) — соответствует теоретическому количеству воздуха. При дальнейшем уменьшении притока воздуха (т. е. при избытке газа) начинается помутнение пламени и задняя часть стенки перестает быть видной. Пламя становится длинным, светящимся, красноватого цвета. Это явление сопровождается резким понижением температуры в печи, а часто и выделением сажи (копящее пламя).

В этой главе мы показали, что в руках стекловара имеется возможность путем соответственной регулировки газа, воздуха и тяги поддерживать оптимальный режим печи, т. е. температуру, давление, длину и характер пламени и т. п.

От знаний и опытности стекловара, от умения управлять этими факторами в значительной мере зависит производительность печи, качество стекла и срок службы печи в целом и ее отдельных частей.

XIV. ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ВАННЫХ ПЕЧЕЙ

Основными показателями работы ванной печи являются:

- а) общая суточная производительность печи;
- б) удельный съем стекломассы (т. е. съем с 1 м^2 зеркала в сутки или в час);
- в) удельный расход топлива (т. е. расход топлива на 1 кг сваренной стекломассы).

Ниже мы приводим целый ряд данных, относящихся к производству сортового, бутылочного и листового стекла на ваннных печах. Эти данные систематизированы для большого количества печей с общим бассейном, установленных в Германии германским стеклотехническим обществом. В работах английского профессора Тернера имеется целый ряд данных, относящихся к ванным печам с протоком.

Что касается наших печей, то следует указать, что, хотя здесь и имеется большой фактический материал, но, к сожалению, он не систематизирован до сих пор. Данные о работе установленных за границей печей с общим и отдельными бассейнами представляют для нас огромный интерес с точки зрения сравнения показателей работы наших печей с заграничными.

1. СУТОЧНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПЕЧЕЙ

Для определения производительности стекловаренной печи нужно принимать в расчет не вес готовой продукции, а количество стекломассы, сваренной в печи за определенный промежуток времени (в час или в сутки), так как только эта величина характеризует мощность печи, как теплового агрегата. Общее количество сваренной стекломассы равно сумме весов готовой продукции, обратного боя и брака. Общая величина обратного боя обуславливается видом изделий, методом выработки и другими причинами, независимыми ни от конструкции печи, ни от ее обслуживания.

При выработке сортового выдувного стекла величина обратного боя колеблется в весьма широких пределах (от 8 до 50%) вследствие разнообразия в ассортименте. При выработке бутылок обратный бой составляет, обычно, 15—25% общего количества сваренной стекломассы. При выработке оконного стекла машинами Фурко он лежит в пределах 25—35%, а при выработке оконного стекла вручную—30—40% для бемского стекла и 45—55% для полубелого стекла.

Производительность печи и расход топлива зависят не только от размеров и конструкции печи и ее обслуживания, но в значительной степени и от причин производственного характера: состава шихты, количества обратного стекольного боя, загружаемого в печь и т. п. Тем не менее, при обработке данных, относящихся к большому количеству печей, этими моментами можно пренебречь при составлении окончательных выводов.

На рисунке 78 и 78-а приведены данные о производительности ванн печей для бутылочного, сортового и листового стекла. Способ построения этих диаграмм заключается в том, что на горизонтальной оси (оси абсцисс) нанесена площадь отапливаемой части бассейна в квадратных метрах, а на вертикальной оси (оси ординат) — количество сваренной в сутки стекломассы.

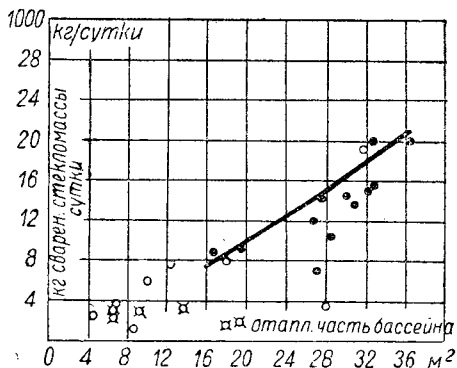


Рис. 78. Суточная производительность ванн печей для бутылочного и сортового выдувного стекла.

Для сравнения взята площадь только отапливаемой части бассейна; это является более правильным с точки зрения теплотехнической, так как количество сваренной стекломассы и расход топлива зависят, в основном, от величины поверхности только отапливаемой части бассейна.

Величина же неотапливаемой части бассейна зависит, главным образом, от других причин: необходимого фронта для установки машин или мастеров, температуры выработки стекла и т. п. На указанных диаграммах, которые относятся к печам с общим бассейном, каждая условная точка относится к определенной печи. На этой диаграмме видны сильные колебания производительности печей одних и тех же размеров; эти колебания могут объясняться целым рядом причин, как-то: неполным использованием производственной мощности печи, разным составом шихты и величиной добавки стекольного боя, состоянием печи и методом работы и т. п.

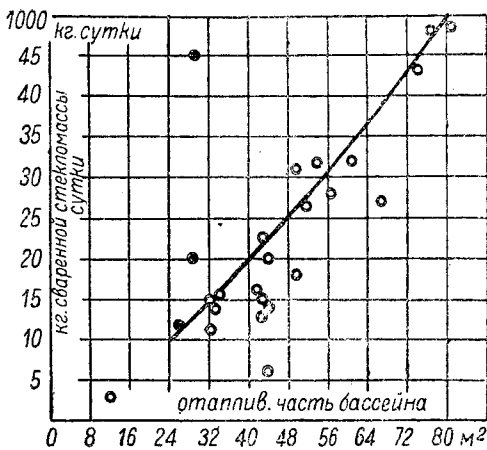


Рис. 78-а. Суточная производительность ванн печей для листового стекла.

Тем не менее из этих диаграмм видно, что *производительность*

печей возрастает скорее, чем площадь отапливаемой бассейна. Нанесенные на этих диаграммах две кривые представляют среднее значение производительности печей разных размеров.

Что касается печей с отдельными бассейнами, то в отношении их такого систематизированного материала о зависимости производительности печи от ее величины — не имеется; можно, однако, предполагать, что в этой области имеют место такие же закономерности, как и в печах с общим бассейном. У нас установлены печи с отдельными бассейнами производительностью от 6—8 т в сутки до 90—100 т (печи с пережимом для механизированного оконного производства).

2. УДЕЛЬНЫЙ СЪЕМ СТЕКЛА

На рисунке 79 и 79-а даны диаграммы *удельного съема стекла, т. е. съема с 1 м² отапливаемой части бассейна в час* для печей с общим бассейном, вырабатывающих бутылочное, сортовое и листовое стекло.

Для обычного сортового выдувного стекла удельный съем лежит в пределах 20—30 кг стекломассы на 1 м² отапливаемой части бассейна в час, что соответствует 480—720 кг/м² в сутки. Сделать заключение о зависимости между величиной удельного съема и величиной печи для сортового стекла — не представляется возможным на основании этих данных, так как число обследованных печей очень незначительно, а также вследствие разнообразия ассортимента.

Для бутылочного же стекла ясно видно увеличение удельного съема стекла при возрастании печи. Так, при площади отапливаемой части бассейна в 17,2 м² — удельный съем стекломассы составляет 20 кг/м² в час; при площади же отапливаемой части бассейна в 36 м² — съем увеличивается до 24 кг/м² в час.

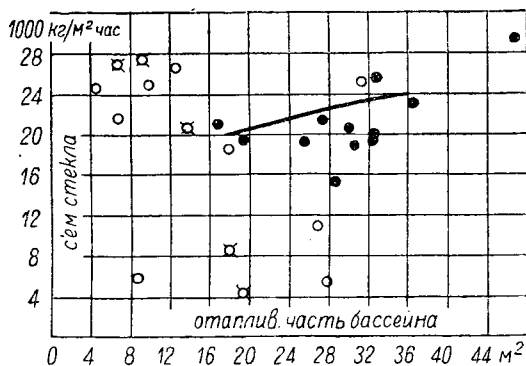


Рис. 79. Удельный съем стекла на ваннных печах для бутылочного и сортового выдувного стекла.

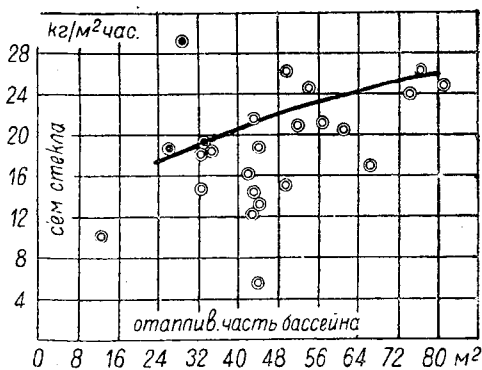


Рис. 79-а. Удельный съем стекла на ваннных печах для листового стекла.

В ваннах печах для листового стекла удельный съём также возрастает по мере увеличения площади бассейна: при 40 м^2 отапливаемой части бассейна удельный съём— 21 кг/м^2 в час, а при площади 80 м^2 он доходит до 26 кг/м^2 в час. На этих диаграммах показаны кривые средних значений удельного съёма стекла при разных размерах отапливаемой части печи.

Для печей с конструктивным разделением бассейна удельный съём стекломассы значительно выше. На наших печах для бутылочного стекла он составляет, в среднем, около 800 кг/м^2 сутки. Согласно приводимой ниже таблицы английских и американских печей удельный съём для них выше и составляет, в среднем, 790 кг при выработке зеленого стекла и 1090 кг/м^2 сутки и выработке белой бутылки.

Что касается выработки оконного стекла, то на печах с пережимом суточный удельный съём составляет $700\text{—}800 \text{ кг/м}^2$ площади отапливаемого бассейна.

3. ТЕРМИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ЗЕРКАЛА СТЕКЛА

На рис. 80 показано так называемое термическое напряжение зеркала отапливаемой части бассейна, т. е. то количество топлива в калориях, которое расходуется на каждый квадратный метр отапливаемой части бассейна. Как и следовало ожидать, значение расхода топлива на 1 м^2 весьма различно. Однако никакой закономерной зависимости здесь д-р Маурах не смог обнаружить и пришел к заключению, что расход топлива на 1 м^2 отапливаемой части зеркала есть величина, независимая от площади бассейна; для большинства печей она лежит в пределах $85\ 000\text{—}125\ 000$ (в среднем— $105\ 000$) калорий топлива на 1 м^2 отапливаемой площади в час.

Позднее этот вопрос был исследован Ламортом, который нашел, что термическое напряжение зеркала зависит от удельного съёма стекла. На рис. 81 и 81-а показаны две диаграммы, характеризующие эту зависимость. На горизонтальной оси (оси абсцисс) отложен расход условного топлива (т. е. угля теплотворной способностью $7\ 000$ калорий) на 1 м^2 отапливаемой части бассейна в сутки. На вертикальной оси отложен удельный съём в t на 1 м^2 в сутки. Как видим, расход топлива на 1 м^2 бассейна возрастает по мере увеличения удельного съёма, но значительно медленнее, чем последний. По-

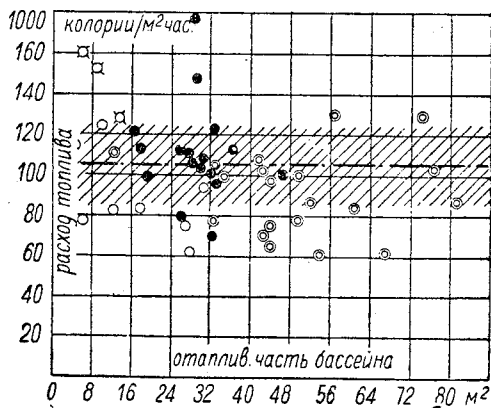


Рис. 80. Расход топлива на м^2 площади бассейна (термическое напряжение).

этому вполне естественно ожидать, что с увеличением удельного съема стекла расход топлива на килограмм сваренной стекломассы должен уменьшиться.

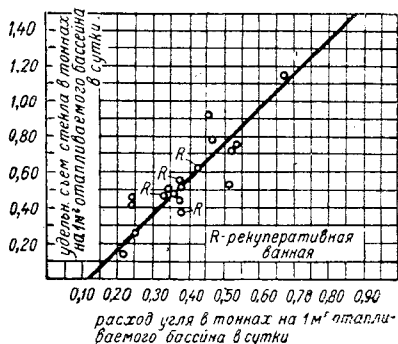


Рис. 81. Зависимость удельного съема стекла от термического напряжения поверхности зеркала в ваннах печей для выработки зеленого бутылочного стекла.

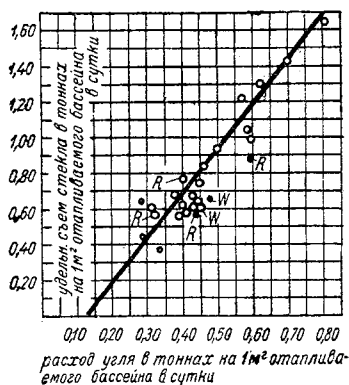


Рис. 81-а. Зависимость удельного съема стекла от термического напряжения поверхности зеркала в ваннах печей для выработки белого сортового стекла.

4. УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА

Удельным расходом топлива называется расход его на 1 кг сваренной стекломассы. На рис. 82 и 82-а нанесены две диаграммы, характеризующие зависимость удельного расхода топлива от величины отапливаемой части бассейна (для печей с общим бассейном); с увеличением площади печи удельный расход топлива уменьшается.

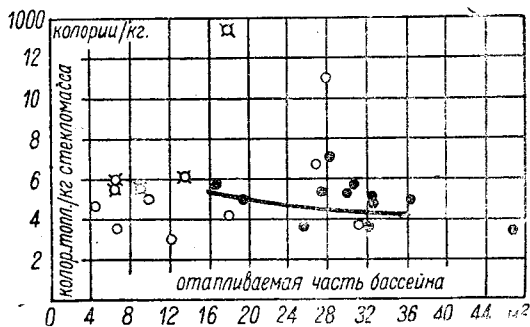


Рис. 82. Удельный расход топлива для бутылочного и сортового выдувного стекла.

Выведем мы указывали, что с увеличением удельного съема стекла, расход топлива на 1 м² возрастает, но не так быстро, как удельный съем стекломассы. Поэтому вполне естественно ожидать, что с увеличением удельного съема стекломассы удельный расход топлива уменьшится. Эта зависимость для печей с общим бассейном показана на рис. 83, который относится к печам с общим бассейном.

Здесь уместно будет привести еще некоторые данные, показывающие, как меняется расход топлива при изменении производи-

тельности одной и той же печи. Так, для одной печи (рис. 29), получились следующие значения при разной производительности печи:

Суточный расход нефти в т	Сварено стекло-массы в сутки	Удельный сьем стекла t/m^2 в сутки	Удельный расход нефти на единицу стекло-массы	То же при работе на угле
12	50	1,25	0,24	0,34
11	40	1,00	0,28	0,40
10	30	0,75	0,33	0,47

По другим наблюдениям, произведенным над целым рядом печей, изменение производительности печи на 10% вызывало изменение расхода топлива только на 1,9%. В другом случае такому изменению производительности печи соответствовало изменение расхода топлива на $4-4\frac{1}{2}\%$.

Хотя во всех означенных данных нет полного совпадения, тем не менее все цифровые показатели одного и того же порядка: они говорят о том, что с увеличением удельного сьема стекла — удельный расход топлива падает и притом весьма значительно. Это обстоятельство является одним из главных стимулов к интенсификации варки стекла и послужило побудительной причиной к переходу от печей с общим бассейном к печам с конструктивным разделением такового (печи с протоком для бутылочного и сортового производства, печи с пережимом для производства оконного стекла).

В заключение приведем таблицу основных показателей работы ряда английских и американских печей (по данным английского профессора Тэрнера):

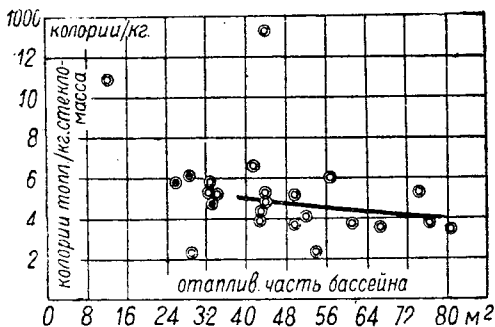


Рис. 82-а. Удельный расход топлива для листового стекла.

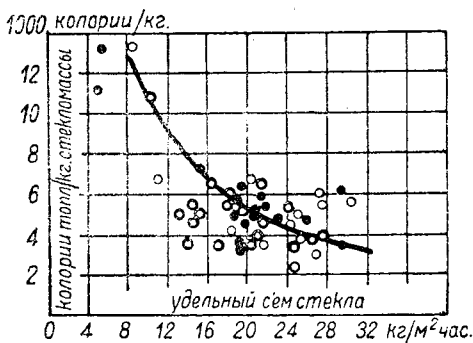


Рис. 83. Зависимость удельного расхода топлива от удельного сьема стекла.

**ТАБЛИЦА ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ РЯДА ПЕЧЕЙ
С ПРОТОКОМ, УСТАНОВЛЕННЫХ ЗА ГРАНИЦЕЙ
(ПО ПРОФ. ТЭРНЕРУ)**

Год	Площадь варочного бассейна	Глубина бассейна	Род изделий	Суточная производительность (в т)	Удельный расход 1 т/м ² сутки	Удельный расход угля 1 т на 1 т стекломассы
А. Белое стекло						
<i>1. Рекуперативная печь</i>						
1924	31,6	1,2	Мелкая бутылка	18	0,57	0,62
<i>2. Регенеративная ванная</i>						
1927	30,0	1,2	Бутылка	25,5	0,85	—
1927	40,0	1,07	Широкогорлые изделия . .	37,6	0,94	0,60
1923	40,1	1,2	Широкогорлые изделия и различная продукция . .	41,7	1,04	0,63
1923	40,1	1,2		48,5	1,21	0,5—0,55
1923	40,1	1,2		48,5	1,21	—
1924	40,1	1,2	Стеклопосуда	58,0	1,44	0,56
1924	43,0	1,2	Литровка и мелкие бутылки.	29,0	0,68	0,62
1927	44,0	1,2	Различная продукция . . .	27,0	0,62	0,72
1926	48,3	1,2	Стеклопосуда и т. п. . . .	29,0	0,68	0,62
1927	48,3	1,2	Стеклопосуда	62,8	1,30	0,54
1924	51,2	1,2	Молочные бутылки	80,0	1,66	0,55
1926	60,4	1,2	Различная продукция (8 машин)	68,0	1,33	—
				69,0	1,14	—
В среднем . .				—	1,09	0,59
Б. Цветное стекло						
<i>Коричневая бутылка:</i>						
1923—24	32,4	0,9	Бутылка	24,3	0,75	0,80
<i>Зеленая бутылка:</i>						
<i>Регенеративная ванная</i>						
1927	34,4	0,9	Литровые бутылки узкогорлые	12,7	0,66	—
1927	35,3	—	Бутылки	40,5	1,15	0,66
1927	39,0	1,2	Литровые бутылки узкогорлые	31,6	0,81	—
1925	40,1	1,05	Литровые и полулитровые бутылки.	29,3	0,73	0,81
				31,3	0,78	0,68
1927	40,6	0,9	Литровые бутылки узкогорлые	22,0	0,55	1,1
1927	43,5	0,8	Литровые и полулитровые бутылки	30,8	0,78	—
				39,4	0,91	0,57
В среднем . .				—	0,79	0,77

Следует указать, что данные цифры далеко не являются предельными. Так, в литературе приводятся следующие показатели целого ряда печей с нефтяным отоплением:

Площадь отапливаемого бассейна м ²	Суточная производительность в т	Удельный съем в т на м ² в сутки
22,3	37	1,8
33,1	41	1,4
26,8	41	1,7

5. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ВАННЫХ ПЕЧЕЙ

Удельный расход топлива на ваннных печах значительно ниже, чем на горшковых. Это можно иллюстрировать следующими показателями (по Германскому Стекло-техническому обществу).

Для сортового стекла удельный расход топлива при работе на горшковых печах лежит между 19 000 и 9 500 калорий на килограмм стекломассы. Для ваннных же печей он лежит между 6 000 и 4 000 калориями. Для оконного стекла, которое раньше вырабатывалось на горшковых печах, удельный расход топлива колебался между 10 500 и 21 000 калорий. В ваннных же печах удельный расход составляет 4 000—5 000 калорий на килограмм сваренной стекломассы.

Как видим, введение ваннных печей дало громадную экономию по сравнению с работой горшковых печей. Нужно здесь указать, что приведенные выше цифры относятся к ваннным печам с общим бассейном; печи с раздельными бассейнами характеризуются более высокими показателями работы и еще большей экономией топлива.

Тем не менее, можно определенно заявить, что в ваннных печах самой новой конструкции мы имеем громадные потери тепла, и что только незначительная часть израсходованного тепла идет на полезную работу, т. е. на доведение стекломассы и шихты до необходимых для варки и осветления температур и на химические реакции стеклообразования. Громадное количество тепла теряется совершенно бесполезно, причем, главным образом, по следующим причинам:

1) В виде потерь теплопроводностью и излучением через стены печи, свод и другие поверхности; эта потеря тепла составляет очень часто около 60% всего подводимого к печи тепла.

2) С теплом отходящих газов, уносимым в дымовую трубу; эта величина лежит, обычно, в пределах от 25 до 30% всего расходуемого тепла.

На полезные реакции, сплошь и рядом, расходуется всего лишь 10—15% от всего затраченного тепла.

Отношение полезного количества тепла ко всему израсходованному теплу называется термическим или тепловым коэффициентом полезного действия данной установки.

Из сказанного выше вытекает, что коэффициент полезного действия стекловаренных ваннных печей составляет 10—15%, т. е. иными словами около 1/8 тепла тратится на полезную работу, а 7/8 тепла теряется совершенно бесполезно.

Из этого мы видим, что коэффициент полезного действия ваннных печей очень низок и что имеется еще громадное поле деятельности для улучшения показателей работы ваннных печей.

6. ТЕПЛОВЫЕ БАЛАНСЫ

Путем теплотехнических обследований работающих ваннных печей, а также с помощью теоретических подсчетов можно определить, как распределяется тепло, затрачиваемое на процесс варки стекла в ваннной печи, а также определить каждую отдельную статью его расхода. Обычно эти материалы представляют в виде так называемого теплового баланса, который составляется, до известной степени, аналогично бухгалтерскому балансу. Мы имеем, с одной стороны, все так называемые приходные статьи тепла (т. е. подсчитываем, каким образом, откуда и в каком количестве тепло подается); с другой стороны, мы имеем расходные статьи баланса (которые показывают, на что расходуется тепло и в каком количестве).

Тепловой баланс можно разработать на всю установку в целом (т. е. газогенератор и всю ваннную печь), на одну ваннную печь и, наконец, можно выделить ту или другую часть ваннной печи (басейн, регенератор и т. д.), которая нас особо интересует.

Значение тепловых балансов заключается в том, что они наглядно показывают нам распределение тепла по отдельным статьям. Благодаря этому мы видим, на каких участках печи имеются большие бесполезные потери, что позволяет намечать мероприятия по сокращению или уменьшению этих потерь.

Тепловые балансы представляются в виде таблиц или в виде графиков. Приводим тепловой баланс ваннной печи системы Гоббе для производства оконного стекла, детально обследованной д-ром Маурахом.¹

Обследовалась вся установка в целом, т. е. не только ваннная печь, но и газогенераторная станция; приводимый баланс относится ко всей установке в целом:

ОБЩЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА В ПЕЧНОЙ УСТАНОВКЕ

I. Приход тепла		% первично- подведенного тепла
а) Первично-подведенное тепло		
1. Уголь (генераторы)		95,10
2. Пар (генераторы)		3,73
3. Шихта (ванны)		1,17
Сумма		100,00

¹ Это прекрасно выполненное теплотехническое обследование подробно описано в книге: Г. Маураха, „Тепловой поток в печи для варки оконного стекла“, Госхимтехиздат, Ленинградское отделение, 1933 г.

б) Тепло, возвращенное регенераторами:	
1. Воздух для газификации (генераторы)	0,30
2. Вторичный воздух (ванны)	10,16
3. Избыточный воздух (борова отходящих газов)	2,04
<hr/>	
Сумма	12,50
Общий приход тепла	112,50

II. Расход тепла

а) Теплота, поглощенная выбранным стеклом		12,80
б) Потери тепла в отходах		
1. Конденсированная влага (паропровод в генераторах)		0,03
2. Шлаки (генераторов)		0,57
3. Сажа (газопровода)		0,36
4. Потеря газа (перекидного колокола)		1,72
5. Потеря дымовыми газами (труба)		29,92
<hr/>		
Сумма		32,60
в) Потеря тепла теплопроводностью и излучением		
1. Паро-воздухопроводы к генераторам		0,57
2. Генераторы и главный сборник		8,75
3. Газопровод		3,32
4. Регенератор		5,83
5. Печь		40,30
6. Борова отходящих газов		8,23
<hr/>		
Сумма		67,00
Общий расход тепла		112,50

Как видим, в приходе тепла главную роль играет уголь, загруженный в генераторы (95,10% всего первично подведенного тепла). Кроме того, в приходной статье введены тепло пара, подаваемого в генераторы, а также физическое тепло шихты, загружаемой в ванную печь. Значения двух последних величин сравнительно невелики (меньше 5%). Кроме того, в приходе тепла ванной печи учитывается то количество тепла, которое идет на подогрев газов в регенераторе (12,4%).

Расходные статьи включают три основных отдела: полезное тепло (которое составляет 12,80%), потери тепла в отходах (которые составляют 32,60%; главную часть этих потерь составляют потери с дымовыми газами, уносимыми в дымовую трубу—29,92%). Кроме того, учитываются потери газа при перекидке, потери топлива в саже, отлагающейся в газопроводе, в шлаках генератора и, наконец, потери, вызванные конденсацией пара в паропроводах. Но все эти потери сравнительно невелики (меньше 3%).

Основной статьёй потерь тепла являются потери через стены теплопроводностью и излучением (которые составляют 67%). Из них на долю верхнего строения печи приходится свыше 40%, на долю нижнего строения (регенераторы и борова отходящих газов)—около 14%, а на долю самой газогенераторной станции—около 13%.

Следует указать, что такой небольшой коэффициент полезного действия данного агрегата, равный только $12,8\%$, характеризует отсталость современной техники в отношении конструкции печей для варки стекла.

На рис. 84 мы даем для наглядности графическое распределение тепла во всей печной установке. Пользуясь помещенными под рисунком надписями, а также приведенным выше тепловым балансом, читателю будет нетрудно самому разобраться в методе составления такого графика. Следует объяснить только, почему справа имеется замкнутый поток тепла. Он изображает собой то тепло, которое

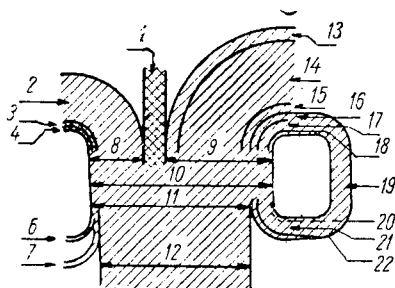


Рис. 84. Тепловой баланс всей печной установки для выработки оконного стекла (по Маурау).

1 — использование стеклом тепла $12,8\%$, 2 — потеря с отходящими газами $29,92\%$, 3 — потеря газом $1,72\%$, 4 — конденсат, сажа, шлаки $0,96\%$, 6 — шихта $1,17\%$, 7 — пар $3,73\%$, 8 — потери в отходах $32,6\%$, 9 — потери от охлаждения в $67,1\%$, 10 — общее подведенное тепло $112,4\%$, 11 — первично подведенное тепло 100% , 12 — уголь $95,1\%$, 13 — боровая отходящих газов $8,23\%$, 14 — печь $40,46\%$, 15 — регенератор $5,83\%$, 16 — газопровод $3,32\%$, 17 — генераторы $8,75\%$, 18 — трубопровод паровоздушной смеси $0,57\%$, 19 — регенерируемое тепло $12,5\%$, 20 — воздух газификации $0,36\%$, 21 — вторичный воздух $10,16\%$, 22 — избыточный воздух $2,04\%$.

уносится из стойла печи с отходящими газами и возвращается обратно с подгретыми в регенераторах газом и воздухом. Иными словами, мы имеем здесь и унос тепла и его обратный приход.

Иногда для наглядности тепловые балансы наносят на схематическом чертеже печи. Такой график для печи с протоком показан на рис. 85. Этот баланс подсчитан, причем расчет сделан только для самой ванной печи без газогенераторной станции.

Основной приходной статьей является теплотворная способность генераторного газа, которая составляет $99,2\%$ от всего прихода. Очень небольшую роль играет физическое тепло газа (он подается в печь при 35°) и воздуха (подается при 15°). Приход тепла показан с левой стороны; газ входит в газовый перекидной клапан Моргана, а воздух — в соответственный клапан Сименса. По дороге эти газы подогреваются не только в регенераторах, но и в горелках и каналах, и это тепло суммируется с первично подведенным.

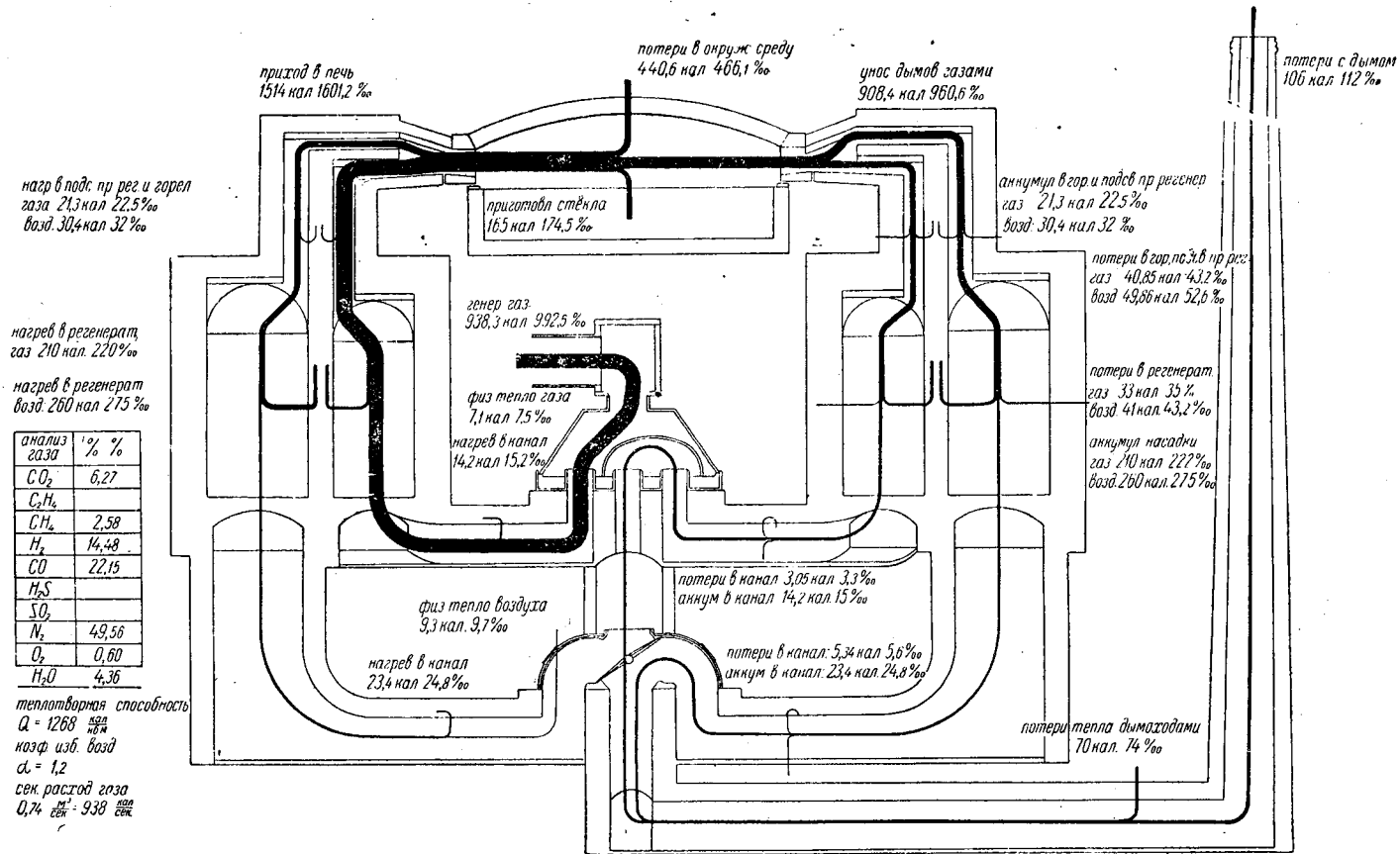


Рис. 85. Тепловой баланс ванной печи с прогоком для механизированной выработки сортового стекла (статьи баланса даны в тысячных долях — ‰).

В стойле печи показан полезный расход тепла на приготовление стекла, а также потери в окружающую среду. Отходящие газы проходят через горелки, регенераторы и каналы, причем в каждом из них оставляется известное количество тепла. Одна часть последнего (в виде петли) используется после перекидки для подогрева газа и воздуха; другая часть (показанная линиями, перпендикулярными к наружным стенам) означает потери тепла через наружные стены. Такой график является очень наглядным.

Если пожелать сравнивать тепловые балансы обеих печей, то нужно иметь ввиду, что в первом случае баланс относится ко всей установке в целом и, следовательно, учитывает и потери в газогенераторе, газопроводе и т. д. Во втором случае баланс относится к самой печи; поэтому для сравнения необходимо вводить коэффициент полезного действия газогенераторной установки. Если принимать эту величину равной 80% , то коэффициент полезного действия данной установки будет уже не $17,45\%$, а $0,8 \times 17,45 = 13,56\%$.

Этот коэффициент полезного действия весьма низок, но он, все же, несмотря на меньшие размеры печи, — выше,¹ чем в ванной печи, обследованной Маурахом; это следует приписать тем преимуществам, которые имеют печи с отдельными бассейнами перед печами с общим бассейном.

¹ Несмотря на то, что эта печь меньше, чем обследованная доктором Маурахом.

XV. ВЫВОДКА ВАННОЙ ПЕЧИ

После того, как ванная печь выстроена, нужно ее разогреть и наварить стекломассу, т. е. привести ее в рабочее состояние. Этот процесс называется выводкой печи.

Мы не имеем возможности давать здесь подробных инструкций о выводке печей и должны ограничиться основными соображениями о выводке, осветив некоторые до сих пор спорные вопросы.

При выводке печи очень важно свести ее продолжительность до технически возможного минимума, так как благодаря этому не только уменьшаются весьма высокие расходы на самый процесс выводки (топливо, рабсила), но и печь скорее вступает в эксплуатацию (т. е. уменьшается ее простой). С другой стороны, при неудачной выводке могут получиться опасные для печи деформации, которые иногда принуждают к остановке печи.

Первостепенное значение при выводке стекловаренной печи играет учет линейного расширения огнеупоров и, в первую очередь, динаса, а также донных брусьев.

Что касается динаса, то наибольшее его расширение имеет место до 600° , так что именно этот интервал должен быть пройден с большой осторожностью. Что касается шамотного бруса, то интервал его расширения зависит от основных его качеств; для некоторых брусьев замечается особо большой температурный рост в пределах от 75° до 250° и от 500° до 625° . Иными словами, основное расширение огнеупоров происходит в пределах до температуры 600° — 650° ; этот участок должен быть пройден наиболее осторожно, т. е. с наименьшим подъемом температуры. По вопросу о том, с какой скоростью можно подымать температуры в этом участке,—не имеется еще окончательно установленных данных. Некоторые авторы дают на это до 20 суток; практический же опыт работы ряда заводов показывает, что для этого вполне достаточно 8—9 суток (и даже 5—6 суток). В мартеновских печах подъем температур делается значительно быстрее. Все это дает основание предполагать, что сроки выводки могут быть значительно сокращены против тех, какие в настоящее время применяются у нас. Но этот вопрос должен быть более изучен на основании практических данных и теоретических соображений.¹

Во время подъема температур следует особо наблюдать за состоянием свода и регулировать его рост соответствующими манипу-

¹ Богатый практический материал опубликован в статье инж. Литваковского и Гусакова, журнал „Керамика и стекло“, № 2, 1935 г.

лящими со связями. Необходимо также следить за ростом бассейна, который в больших печах достигает значительной величины. Все остальные части печи также должны постоянно находиться под наблюдением. Вообще, дело выводки требует от руководителя большого практического опыта и хорошо налаженной и организованной работы всего коллектива, занятого при выводке.

После того, как пройден опасный интервал температуры (т. е. 650°), — можно производить подъем температур значительно быстрее — до температуры порядка 1250° , когда можно уже начать наварку печи сперва боем, а потом и составом (при наварке составом нужна температура не меньше $1350—1400^{\circ}$).

Первоначальный разогрев печи производят на твердом топливе (дрова, торф, уголь), а в печах, работающих на нефти — этой последней. Разогрев твердым топливом с помощью специально устроенных топок объясняется тем обстоятельством, что пускать газ в холодную печь является опасным, так как это может привести к взрывам. К тому же поддерживать низкую температуру в печи при газовом отоплении является очень трудным (причины этого приведены выше).

Есть два основных способа устройства топок. Наиболее распространена установка их внизу под насадочной решеткой регенераторов. Пламенные газы проходят через регенератор и горелки и поступают в стойло печи, а оттуда через щели кладки уходят наружу. Этот способ будем в дальнейшем называть выводкой снизу.

Кроме того, иногда топки устраивают в горелках ванной печи. Эти топки устанавливаются через одну горелку, причем ввод топочных газов сделан таким образом, что последний поступает в стойло печи. Оттуда они через соседние горелки отводятся в регенераторы и в дымовую трубу. Этот способ выводки будем называть *верхним*, так как топки располагаются вверху. Он применяется на Константиновском стекольном заводе, Гомельском и др.

Большинство наших техников привыкло к нижней выводке. В пользу ее приводится тот несомненно правильный довод, что благодаря большой тепловой емкости насадочной решетки, — те или иные колебания, происходящие вследствие неравномерной топки, выравниваются и температура в стойле печи поднимается более равномерно, без скачков. Этот довод был весьма убедителен, на наш взгляд, раньше, когда печи выводились „на глазок“. В настоящее же время, когда на большинстве заводов имеется контрольно-измерительная аппаратура, — можно вполне плавно поднимать температуру в печи и при расположении топок вверху (как об этом говорит опыт Константиновского, Гомельского и других заводов). С другой стороны, выводка сверху имеет следующие преимущества. Во-первых, ее можно осуществить быстрее, так как при этом мы непосредственно отапливаем самый бассейн (а не через регенераторы, как это имеет место при нижней выводке). Это обстоятельство является очень важным, так как для пуска газа в печь нужно иметь в стойле температуру порядка 650° . Кроме того, при верхней выводке мы отводим отходящие газы в регенераторы, а не в гутту,

т. е. не только экономим топливо, но и создаем более благоприятные условия для наблюдения за самой выводкой.

В виду этого, мы считаем более целесообразной верхнюю выводку.

Перейдем к вопросу о пуске газа. Пуск газа в регенераторы, обычно, делают тогда, когда температура в стойле будет порядка около 700° . Этот момент является весьма ответственным, так как нужно позаботиться о том, чтобы в газовом регенераторе не было воздуха; в противном случае возможен взрыв. Обычно, для предупреждения этого стараются заполнить газовый регенератор отходящими газами без избытка воздуха. При верхней выводке это достигается уменьшением притока воздуха в топку; при нижней же выводке обычно оставляют несколько дымящих полен в газовом регенераторе. Рациональной и надежной является предварительная продувка газового регенератора паром, что достигается путем вдувания пара через газовый перекидной клапан за 5—10 минут до пуска газа.

Опасным моментом является также и первая перекидка. Дело в том, что если в отходящих газах имеется большой избыток воздуха, то газ, смешавшись с ним в газовом регенераторе, может дать хлопок. Поэтому обычно поред перекидкой убавляют воздух, доводя его до теоретического количества или даже немного ниже (закрывать его нельзя, так как в воздушном регенераторе может оказаться много газа, который после перекидки соединится с воздухом и даст хлопок), а затем переводят печь. Можно и в этом случае применить продувку паром.

Представляется весьма целесообразным до пуска газа в регенераторы дать газ через специальный газопровод, вставленный в торцевую стену; этот газ можно дать при достижении температуры в стойле $200—220^{\circ}$; нужно только обеспечить загорание газа.

При выводке небольших ваннных печей (и, в частности, с подковообразным пламенем) можно применять более упрощенный метод выводки, а именно топку (или же газ) дают с торцевой стены. Имеются еще и другие методы, но на них мы останавливаться здесь не имеем возможности.

Представляет интерес способ наблюдения за деформацией свода, примененный при выводке печи № 2 на Гомельском заводе. Обычно, применяется установка на своде размеченных кирпичей; на перекрытии же подвешиваются на проволоках весочки и по взаимному перемещению кирпичей относительно весков судят о величине подъема свода. На Гомельском заводе был применен впервые другой метод. По всему своду были поставлены на глиняных колодках нивелировочные рейки; сбоку печи был установлен нивелир, с помощью которого делались отсчеты на всех рейках. В качестве контрольного репера была сделана соответствующая отметка на железобетонной колонне здания. Благодаря этому методу, удалось избежать обычно весьма кропотливой, проводимой в тяжелых условиях и, в результате, неточной работы по разглядыванию положения весков, подвешенных с крыши; к тому же, полученные результаты отличаются особой точностью (порядка 1 мм).

Выше указывалось на необходимость четкой организации работ по выводке печи. Считаем целесообразным подчеркнуть необхо-

димось своевременной подготовки плана всей работы, как-то: кривой выводки, графика наварки стекла, установки топок, пуска газа и т. п. В эти же графики должны заноситься каждую смену исполнительные данные, необходимые в целях постоянного текущего контроля. Следует также вести кривую подъема свода для заранее намеченных характерных точек; кроме того, если какая-нибудь секция при выводке дает некоторые деформации, — целесообразно составлять для нее текущие контрольные графики.

XVI. НОВЫЕ МЕТОДЫ ВАРКИ СТЕКЛА

Коэффициент полезного действия ваннных печей чрезвычайно низок—10—15%. Хотя стекольщики и работают над усовершенствованием этих печей, но вряд ли удастся добиться на ваннных печах более высокого коэффициента полезного действия, чем 25%.

Каковы же причины невозможности достигнуть в ваннных печах высоких значений коэффициента полезного действия? Таких причин имеется, в основном, три. Во-первых, пламя обращено к стеклу только своей нижней стороной; сверху и с боков оно отдает свое тепло наружным поверхностям, результатом чего являются громадные потери тепла *через наружные стены*. Во-вторых, температура отходящих газов, покидающих стойло печи, должна быть выше температуры стекломассы (порядка 1400—1500°); хотя мы используем значительную часть этого тепла с помощью регенераторов или рекуператоров, но, не говоря уже о сложности этих сооружений, все же потери тепла в дымовую трубу весьма значительны.

Третьим дефектом ваннных печей является то обстоятельство, что пламенные газы передают свое тепло стекломассе только через ее поверхность, а последняя по сравнению с ее массой—невелика. Вследствие незначительной величины этой активной тепловоспринимающей поверхности—производительность ваннных печей очень мала.

Вполне естественно, что стекольщики—конструкторы и изобретатели заняты поисками варки стекла в печах других типов, нежели ваннные.¹

Одним из заманчивых путей является применение так называемых шахтных печей. Печи этого типа очень широко применяются в промышленности; к ним принадлежат доменные печи, вагранки, печи для обжига извести, доломита, цементного клинкера и т. д. Они характеризуются очень высоким коэффициентом полезного действия, который иногда доходит до 90% и даже до 95%. Это объясняется двумя обстоятельствами. Во-первых, тем, что в этих печах применен принцип так называемого *встречного движения* или *противотока*. Загружаемый материал спускается сверху вниз, а газы идут ему навстречу снизу вверх. Выходя из зоны максимальных температур, они встречают загруженный материал и, передавая ему свое тепло, готовят его к окончательной термической переработке. Поэтому отходящие газы имеют очень низкую

¹ Вопрос этот подробно освещен в наших статьях в журнале „Керамика и стекло“, 1933 год, №№ 1, 3, 5, 6 и 7.

температуру. Во-вторых, каждый кусок загружаемого материала омывается со всех сторон газами; благодаря этой большой активной поверхности получается значительная удельная производительность печи, результатом чего является большая производительность при малых объемах.

Основная трудность применения шахтных печей для варки стекла заключается в том, что шахтную печь нельзя загружать мелко-размолотым материалом, так как эта загрузка получается непроницаемой для газов. Немецкий изобретатель Кюнцель предложил устранить это затруднение следующим путем: он рекомендует нижнюю часть шахты заполнять крупными кусками кварцита, а остальную часть ее загружать смесью известняка и кварца величиной в кулак; соду же он предлагает вводить в порошкообразном виде, с тем, чтобы она, расплавляясь в верхней части шахты, стекала по поверхности раскаленных кусков кварца и известняка и постепенно насыщалась необходимыми частями стеклянной шихты. Кроме этого, к шахте пристроена передняя камера, отапливаемая горелками и снабженная бассейном для стока расплавленной стекломассы.

Другие предложения идут по линии так называемой варки стекла во взвешенном состоянии. Мысль эта заключается в том, чтобы подавать распыленную шихту в поток пламенных газов, причем в виду распыленности шихты можно рассчитывать, что реакции варки и осветления будут происходить в очень короткий срок, измеряемый секундами или, в крайнем случае, минутами; для сравнения следует указать, что среднее время пребывания стекломассы в ванной печи измеряется сутками. Впервые предложение о варке стекла во взвешенном состоянии было разработано английским конструктором Фергюссоном. Опыты, проведенные в этой области в Англии несколько лет тому назад, дали очень интересные результаты, хотя и выявили много трудностей. В настоящее время в Институте стекла проводятся экспериментальные работы по варке стекла во взвешенном состоянии.

Интересным предложением является варка стекла во вращающихся печах особого типа. Вращающиеся печи применяются для варки ряда материалов (как напр., эмали) и могут, вне всякого сомнения, применяться и для варки стекла. Германский инженер Цотос предложил придать вращающейся печи такую скорость, чтобы стекломасса удерживалась центробежной силой по всей окружности; пламенные же газы нужно пускать внутри стекломассы. При этом, пламенные газы будут со всех сторон окружены стекломассой; в результате, не только увеличится активная поверхность полезного восприятия тепла, но и значительно уменьшатся потери тепла через стены.

Для нас не представляет никакого сомнения, что те печи для варки стекла, которые применяются в настоящее время,—являются весьма несовершенными агрегатами и будут заменены другими, более эффективными. Трудностей на этом пути имеется очень много, но возможностей—еще больше, так как коренное изменение облика печного хозяйства в нашей промышленности сулит полный технический и экономический переворот на этом участке.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие	3
 <i>I. Исторический ход развития стекловаренных печей, главные типы и их сравнение</i>	
1. Краткая история стеклоделия	5
2. Печи стекольного производства	6
3. Главные типы стекловаренных печей	6
4. Процесс варки стекла	8
5. Горшковые печи	9
Описание	9
Метод варки стекла в горшковой печи	10
6. Периодические ваннные печи	13
7. Ваннные печи непрерывного действия	14
8. Сравнение между горшковыми печами, периодическими и непрерывными ваннными	15
Метод работы	15
Удельный расход топлива	17
Качество стекла	18
Другие показатели	18
9. Область применения горшковых и ваннных печей	19
 <i>II. Регенерационные ваннные печи</i>	
1. Различные виды применяемого топлива	21
2. Газификация твердого топлива	22
3. Регенеративная печь с газовым отоплением	22
4. Назначение регенераторов	24
5. Регенеративная ваннная печь с нефтяным отоплением	25
 <i>III. Газификация топлива и газогенераторы</i>	
1. Основы газификации топлива и газогенераторного процесса	28
2. Применение водяного пара в газогенераторном процессе	33
3. Главные типы газогенераторов	35
Самодувный газогенератор	35
Генератор с дутьем и неподвижной решеткой	36
Генератор с вращающейся решеткой	37
4. Очистка газа	38
 <i>IV. Классификация ваннных печей</i>	
1. Классификация профессора Кеппелера и ее признаки	40
Метод использования тепла отходящих газов	40
Направление пламени в стойле печи	41

	<i>Стр.</i>
2. Способы разделения бассейна	41
Печи с общим бассейном	41
Печи с раздельными бассейнами	42
Печь Малышева	43
Американская печь с протоком (печь Симплекса)	44
Печь с пережимом	44
3. Способ использования тепла отходящих газов	45
4. Направление пламени в стойле печи	45
В регенеративных печах	45
В рекуперативных печах	47
5. Современная классификация ваннных печей	49

V. Регенеративные ваннные печи с общим бассейном

1. Ванная печь с поперечным пламенем (системы Гоббе) для бутылочного стекла	50
2. Ванная печь системы Гоббе для оконного стекла	54
3. Ванная печь с подковообразным пламенем	56
4. Ванная печь с продольным пламенем	58
5. Сравнение различных типов ваннных печей с общим бассейном и область их применения	61
Печи с продольным пламенем	61
Печи с подковообразным и поперечным пламенем	61
Область применения ваннных печей с общим бассейном	63
6. Основные размеры ваннных печей с общим бассейном	64
Площадь зеркала	64
Длина и ширина бассейна	64
Глубина бассейна	65
Высота свода над зеркалом стекла	67

VI. Ваннные печи с конструктивным разделением бассейна

1. Недостатки печей с общим бассейном	70
2. Основные причины недостатков ваннных печей с общим бассейном	70
3. Термические потоки стекломассы и их роль в процессе варки стекла	72
4. Мероприятия по устранению основных дефектов печей с общим бассейном	74
5. Главные способы конструктивного разделения бассейна	75
6. Ванная печь Сименса с раздельными бассейнами	76
7. Печь Малышева	77
8. Печи с протоком американской конструкции (Симплекса)	81
9. Другие методы разделения бассейна	91
10. Основное отличие современных конструкций печей с раздельными бассейнами от печи Сименса	92
11. Достоинства и недостатки печей с протоком	93
12. Печь с пережимом	95
13. Главные размеры бассейна	100

VII. Регенераторы

1. Назначение регенераторов	103
2. Преимущества газового отопления печей и регенерации тепла отходящих газов	104
3. Основные типы регенераторов	104
4. Сравнение вертикальных регенераторов с горизонтальными	105
5. Основные размеры регенераторов	107
Длина регенераторов	107
Высота и ширина регенераторов	108
Соотношение размеров воздушных и газовых регенераторов	109
6. Насадочный кирпич и способы его кладки	110
Размеры кирпича	110
Толщина кирпича	111

	<i>Стр.</i>
Степень заполнения	111
Различные способы кладки насадочного кирпича и их сравнение	112

VIII. Перекидные клапаны

1. Назначение перекидных клапанов и главные типы	115
2. Клапан Сименса	115
3. Барабан Клегга	117
4. Барабан Турка	118
5. Клапан Моргана	119
6. Потери газа при перекидке	120
7. Периоды перекидки	121

IX. Рекуперативные ванны печи

1. Главные типы рекуператоров	124
Горизонтальные рекуператоры	125
Вертикальные	126
2. Рекуперативные ванны печи	123
Печь Тейзена	128
„ Амслер-Мортон	129
3. Сравнение рекуперативных и регенеративных печей	129

X. Горелки

1. Назначение горелок	133
2. Основные законы горения	133
3. Факторы, влияющие на ускорение и замедление процессов горения	136
Состав горючего	136
Температура	137
Предварительное смешивание горючего с воздухом	138
Избыток воздуха	139
4. Влияние предварительного смешивания газов и величины избытка воздуха на распределение температур	140
5. Способы достижения оптимального распределения температур	142
6. Способы отдачи тепла от пламенных газов стекломассе	143
Конвекция	143
Излучение пламенных газов	143
„ сажистого углерода	143
„ свода и стен печи	143
Соотношение отдачи тепла различными способами	143
7. Горелки при газовом отоплении	144
Взаимное расположение газа и воздуха	144
Горелки без разделительного языка	146
Горелки с горизонтальным языком	147
Угловые горелки	147
Угол наклона пламени	148
8. Горелки для жидкого топлива	149
Основные типы форсунок	149
Установка форсунок	154

XI. Конструкция основных частей ванной печи и применяемые материалы

1. Регенераторы	156
2. Горелки	159
3. Дно бассейна	160
4. Стены бассейна	162
5. Динасовые стены стойла печи	163
6. Свод печи	165

XII. Загрузка шихты в печь

1. Предъявляемые к загрузке шихты требования	167
2. Загрузка ковшом	167
3. Загрузочные карманы	168
4. Непрерывная загрузка шихты и ее преимущества	169

XIII. Управление работой ванной печи

1. Причина движения печных газов	171
2. Регулировка газа, воздуха и дымовых газов	172
3. Регулировка температурного режима	174
4. Регулировка давления и разрежения в пламенном пространстве	175
5. Характер пламени и его воздействие на стекло	176

XIV. Показатели работы ваннных печей

1. Суточная производительность печей	178
2. Удельный съем стекла	180
3. Термическое напряжение зеркала стекла	181
4. Удельный расход топлива	182
5. Коэффициент полезного действия ваннных печей	185
6. Тепловые балансы	186

*XV. Выводка ванной печи**XVI. Новые методы варки стекла*

О П Е Ч А Т К И

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
46	8 сверху	(рис. 22)	(рис. 21 и 22)
54	3 „	(глава VII, 3)	(глава VI, 3)
64	8 снизу	неотапливаемого	отапливаемого
78	подпись под рисунком	(план)	(продольный разрез)
79	подпись под рисунком	(продольный разрез)	(план)
89	5 снизу	Протоки	Потоки
92	4 сверху	деление стенок	делительная стенка
134	12 снизу	иода	вода
135	16 сверху	16 кг метана или 26 кг	16 кг метана или 28 кг
159	19 снизу	2,43

С. С. Берман — „Ванные стекловаренные печи“.

Цена 3 руб. 50 коп.

Переплет 50 коп.

11

24105

СКЛАДЫ ИЗДАНИЙ:

Москва, ул. Разина, д. № 9, Гизлегпром.

Ленинград, Гостиный двор, Большая Суровская
линия № 126. склад Гизлегпрома

Продажа во всех магазинах КОГИЗ'а