

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга рассчитана на работников (и в первую очередь на мастеров), занятых в производстве извести непосредственно на наиболее сложной и ответственной операции — обжиге известняка.

В связи с этим особое внимание обращено в книге на описание основных принципов обжига, конструкций известеобжигательных печей, а также на сравнительную характеристику, методы эксплоатации и контроль работы печей.

Вопросу основных качеств и специфических особенностей сырья и топлива, связанному с правильным и рациональным обжигом известняка, в книге уделено достаточно внимания. Вопросы же, не имеющие непосредственного отношения к обжигу (добыча известняка, гашение, помол извести и т. д.), в настоящей работе не освещаются.

Намеченное послевоенным пятилетним планом значительное развитие известковой промышленности пойдет в основном по линии усовершенствования и строительства наиболее рентабельных, во всех отношениях, шахтных известеобжигательных печей. В силу этого обстоятельства последним уделено в книгах наибольшее внимание.

В общем балансе производства извести в нашей стране печи более старого и менее совершенного типа, как то: напольные и кольцевые, играют еще достаточно значительную роль, и, несмотря на то, что перспективы их дальнейшего распространения весьма ограничены, автор все же считал необходимым более или менее подробно остановиться на описании этих печей как с конструктивной, так и с эксплоатационной точек зрения.

Учитывая уровень знаний читателя, на которого рассчитана книга, автор стремился сделать изложение по возможности популярным и максимально простым. Наряду с этим автор счел необходимым ввести ряд понятий и положений (теплотворная способность, процессы горения и газификации топлива, условное топливо, влияние химического и гранулометрического состава известняка на скорость обжига, пофракционный обжиг, конструктивные особенности шахтных печей и т. д.), которые в пособиях этого рода обычно не затрагивались или освещались вскользь.

## Раздел I. СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ

### Химический состав известняков

Сырьем для производства извести служат известняки, представляющие собой осадочную горную породу, весьма распространенную в природе и состоящую из углекислого кальция, углекислого магния и некоторого количества различных примесей.

Углекислый кальций ( $\text{CaCO}_3$ ) является основной составной частью известняка.

Химически чистый известняк (кальцит, известковый шпат), состоящий только из углекислого кальция, встречается в природе очень редко.

Углекислый магний ( $\text{MgCO}_3$ ) присутствует в известняке в различных количествах в зависимости от того, при каких условиях происходило образование пласта известняка.

В зависимости от содержания углекислого магния в породе, различают (при условии незначительного, до 5%, содержания прочих примесей):

Содержание $\text{MgCO}_3$	
1. Известняк чистый . . . . .	0—3%
2. Известняк слабо доломитизированный . . . . .	3—10%
3. Известняк сильно доломитизированный . . . . .	10—20%
4. Известковый доломит . . . . .	20—40%
5. Доломит чистый . . . . .	40—46%

Все эти породы пригодны для получения из них вяжущих веществ, свойства которых, так же как и область их применения, в зависимости от содержания углекислого магния, различны.

Так, например, из чистых известняков после обжига получается белая воздушная (так называемая кальциевая) известь, применяемая как вяжущий материал в строительной промышленности и, главным образом, в других областях промышленности в качестве химического продукта.

Доломитизированные известняки дают серую воздушную известь, употребляемую в строительной промышленности.

Из доломитов также получается серая воздушная известь, отличающаяся от двух предыдущих сортов извести более медленным гашением. Строительный раствор из такой извести отличается большой прочностью, не дает выпучин при штукатурке, в силу чего употребляется при отделке наружных фасадов зданий и т. п.

Наиболее частыми примесями в известняках являются кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ) и окислы железа и алюминия ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), присутствующие в виде глинистых примесей (глина представляет собой в основном соединение кремнезема, окиси алюминия и воды).

Наличие примесей в известняках обуславливает тот или иной цвет последних — от белых, желтых, розовых, зеленых и до темносерых.

Кремнезем является вредной примесью и может присутствовать в известняке в растворенном виде. В некоторых случаях кремнезем, равномерно пропитывая известняк, дает породу, которая называется опокой.

В других случаях кремнезем заполняет пустоты в толще известняка, образуя кремниевые включения и прослойки.

Наконец кремнезем может присутствовать в известняке в виде песка различной крупности.

Вяжущие свойства извести при повышенном содержании кремнезема ухудшаются, — такая известь носит название тощей, и, кроме того, кремнезем вместе с известью дает легкоплавкие соединения. При температуре, необходимой для обжига известняка, поверхность его кусков, нагретая до наиболее высокой температуры, начинает оплавляться и образует стекловидную оболочку, которая затрудняет выход углекислоты из середины кусков, в результате чего центральная часть в кусках окажется или плохо или совсем не обожженной (о процессах, происходящих при обжиге известняка, — см. ниже).

Оплавление кусков известняка, при недостаточно внимательном обслуживании извешеобжигательной печи, может привести к свариванию отдельных кусков известняка в глыбы и привариванию их к футеровке печи. В шахтных печах это может привести к образованию зависаний материала (так называемых „козлов“).

В силу изложенного опока и известняк со значительным содержанием песка непригодны для обжига на известь.

Окись алюминия и окись железа, так же как и кремнезем, дают с известью легкоплавкие соединения (т. е. являются так называемыми „плавнями“).

Глинистые примеси как в кальциевых, так и в магнезиальных известняках обуславливают получение вяжущих веществ разнообразного (в зависимости от количества глинистых примесей) качества.

Плавни (глинистые примеси) снижают температуру обжига известняка и, кроме того, что особенно важно, придают получаемому после обжига вяжущему материалу гидравлические свойства, т. е. способность раствора из этого вяжущего твердеть не только на воздухе, но и без доступа последнего — под водой.

Получаемый вяжущий материал обладает, до известной степени, тем большими гидравлическими свойствами, чем больше содержание глинистых примесей в сырье.

Сырье для получения воздушной извести не должно содержать более 6% глинистых примесей.

При содержании выше 6% (до 40%) глинистых примесей сырье обжигается при значительно более низких температурах, а получаемый при этом продукт либо гасится частично, либо

не гасится совсем, и для придания ему свойств вяжущего материала должен тонко перемалываться.



## Физические свойства известняков

По внешнему виду известняки очень разнообразны, что объясняется различием их физического строения и оттенков.

Цвет известняка, как уже было указано выше, обусловливается наличием тех или иных примесей.

В физическом строении известняка основную роль играет его возраст.

По своему строению известняки делятся на кристаллические и некристаллические (так называемые аморфные).

Аморфные известняки в свою очередь разделяются на плотные, рыхлые и землистые.

Наиболее молодыми являются землистые известняки. Затем, в возрастном порядке, идут рыхлые, плотные и, наконец, самые старые—кристаллические известняки, к которым относится мрамор.

Как известно, почти все известняки произошли от остатков различных организмов, населявших когда-то морские воды. Напластования из остатков этих организмов, состоящих из углекислого кальция, который эти организмы поглощали из морской воды, постепенно превращались в твердые породы. Чем моложе известняк, тем он более рыхлого строения и тем легче могут быть в нем обнаружены остатки упомянутых организмов.

К числу таких пород относятся, например, наиболее молодой известняк—ракушечник, в котором раковинки обнаруживаются невооруженным глазом, и более старый—мел, в котором раковинки уже настолько малы, что обнаруживаются только под микроскопом.

Наиболее распространенной породой является плотный известняк, имеющий промышленное значение в производстве извести.

Одним из основных физических свойств известняков в производстве извести является прочность. Прочность определяется нагрузкой, выражаемой в килограммах на 1 см<sup>2</sup> поверхности испытуемого образца, при которой наступает его разрушение от сжатия.

Величина этой нагрузки, носящей название временного сопротивления сжатию, колеблется для вышеперечисленных видов известняка от 10 до 1200 кг/см<sup>2</sup>.

Прочность известняка характеризуется также его плотностью или удельным весом. Чем больше удельный вес известняка, тем он плотнее и прочнее.

При вышепоказанных пределах временного сопротивления сжатию удельный вес известняков колеблется от 1,4 до 2,8,

Для обжига на известь наиболее пригодны известняки средней прочности, с времененным сопротивлением сжатию 300—900 кг/см, с удельным весом 2,4—2,6.

Более твердые известняки требуют для обжига повышенного расхода топлива, а более мягкие могут истираться и разрушаться в печах, вследствие чего затрудняется тяга и нарушается нормальный режим обжига.

При обжиге известняка в шахтных печах прочность имеет наиболее существенное значение, так как в этих печах обжигаемый материал находится в движении и под значительной нагрузкой.

Существуют сорта известняков, достаточно прочных, но рас трескивающихся и распадающихся на мелкие кусочки при их нагревании; эти известняки для обжига на известь в шахтных печах не пригодны, так как указанное свойство их резко ухудшает тягу в печи, и последняя перестает работать.

Необходимо отметить, что в природе существует очень большое количество самых разнообразных по своему химическому составу и физическим свойствам известняков. В силу этого, прежде чем приступить к обжигу известняка, необходимо его предварительно всесторонне проверить путем лабораторного анализа, определить пригодность его для получения того или иного сорта извести и возможность обжига его в печах того или иного типа.

## Раздел II. ОБЖИГ ИЗВЕСТНИКА

### Разложение углекислого кальция и углекислого магния

Процесс обжига известняка заключается в сильном нагревании его, при котором углекислый кальций разлагается, в результате чего выделяется углекислый газ и остается твердое вещество — окись кальция, являющаяся основной составной частью извести.

В результате полного разложения углекислого кальция из 1 кг последнего образуется 560 г окиси кальция и 440 г углекислого газа.

Аналогичным путем происходит разложение углекислого магния, 1 кг которого при разложении дает 480 г твердого вещества — окиси магния и 520 г углекислого газа.

### Температура и расход тепла на разложение

Интенсивное разложение углекислого магния начинается при нагревании известняка до температуры около  $700^{\circ}$ ; когда температура известняка достигнет  $900^{\circ}$  — начинает усиленно разлагаться углекислый кальций.

Расход тепла на разложение углекислого кальция и углекислого магния также различен.

Для того чтобы разложить 1 кг углекислого кальция, нужно, после того как он будет нагрет до  $900^{\circ}$ , затратить еще 425 калорий и соответственно для 1 кг углекислого магния — 340 калорий (калория — единица тепла, равная количеству тепла, которое нужно сообщить 1 кг воды для того, чтобы поднять ее температуру на  $1^{\circ}$ ).

Так как при обжиге известняка в печах всегда имеются значительные, и подчас неизбежные, потери тепла, то практический расход тепла на обжиг известняка значительно выше указанных цифр, в которых не учитываются потери тепла, имеющие место на практике.

Известняк является материалом малотеплопроводным, в силу чего прогрев его кусков по всей их толще происходит достаточно медленно.

Для того чтобы нагреть кусок известняка до  $900^{\circ}$ , температура в печи должна быть выше примерно на  $200^{\circ}$ . Таким образом, температура в печи  $1100^{\circ}$  является средней.

Для очень чистых и плотных кальциевых (так называемых труднообжигаемых известняков) она доходит до  $1300^{\circ}$ .

Из вышеприведенных цифр видно, что чем больше содержание углекислого магния в известняке, тем меньше расход топлива на обжиг известняка.

Температура обжига при этом также несколько понижается. Известняки с значительным содержанием углекислого магния и глинистых примесей обжигаются при температуре в печи порядка  $900-1000^{\circ}$ .

### Длительность обжига и ее зависимость от химического состава и величины кусков обжигаемого материала

Как же указывалось выше, нагрев известняка, а следовательно, и процесс разложения углекислого кальция и углекислого магния, начинаясь с поверхности куска, медленно распространяется к его середине (центру). Таким образом, для успешного обжига известняка, помимо соответствующей температуры в печи, необходимо еще и время.

При определенной температуре в печи длительность обжига будет зависеть от величины кусков известняка.

Очевидно, что чем больше куски известняка, тем больше нужно времени для того, чтобы их прогреть и разложить весь находящийся в них углекислый кальций.

С этими обстоятельствами необходимо считаться при оценке работы печи или при сравнении результатов работы двух однотипных печей, работающих на сырье различного химического состава и с различной величиной кусков.

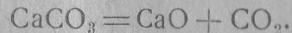
Чем больше в сырье содержание углекислого магния или глинистых примесей и чем меньше куски обжигаемого материала, тем большее количество (извести) дает печь и тем меньше расход топлива на единицу продукции.

Немаловажное значение при оценке работы печей имеет качество продукции.

Вначале, когда разложение углекислого кальция происходит с поверхности кусков, обжиг идет сравнительно легко, но чем толще делается на поверхности куска слой обожженного материала (извести), тем труднее проникает тепло внутрь куска и тем медленнее идет процесс разложения углекислого кальция.

Вполне естественно, что чем больше в готовой продукции неразложившегося углекислого кальция, тем больше такой продукции выдает печь и тем меньше расходуется при этом топлива на единицу продукции и наоборот. В последующих разделах при описании печей различных конструкций даны примерные средние величины расхода топлива, относящиеся к случаю обжига нормальных кальциевых и слабо доломитизированных известняков, и продукции, содержащей не более  $10\%$  неразложившегося углекислого кальция.

Процесс разложения, или, как принято говорить, реакция разложения  $\text{CaCO}_3$  изображается следующим химическим уравнением:



Образующийся при этом углекислый газ должен удаляться из печи, и чем быстрее и интенсивнее происходит это удаление (что зависит от тяги в печи), тем быстрее будет протекать указанная реакция. В противном случае реакция может пойти наоборот, т. е. углекислый газ будет соединяться с окисью кальция, вновь образуя углекислый кальций.

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы, справедливые для любых условий обжига известняка в печах любого типа.

1. Успешность обжига известняка зависит от температуры в печи, которая может быть различной ( $900$ — $1300^\circ$ ) в зависимости от химического состава известняка и его плотности.

2. Длительность обжига известняка, помимо температуры, зависит еще от величины кусков его.

3. Своевременное и интенсивное удаление углекислого газа из печи способствует ускорению процесса обжига известняка, вне зависимости от температуры в печи и величины кусков известняка.

### Раздел III. ТОПЛИВО ДЛЯ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА И СПОСОБЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОБЖИГА

#### Виды топлива и его состав

В производстве извести роль и значение топлива весьма велики. Стоимость топлива подчас составляет  $30\%$  и выше от себестоимости извести. Поэтому при обжиге известняка необходимо знать основные свойства топлива и уметь технически грамотно использовать их.

Применяемое в промышленности топливо может быть разделено на:

- 1) твердое (древа, торф, угли, сланцы и т. д.);
- 2) жидкое (нефть, мазут);
- 3) газообразное (естественный газ, генераторный газ, газ из доменных и коксовых печей).

Все эти виды топлива вполне пригодны для обжига известняка.

Однако известь является в достаточной мере дешевой продукцией и не требует при обжиге очень высоких температур, поэтому применение в данном случае таких ценных высоко-калорийных (т. е. выделяющих при горении очень много тепла) видов топлива, как мазут, некоторые сорта каменных углей, кокс и т. п., было бы нецелесообразно.

Для обжига известняка употребляются, главным образом, менее ценные и широко распространенные так называемые местные виды топлива: дрова и древесные отходы, торф, бурые угли и сланцы. В некоторых случаях используются худшие сорта антрацита и каменных углей, а также отходы при сортировке кокса (коксик).

Большинство видов топлива состоит из следующих химических элементов:

углерод (C), водород (H), кислород (O), азот (N), сера (S).

Кроме того, в топливе всегда содержатся зола (A) и влага (W), которые называются балластом топлива.

При нагревании топлива без доступа воздуха оно распадается на летучую и твердую части. В летучей части сначала испаряется влага топлива (W), далее выделяются соединения углерода с водородом и, наконец, продукты горения — водяные пары ( $\text{H}_2\text{O}$ ), окись углерода ( $\text{CO}$ ) и углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ).

Летучую часть, за исключением водяных паров, называют горючей летучей частью.

По выходе из топлива горючих летучих веществ в остатке получается твердое вещество — кокс, состоящий из углерода (горючая масса), золы и шлака.

В разных сортах топлива содержится различное количество горючих летучих веществ.

Топливо с большим содержанием горючих летучих веществ горит длинным ярким пламенем, а топливо с небольшим их содержанием — почти без заметных языков пламени, но с выделением большого количества тепла.

Топливо с незначительным содержанием горючих летучих веществ носит название короткопламенного. К короткопламенным видам топлива, содержащим до 10—15% горючих летучих веществ, относятся кокс, антрациты и некоторые сорта каменных углей, носящих название „тощих“.

Топливо с большим содержанием горючих летучих веществ называется длиннопламенным.

К длиннопламенным видам топлива, содержащим 20—45%, а в некоторых случаях и до 85% горючих летучих веществ, относятся дрова, торф, сланцы, различные виды бурых углей и каменные угли.

Способы сжигания длиннопламенных и короткопламенных видов топлива при обжиге известняка совершенно различны.

Наибольшее значение для известковой промышленности имеют длиннопламенные виды топлива и, главным образом, наименее ценные и наиболее распространенные сорта их, как то: дрова и древесные отходы, торф и бурые угли.

### Горючая масса топлива

Если из топлива выделить золу и влагу, то такая обезвоженная и обеззоленная часть топлива носит название горючей массы топлива.

Горючая масса топлива состоит из углерода, водорода, кислорода, азота и серы.

### Рабочее топливо

Топливо в том виде, в каком оно поступает на сжигание, называется рабочим топливом.

Для каждого вида топлива состав его горючей массы более или менее постоянен, зато балласт топлива для одного и того же вида может меняться в весьма значительных пределах.

Так, при более или менее постоянном составе горючей массы торфа балласт его и, в частности влажность, может меняться в очень больших пределах: от 25 до 60%.

Поэтому качество одного и того же вида топлива зависит от величины балласта, т. е. от содержания в топливе влаги и золы.

### Горение топлива и его теплотворная способность

Процесс горения заключается в соединении горючих частей топлива с кислородом воздуха, при котором выделяется тем большее количество тепла, чем больше содержание горючих частей в топливе. Окружающий нас воздух состоит из кислорода и азота. В 1 кг воздуха содержится 232 г кислорода и 768 г азота, причем кислород сам по себе не горит, но способствует горению, или, как говорят, поддерживает горение; азот не горит и не поддерживает горения.

Таким образом, для того чтобы топливо загорелось, необходимо присутствие воздуха, и, кроме того, оно должно быть нагрето до определенной температуры, величина которой зависит от вида топлива и называется температурой воспламенения. Чем больше горючих летучих веществ в топливе, тем скорее и при меньшей температуре оно загорается и наоборот.

Так, например, температура воспламенения для дров и торфа, содержащих до 80% горючих летучих веществ, составляет примерно 250—300°, а для антрацита, содержащего до 5% горючих летучих веществ, эта температура достигает уже 600°.

Не все элементы, входящие в состав горючей массы топлива, обладают способностью соединяться с кислородом воздуха, т.е. загораться.

Горючими частями топлива являются углерод, водород и частично сера.

С возрастанием содержания этих веществ в топливе увеличивается количество тепла, выделяющегося при его сгорании.

Кислород, содержащийся в топливе, в отличие от кислорода воздуха, не находится в свободном состоянии, а химически соединен с горючими частями топлива. Иначе говоря, некоторая часть горючих топлива в процессе образования последнего уже соединилась с кислородом топлива.

Условились считать, что все количество кислорода топлива соединено с водородом топлива, и, следовательно, при горении последнего в этом процессе участвует только тот излишек водорода, который не связан с кислородом.

Таким образом, чем больше кислорода в топливе, тем меньшее количество водорода топлива принимает участие в горении, что, в свою очередь, уменьшает количество тепла, выделяемого топливом при его сгорании. С этой точки зрения присутствие кислорода в топливе является вредным.

Азот топлива является бесполезным. Содержание его в топливе очень незначительно (до 2%), в силу чего он большого значения не имеет.

Влага топлива является вредной составной частью топлива, так как она не только уменьшает количество горючих частей топлива, но требует еще затраты тепла, выделяющегося при горении топлива, на ее испарение.

Зола топлива своим присутствием уменьшает количество горючих частей топлива, и, кроме того, при содержании ее в топ-

ливе в значительном количестве затрудняет успешное сжигание его.

Таким образом, чем меньше балласт топлива и чем меньше в нем кислорода и азота, тем больше тепла выделяется при его сгорании, иначе говоря, тем лучше топливо.

Одной из наиболее важных характеристик качества топлива является его теплотворная способность, под которой понимается количество тепла (в калориях), выделяющегося при сгорании 1 кг топлива. На основе вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Для каждого вида топлива теплотворная способность его горючей массы есть величина более или менее постоянная.

2. Для каждого вида рабочего топлива теплотворная способность может меняться в зависимости от содержания в нем балласта, увеличиваясь с уменьшением балласта и уменьшаясь с увеличением последнего.

Теплотворная способность топлива определяется в лабораториях путем его сжигания в особых приборах — калориметрических бомбах.

Зная состав рабочего топлива, можно более или менее точно вычислить его теплотворную способность по формуле Д. И. Менделеева:

$$Q^p = 81C^p + 300H^p + 26(S^p - O^p) - 6(9H^p + W^p) \text{ кал/кг.}$$

В эту формулу необходимо вместо  $C^p$ ,  $H^p$ ,  $N^p$ ,  $O^p$  и  $S^p$  подставить их значения в процентах.

Пример. Определить теплотворную способность поступившего на завод подмосковного угля. Состав его, по паспорту, следующий:

C <sup>P</sup>	33,0%
H <sup>P</sup>	2,0%
N <sup>P</sup>	0,5%
O <sup>P</sup>	9,0%
S <sup>P</sup>	2,5%
W <sup>P</sup>	32,0%
A <sup>P</sup>	21,0%
	100,0%

$$Q_h^p = 81 \cdot 33,0 + 300 \cdot 2,0 + \\ + 26(2,5 - 9,0) - 6(9 \cdot 2,0 + 32,0) = \\ = 2673 + 600 - 169,0 - 300 = 2804 \text{ кал/кг,} \\ \text{или округленно } 2800 \text{ кал/кг.}$$

Очень часто состав топлива дается на его горючую массу, которая, как уже указывалось выше, для каждого вида топлива более или менее постоянна; балласт рабочего топлива дается отдельно.

Прежде чем вычислить теплотворную способность рабочего топлива, необходимо состав горючей массы пересчитать на рабочее топливо.

Делается это путем умножения состава горючей массы на величину:

$$\frac{100 - (W^P + A^P)}{100}$$

Пример. Состав горючей массы дров:

$C^r = 51,0\%$	Балласт рабочего топлива:
$H^r = 6,0\%$	$W^p = 40,0\%$
$S^r = 0,0\%$	$A^p = 1,0\%$
$N^r = 1,0\%$	<hr/>
$O^r = 42,0\%$	$41,0\%$
<hr/>	<hr/>
$100,0\%$	

### Состав рабочего топлива:

$$C_p = C_r \cdot \frac{100 - (W^p + A^p)}{100} = 51,0 \cdot \frac{100 - 41}{100} = 51,0 \cdot 0,59 = 30,1\%$$

$$H^p = H^r \cdot \frac{100 - (W^p + A^p)}{100} = 6,0 \cdot \frac{100 - 41}{100} = 6,0 \cdot 0,59 = 3,5\%$$

$S^P$  . . . . . 0,0%  
 $100 - (W^P + A^P)$  . . . . .  $100 - 41$  . . . . .  $100 - 0,50$  . . . . . 0,6%

$$N^p = N^r \cdot \frac{100 - (W^p + A^p)}{100} = 1,0 \cdot \frac{100 - 41}{100} = 1,0 \cdot 0,59 = 0,59$$

$$O^p = O^r \cdot \frac{100 - (w + r)}{100} = 42,0 \cdot \frac{100 - 39}{100} = 42,0 \cdot 0,39 = 24,3\%$$

A<sup>p</sup> . . . . . 1,0%  
100,0%

После того как высчитан состав рабочего топлива, можно по формуле Менделеева определить его теплотворную способность.

В табл. 1 приведен состав наиболее часто применяемых видов топлива для обжига известняка.

## Условное топливо

Очень часто расход топлива на обжиг известняка дается в так называемом условном топливе, под которым принято понимать такое топливо, рабочая теплотворная способность которого равна 7 000 кал/кг.

Выше уже было указано, что теплотворная способность рабочего топлива зависит от содержания балласта, величина которого может колебаться в значительных пределах.

Таблица 1

Топливо	Состав горючей массы в %						Балласт рабочего топлива в %	Средняя теплотворная способность рабочего топлива в кал/кг
	C <sup>r</sup>	H <sup>r</sup>	S <sup>r</sup>	O <sup>r</sup>	N <sup>r</sup>	W <sup>r</sup>		
Дрова . . . . .	51,0	6,1	—	42,3	0,6	20—40	0,7	2980
Торф . . . . .	58,3	5,8	0,3	33,0	2,6	25—60	3—7	2910
Подмосковный уголь . . . . .	69,7	4,9	5,1	18,9	1,4	20—42	18,2	2980
Украинский бурый уголь . . . . .	66,4	5,9	5,6	21,4	0,7	50—60	13,1	1590
Ткивибульский уголь . . . . .	78,5	5,7	1,5	12,8	1,5	6,5—18	16,5	5310
Челябинский уголь . . . . .	73,6	5,2	1,5	17,9	1,8	14—24	15,6	4350
Кизеловский уголь . . . . .	80,3	5,6	7,9	4,9	1,3	1,5—12	21,5	5720
Карагандинский уголь . . . . .	85,3	5,2	0,8	7,3	1,4	3—12	16,3	6120
Кизыл-Кийский уголь . . . . .	76,9	4,0	1,6	0,9	16,6	14—33	10,3	4300
Антрацит (худшие сорта и штабы) .	93,2	1,8	2,0	,8	1,2	2—15	16,0	6040
Сланцы (Ленинградская обл.) .	75,2	9,1	1,9	13,5	0,3	7—30	50,0	2560
Коксик . . . . .	95,0	0,5	0,5	2,0	1,0	10—20	10	5200

Таким образом, и теплотворная способность рабочего топлива может также сильно колебаться, что не позволяет производить достаточно точную сравнительную оценку работы печей по расходу рабочего топлива на обжиг. Пользуясь же для этой цели условным топливом, с совершенно определенной теплотворной способностью, можно производить точную оценку работы печей в смысле расхода топлива и делать пересчеты с одного вида топлива на другой.

Пример 1. Предположим, что в одной известообжигательной печи, работающей на дровах с теплотворной способностью 2700 кал/кг, расход топлива составлял 50% по весу извести, а в другой, работающей на каменном угле с теплотворной способностью 5500 кал/кг,—соответственно 30%.

Для того чтобы узнать, какая печь работала более экономично в смысле расхода топлива, необходимо пересчитать в обоих случаях расходы рабочего топлива на условное топливо.

16

Пересчет делается умножением процентов расхода рабочего топлива на отношение теплотворных способностей рабочего и условного топлива, т. е.

$$\text{для печи № 1} \quad 50 \cdot \frac{2700}{7000} = 19,3\% \text{ условного топлива,}$$

$$\text{для печи № 2} \quad 30 \cdot \frac{5500}{7000} = 23,6\% \text{ условного топлива,}$$

т. е. вторая печь расходовала больше условного топлива, чем первая и, следовательно, работала менее экономично.

Пример 2. Норма расхода топлива на обжиг дана в размере 18% условного по весу извести. На заводе имеются дрова с теплотворной способностью 3100 кал/кг и торф с теплотворной способностью 2300 кал/кг. Требуется узнать, каков должен быть расход дров и торфа на обжиг по норме?

Для того чтобы сделать пересчет с условного топлива на натуральное, необходимо расход условного топлива в процентах помножить на отношение теплотворных способностей условного и натурального топлива.

Расход дров составит:

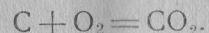
$$18 \cdot \frac{7000}{3100} = 41,6\% \text{ по весу извести}$$

и соответственно торфа:

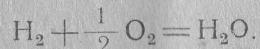
$$18 \cdot \frac{7000}{2300} = 54,8\% \text{ по весу извести.}$$

### Процесс полного сгорания топлива

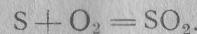
Как уже указывалось выше, при горении топлива его горючие части соединяются с кислородом воздуха. В результате углерод топлива сгорает, образуя углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), что выражается следующим химическим уравнением:



Водород топлива при сгорании с кислородом воздуха образует водяной пар ( $\text{H}_2\text{O}$ ):



Сера топлива при сгорании образует сернистый газ ( $\text{SO}_2$ ):



Таким образом, в результате полного сгорания любого топлива получаются:

а) горячие газы (называемые дымовыми или топочными газами), состоящие из смеси:

- 1) углекислого газа от сгорания углерода топлива;
- 2) водяного пара от сгорания водорода топлива и от испарения влаги топлива;

- 3) азота из воздуха, поступившего на горение топлива, и из самого топлива;
- 4) сернистого газа от сгорания серы топлива;
- б) твердый остаток, состоящий из золы и шлака.

В зависимости от количества горючих частей, содержащихся в топливе (для различных его видов), требуется различное количество воздуха для полного сгорания всех содержащихся в топливе горючих частей.

Воздух должен подводиться к горящему топливу очень равномерно с таким расчетом, чтобы в любом участке горящего топлива присутствовало необходимое для горения количество воздуха.

На практике (в топках и печах) такой равномерный подвод воздуха осуществить очень трудно: всегда в одном месте горящего слоя топлива воздуха будет меньше, чем нужно, а в другом—больше, чем нужно.

При недостатке воздуха горючие части топлива, как это указывается ниже, не будут полностью сгорать и превратятся в газ, который может еще гореть, если к нему подвести достаточно воздуха.

Ввиду этого в тех случаях, когда необходимо сразу полностью сжечь все горючие части топлива, чтобы наверняка обеспечить такой процесс горения во всех точках слоя топлива воздухом, его подводят к горящему топливу в заведомо большем, чем это требуется по содержанию горючих частей в топливе, количестве.

В этом случае в смеси получившихся после горения газов, помимо вышеперечисленных, будут дополнительно присутствовать некоторое количество несгоревшего кислорода и соответствующее ему количество азота, которые в сумме составляют tot воздух, который был подведен к топливу сверх необходимого для сжигания горючих частей топлива.

Горение, при котором все горючие части топлива, сгорая, образуют газы, которые уже больше гореть не могут, называется полным.

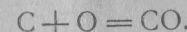
Горение, при котором образуются газы, в дальнейшем способные еще гореть, называется неполным.

### Полугазовый процесс

Неполное горение является результатом недостаточного количества воздуха, подведенного к горящему топливу.

Чем больше нехватает воздуха, тем больше горючих газов содержится в продуктах неполного горения топлива.

При неполном горении часть углерода топлива сгорает в углекислый газ, а другая часть вследствие недостатка кислорода образует окись углерода ( $\text{CO}$ ):



Окись углерода, или так называемый угарный газ, может при подводе к нему воздуха гореть с выделением при этом значительного количества тепла.

Окись углерода получается в значительном количестве при сжигании топлива толстым слоем.

В этом случае, если, например, сжигание топлива производится в топке и воздух подводится под колосниковой решеткой, в нижних слоях топлива, непосредственно соприкасающихся с колосниковой решеткой, воздуха будет много, и частицы топлива сгорят полностью, т. е. углерод обратится в углекислый газ.

По мере продвижения вверх по слою топлива количество воздуха будет уменьшаться, в верхних слоях его окажется уже недостаточно для полного горения, и углерод топлива будет здесь сгорать в окись углерода.

В конечном результате в топочных газах, наряду с углекислым газом, будет присутствовать в значительном количестве окись углерода.

При сжигании топлива толстым слоем в последнем происходит еще ряд химических реакций, в результате которых в топочных газах, помимо окиси углерода, получается второй горючий газ—водород ( $\text{H}_2$ ).

Процесс, при котором сжигание топлива производится толстым слоем с недостаточным для полного горения количеством воздуха, в результате чего в топочных газах, наряду с негорючими газами ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{N}_2$ ), содержатся горючие газы ( $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ ), называется полугенераторным или полугазовым, а топочные газы—полугенераторным газом или просто полугазом.

### Генераторный процесс

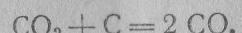
Если слой топлива на колосниковой решетке будет увеличен еще больше, то состав топочных газов также изменится за счет увеличения количества горючих газов.

Процесс, опять-таки при условии подачи недостаточного для полного горения количества воздуха, пойдет следующим образом.

В самых нижних слоях топлива будет происходить полное сгорание его с образованием углекислого газа и водяного пара.

В следующем по высоте слое будет происходить полугазовый процесс с образованием окиси углерода и водорода.

Еще выше будет ити процесс обратного соединения углекислого газа, образовавшегося в нижних слоях топлива, с углеродом топлива. Углерод в верхних слоях топлива, не получая достаточного количества воздуха, вступает в соединение с углекислым газом и отнимает у него часть кислорода, образуя при этом окись углерода, т. е.



Эта реакция имеет место лишь в том случае, если температура слоя топлива на этом уровне не ниже 400—500°.

Последняя реакция значительно увеличивает количество окиси углерода в топочных газах за счет сокращения количества углекислого газа, содержание которого при этом процессе в топочных газах незначительно.

Наконец, в самом верхнем слое топлива воздуха и, следовательно, кислорода нет совсем, так как он весь израсходовался в нижележащих слоях.

Здесь происходит тот процесс, о котором уже упоминалось в самом начале настоящего раздела,— разложение топлива на летучую и твердую части при нагревании его без доступа воздуха.

При этом, в первую очередь, происходит испарение влаги из топлива и затем уже выделение горючих летучих.

Чем больше горючих летучих в топливе, тем в большем количестве они выделяются в этом верхнем слое топлива.

При короткопламенном топливе этот процесс в верхнем слое топлива практически сводится только к испарению влаги.

Весь вышеописанный процесс в целом носит название генераторного, а получающиеся при этом газообразные продукты называются генераторным газом.

При генераторном процессе наивысшие температуры имеют место в нижних слоях топлива и самые низкие—в верхнем слое топлива.

При одном и том же сорте топлива наиболее высокая температура топочных газов имеет место при полном горении топлива.

Таблица 2

Составляющие топочных газов	Химическое обозначение	Процесс полного сгорания	Полугазовый процесс	Генераторный процесс
Углекислый газ . . . . .	CO <sub>2</sub>	11,7	11,1	5,3
Окись углерода . . . . .	CO	—	9,5	21,0
Водяной пар . . . . .	H <sub>2</sub> O	12,1	14,4	14,0
Водород . . . . .	H <sub>2</sub>	—	10,2	12,0
Метан . . . . .	CH <sub>4</sub>	—	—	2,0
Соединения водорода с углеродом . . . . .	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	—	—	0,2
Кислород . . . . .	O <sub>2</sub>	5,3	—	—
Азот . . . . .	N <sub>2</sub>	70,5	54,1	44,0
Сернистый газ . . . . .	SO <sub>2</sub>	0,4	0,6	—
Сероводород . . . . .	H <sub>2</sub> S	—	—	1,5
Температура топочных газов . . . . .	—	1150	900	400

При полугазовом процессе она ниже, и при генераторном процессе она еще ниже.

В табл. 2 (см. стр. 20) приведены примерные, сравнительные, составы топочных газов (в процентах) и их температуры (в °C для всех) вышеописанных процессов при применении в качестве топлива подмосковного угля.

Все три описанных процесса сжигания топлива находят применение при обжиге известняка.

У нас, в СССР, до настоящего времени наибольшее распространение имеют способы полного сжигания топлива и полугазовый.

Особенно большое значение для известковой промышленности в дальнейшем будет иметь полугазовый способ обжига известняка в шахтных печах.

## Раздел IV. ИЗВЕСТЕОБЖИГАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ

### Классификация печей

Для обжига известняка существует много различных конструкций известеобжигательных печей, которые могут быть, по своему устройству и принципу работы, подразделены на четыре основных вида:

1. Напольные.
2. Кольцевые.
3. Шахтные.
4. Вращающиеся.

### Глава 1. НАПОЛЬНЫЕ ПЕЧИ

#### Общие понятия

Наиболее старыми и примитивными печами для обжига известняка являются так называемые напольные печи.

Печи этого типа в большинстве случаев носят временный характер и по принципу работы являются периодическими — выдача готовой продукции в таких печах происходит не непрерывно, а через определенные промежутки времени, после завершения всего цикла обжига (загрузка печи известняком, обжиг известняка, остывание обожженного материала).

#### Преимущества и недостатки печей

К преимуществам напольных печей относятся:

1. Крайняя простота конструкции.
2. Отсутствие необходимости применения таких строительных материалов, как красный и особенно шамотный кирпич и цемент.
3. Почти полное в большинстве случаев отсутствие металла в конструкции печи.
4. Возможность работы без применения механической или электрической энергии.

Недостатки напольных печей:

1. Большая трудоемкость операций и тяжелые условия труда по обслуживанию печей (загрузка известняка в печь и выгрузка из нее извести).
2. Значительно повышенный, против других типов печей, расход топлива.
3. Низкое качество и неоднородность продукции.

Указанные недостатки напольных печей настолько существенны, что роль и значение их в известковой промышленности

Союза постепенно уменьшаются и дальнейшее их распространение ограничивается мелкими кустарными и полукустарными производствами, а также теми случаями, когда потребность в извести является кратковременной и постройка более совершенных печей, рассчитанных на длительный срок эксплоатации, нецелесообразна.

#### Типы печей

Существует много различных типов напольных печей, но все они могут быть разделены на две основные группы:

1. Печи-кучи и печи-ямы.

2. Печи с постоянными стенами.

По виду применяемого топлива как те, так и другие печи в свою очередь подразделяются на:

1) печи для длиннопламенного топлива (главным образом, для дров и торфа, сжигаемых в специальных очелках) и

2) печи для короткопламенного топлива (антрацит и каменные угли, сжигаемые послойно среди известняка).

Наибольшее распространение имеют напольные печи, работающие на длиннопламенных видах топлива.

#### 1) Напольная печь-куча для длиннопламенного топлива

Эта печь выкладывается следующим образом: на ровной горизонтальной площадке прочерчиваются на земле две окружности диаметром 1,5 м и 4,0 м. Грунт внутри обеих окружностей выравнивается и утрамбовывается. По меньшей окружности выкладывается из известняка стенка высотой 0,5—0,6 м. Эта стенка не замыкается по кругу — в ней оставляется проем шириной около 1 м, который перекрывается сводиком.

От незамкнутых концов круглой стенки выкладываются наружу круга две стенки длиной 1,0—1,5 м. Стенки выкладываются не параллельно одна другой, а с постепенным увеличением расстояния между ними, с таким расчетом, чтобы между их наружными концами оно составляло 1,5 м. Эти стенки также перекрываются сводом. Таким путем получается постепенно уширяющийся прямой канал, заканчивающийся на одном (более узком) конце кольцевым пространством диаметром 1,5 м.

Выложенную по кругу стенку перекрывают куполообразным сводом, в котором оставляют отверстия для прохода дымовых газов. Эти отверстия называются прогарами.

Вся выложенная таким путем часть печи называется очелком и служит для сжигания в нем топлива.

Кладка очелка должна производиться тщательно, с подтеской кусков известняка, выкладываляемых на глиняном растворе.

Куполообразный свод выкладывается из более крупных кусков известняка отдельными перемычками.

Кускам известняка для выкладки перемычек придают форму клиньев. Между отдельными перемычками оставляют прогары, которые в дальнейшем перекрывают кусками обжигаемого известняка.

После того как топка-очелок выложена, приступают к выкладке собственно кучи.

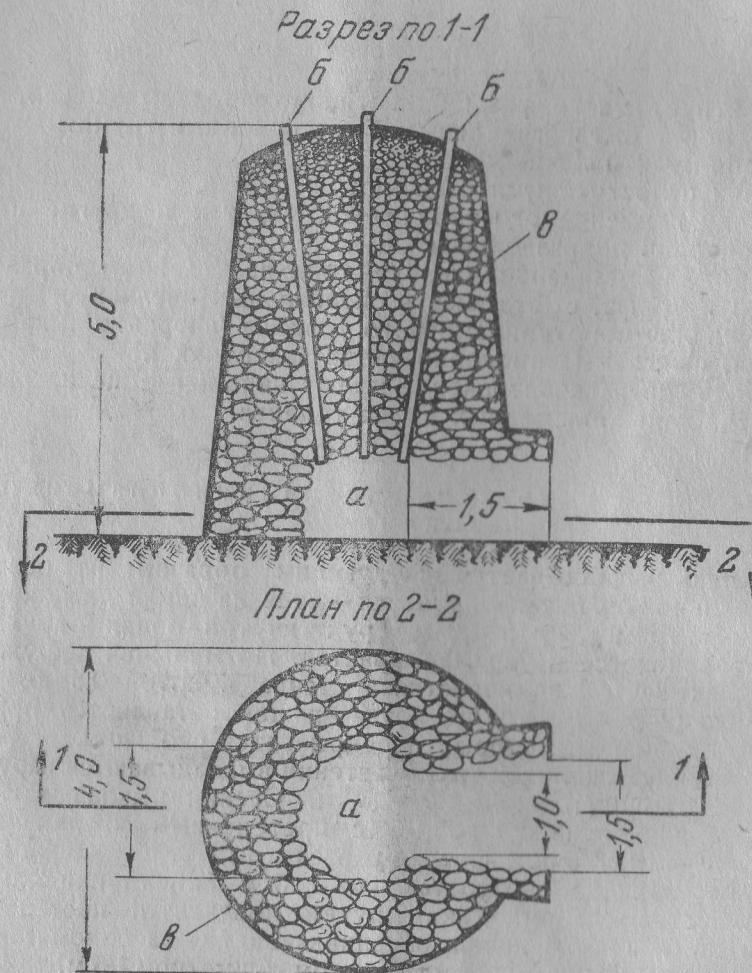


Рис. 1: а—очелок; б—жерди; в—глиносоломенная обмазка.

Для этой цели внутри второго круга (диаметром 4,0 м), вокруг топки-очелка, правильными горизонтальными рядами укладывают обжигаемый известняк. Куски известняка выбираются размером 100—200 мм в поперечнике, причем наиболее крупные куски известняка укладываются ближе к топке-очелку и более мелкие—далее.

Куски известняка укладываются рядами с возможно более ровной поверхностью, без притески, с перевязкой между отдельными кусками.

Для обеспечения тяги в отверстия (прогары) куполообразного свода перед выкладкой кучи вставляются жерди толщиной 70—90 мм. Жерди устанавливаются несколько наклонно

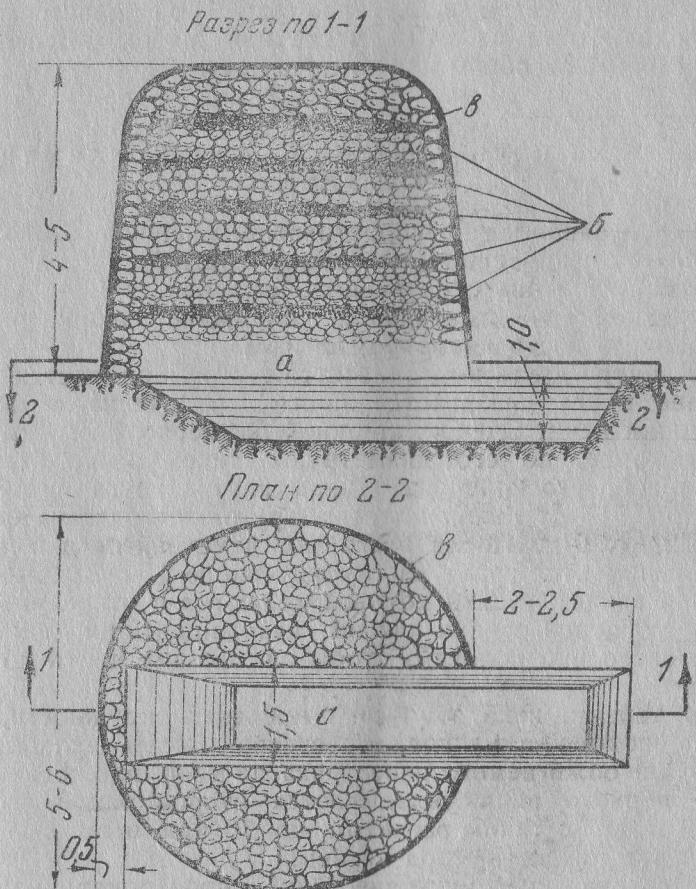


Рис. 2: а—очелок; б—слой угля; в—глиносоломенная обмазка.

в разные стороны и при выкладке кучи закладываются известняком.

При горении топлива в очелке жерди постепенно выгорают, образуя каналы, по которым дымовые газы из очелка проникают в толщу известняка, образующего кучу.

Для большей устойчивости кучи наружные стены ее выкладываются с некоторым уклоном во внутрь, так что она имеет форму усеченного конуса.

Обыкновенно куча выкладывается на высоту до 5 м, сверху засыпается более мелкими кусками известняка, которые образуют круглый выпуклый купол, называемый „шапкой“.

После того как печь выложена, наружные стенки ее промазывают раствором глины с соломой, слоем 50 мм, который наносится в два приема.

После обжига такая печь—куча (рис. 1) разбирается, затем, при необходимости, на этом месте или рядом выкладывают вышеописанным способом новую печь-кучу.

## 2) Напольная печь-куча для короткопламенного топлива

К числу наиболее распространенных печей этого типа относится так называемая „шотландка“ (рис. 2).

Выкладывается она следующим образом.

На ровной горизонтальной площадке прорезывается на земле окружность диаметром 5–6 м.

Грунт внутри круга выравнивается и утрамбовывается. Затем в середине круга разбивается место для очелка, служащего для растопки печи. Очелок, шириной примерно 1,5 м, располагается в круге, по его диаметру, с таким расчетом, чтобы один торцевой его конец находился внутри круга на расстоянии около 0,5 м от линии круга, а другой выходил за пределы круга на 2,0–2,5 м. После этого, по намеченным для очелка линиям, вынимается грунт на глубину около 1 м. Таким путем образуется канава, стенки которой делаются с откосами.

Откос торцевой стенки канавы, находящейся внутри круга, делается настолько пологим, чтобы он доходил почти до центра круга.

Часть канавы, находящуюся в пределах окружности, перекрывают сводом из кусков известняка. Затем укладывается первый слой обжигаемого известняка по всей площади круга. Поверх первого ряда укладывается второй ряд известняка и затем третий с таким расчетом, чтобы при этом был заложен ранее выложенный свод канавы.

После этого укладку известняка производят послойно с углем. В среднем толщина слоя известняка должна составлять 250–300 мм и соответственно для угля—60–80 мм.

Печь-куча выкладывается на высоту 4–5 м.

Величина кусков известняка, из которого выкладывается куча, составляет от 100 до 300 мм в поперечнике. Более мелкие куски известняка укладываются в нижней части кучи; размер кусков увеличивается по мере выкладки кучи.

Снаружи кучу обкладывают крупными кусками известняка на глиняном растворе и обмазывают глиносоломенной смазкой толщиной около 50 мм. Для обеспечения тяги в глиняной обмазке, наверху кучи, оставляют отдушины. Внутри средней части кучи иногда при укладке известняка и угля закладывают вертикально

несколько жердей, которые, сгорев, образуют каналы для дымовых газов.

Растопку печи-кучи производят дровами, разжигаемыми в очелке.

После того как уголь в печи разгорится, часть очелка засыпают кусками известняка. Незакрытая же часть служит поддувалом, по которому в печь-кучу поступает воздух, необходимый для горения угля.

Существует очень много разновидностей печей-куч.

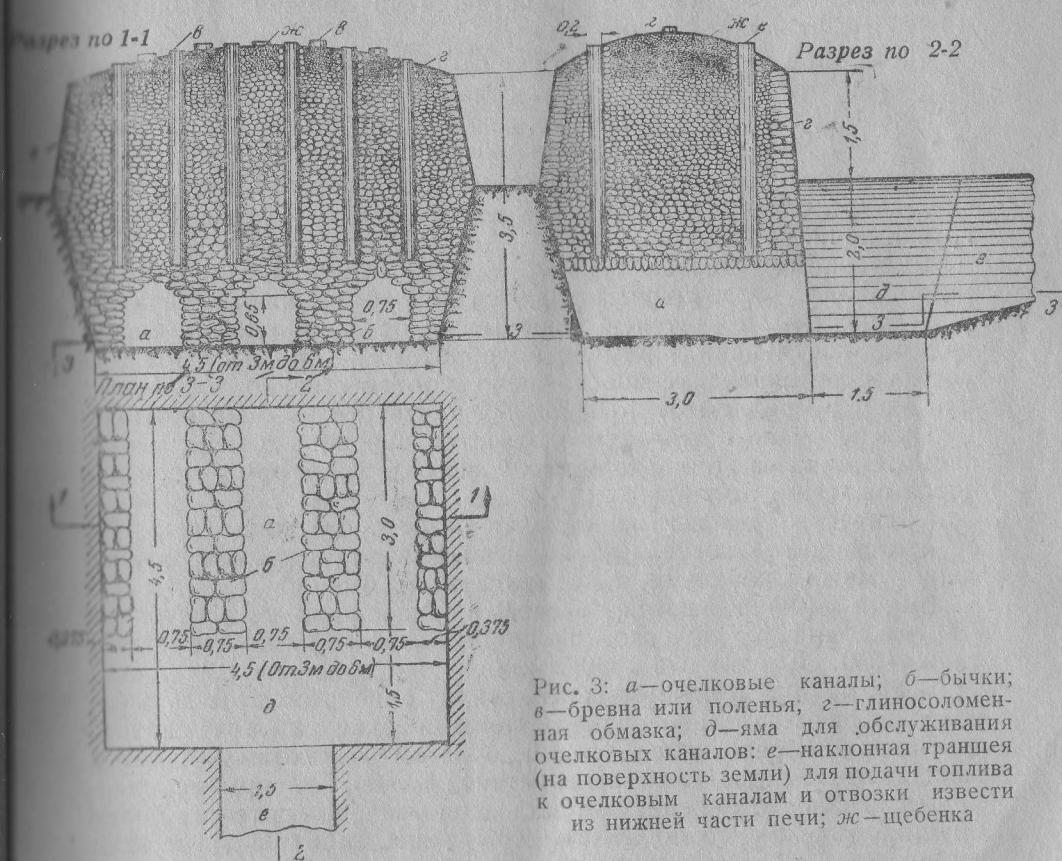


Рис. 3: а—очелковые каналы; б—бывчи; в—брёвна или поленья, г—глиносоломенная обмазка; д—ямка для обслуживания очелковых каналов; е—наклонная траншея (на поверхность земли) для подачи топлива к очелковым каналам и отвозки извести из нижней части печи; ж—щебенка

Эти печи носят временный характер, и после каждого обжига их необходимо выкладывать вновь.

Производительность печей-куч зависит от их размеров, но в большинстве случаев составляет до 30–40 т извести за один обжиг.

### 3) Напольная печь-яма

Печи-ямы по сравнению с печами-кучами являются более постоянными сооружениями и рассчитываются на проведение нескольких обжигов.

Эти печи устраиваются в земле и представляют собой яму четырехугольной или прямоугольной формы (рис. 3).

Для устройства ямы выбирают сухое место с возможно более плотным грунтом, чтобы стены ямы не осыпались и не обваливались.\*

Глубина ямы делается не менее 2 м, в силу чего уровень грунтовых вод в месте устройства печи должен находиться ниже 2 м от поверхности земли.

Для большей устойчивости стены ямы делаются с откосами, величина которых зависит от качества грунта,—чем тверже грунт, тем меньшей величины делаются откосы. В скалистых грунтах стены ямы могут быть вертикальными.

Три стены печи образуются земляными откосами; четвертая, фронтовая, стена выкладывается из известняка в процессе загрузки печи.

Ширина ямы делается 4,5 м, из коих собственно печь занимает 3,0 м и 1,5 м предназначаются для обслуживания печи.

Длина ямы меняется в зависимости от необходимой производительности печи и обычно колеблется в пределах от 3,0 до 6,0 м. (производительность печи соответственно составляет при этом в среднем от 15,0 до 35,0 т извести за один обжиг).

При загрузке обжигаемого известняка в печь в первую очередь выкладываются очелковые каналы, в которых производится сжигание топлива.

Количество очелковых каналов зависит от длины печи или ее производительности. Сперва выкладываются промежуточные стенки между каналами, так называемые „бычки“.

Бычки выкладываются по всей ширине печи на расстоянии 750 мм один от другого. Толщина бычков обычно составляет также 750 мм и высота—650 мм.

Каналы, образуемые бычками, сверху перекрываются кусками известняка, тщательно укладываемыми в напуск или сводом.

Поверх образованных таким образом очелковых каналов закладывается обжигаемый известняк. Бычки, перекрытие очелковых каналов и передняя стенка печи выкладываются из более крупных кусков обжигаемого известняка, причем для кладки выбираются более ровные и плоские, так называемые „постелистые“ куски.

При загрузке печи на низ, ближе к очелковым каналам, укладываются более крупные куски известняка, величина которых уменьшается по мере загрузки печи.

Одновременно с укладкой известняка выкладываются вертикальные каналы, служащие для выпуска из печи газов, образующихся от горения топлива и разложения известняка.

Для этой цели при укладке известняка по всему горизонтальному сечению печи, в нескольких местах, устанавливаются вертикально поленья толщиной около 200 мм, которые постепенно обкладываются кусками известняка.

Когда поленья будут заложены, на них ставят новые поленья и закладывают их так же, как и первые.

Так повторяется до тех пор, пока вся печь не будет загружена.

Подача известняка в печь производится через ее верх с поверхности земли.

Общая высота загруженной печи составляет примерно 3,5 м. Таким образом, если глубина ямы была 2 м, то над поверхностью земли печь выкладывается на высоту 1,5 м.

Если глубина ямы больше 2 м, то высота печи над поверхностью земли должна быть соответственно меньше.

Стенки печи над поверхностью земли выкладываются из более крупных кусков известняка с уклоном внутрь печи.

Сверху печи известняк насыпается кучей, поверх которой накладывается слой щебенки, и весь верх печи промазывается слоем глины с соломой толщиной 50 мм. Вертикальные каналы сверху глиной не замазываются. Для того чтобы обеспечить выход дымовых газов из печи в период ее розжига (когда заложенные при укладке известняка поленья еще не сгорели), в глиняной обмазке верха печи оставляют несколько отдушин, которые после того, как поленья сгорят и образуются каналы для дымовых газов, замазываются.

Передняя стенка печи и боковые стенки ее, расположенные над поверхностью земли, также покрываются слоем глины с соломой.

Разгрузка печи после обжига производится путем разборки верха печи, расположенного над поверхностью земли.

Нижняя часть печи, расположенная в яме, разгружается путем разборки передней стенки печи.

Напольные печи-ямы могут устраиваться не только ниже поверхности земли, но и в склонах холма или горы, а также на месте разработок известняка, непосредственно в его пласте.

### 4) Напольная печь с постоянными стенами

Напольные печи с постоянными стенами рассчитываются на более или менее длительный срок эксплуатации и представляют собой прямоугольные камеры, имеющие четыре стены. Верх печей ничем не защищен и остается открытым (рис. 4).

Внутренние размеры этих печей обычно составляют: по высоте—3,5 м, по ширине—4,0 м. При длине печи от 6,0 до 13,5 м производительность ее составляет от 50,0 до 100,0 т извести за один обжиг.

Стены печи с внутренней стороны выкладываются вертикально, с наружной—наклонно, с таким расчетом, чтобы толщина стены сверху печи составляла 700 мм и в самом низу—1500 мм. Такое

устройство придает стенам большую прочность и устойчивость

Кладка стен производится из крупных постелистых кусков известняка на глиняном растворе.

В одной из длинных стен, на уровне пода печи, располагаются, на равных расстояниях один от другого, очелки, через которые в печь закладывается топливо, производится растопка и регулируется горение топлива.

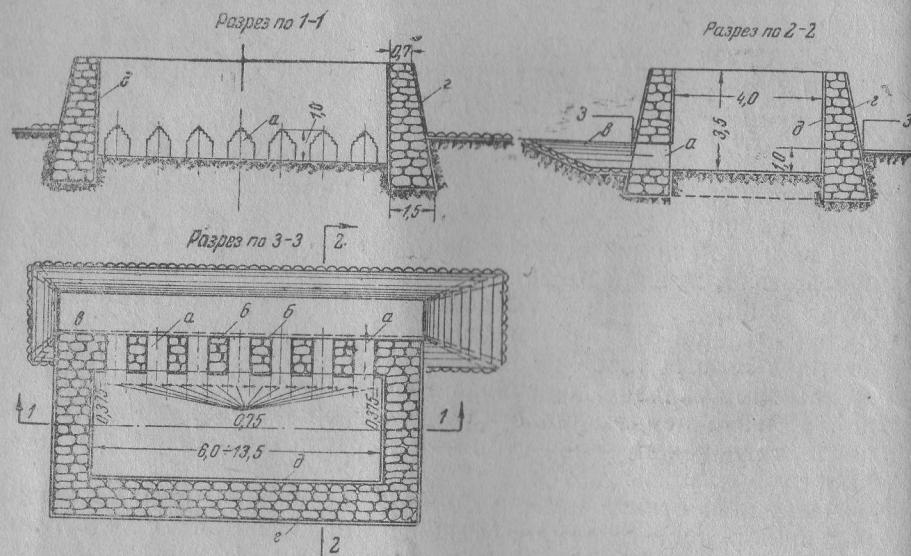


Рис. 4: *а*—очелки; *б*—бычки; *в*—приямок для обслуживания очелков; *г*—глино-соловменная обмазка; *д*—глинистая обмазка.

Ширина очелка—750 мм; высота—1 000 мм

Печь располагается не на поверхности земли, а углубляется в землю на 1 м. Вдоль длинной стены печи, в которой расположены очелки, в земле устроен приямок, глубиной 1,0 м; дно приямка находится на одном уровне с полом печи.

Приямок предназначен для обслуживания очедков

Все стены печи снаружи покрываются глиносоломенной смазкой толщиной 50 мм.

Для защиты от действия высокой температуры при обжиге известняка все внутренние стены печи обмазываются глиняной смесью, состоящей из 3—4 частей глины (по объему) и 1 части песка. Смесь замешивается на воде с добавлением в нее соли (из расчета 1 кг соли на 1 ведро воды), что придает обмазке большую огнеупорность. Обмазка наносится толщиной в 20—25 мм.

Укладка известняка в печи, а также устройство каналов для выпуска из печи газов, производятся таким же образом, как это было описано для напольной печи-ямы.

Бычки в печи выкладывются с таким расчетом, чтобы обрамляемые ими очелковые каналы совпадали с очелками в стене печи.

Загрузка печи известняком осуществляется сверху печи, для чего сооружается земляная насыпь, по которой известняк подается наверх печи тачками.

Выгрузка извести из печи производится через проем шириной 2,0 м, разбираемый в одной из торцевых стен печи, который после выгрузки всей извести из печи заделывается.

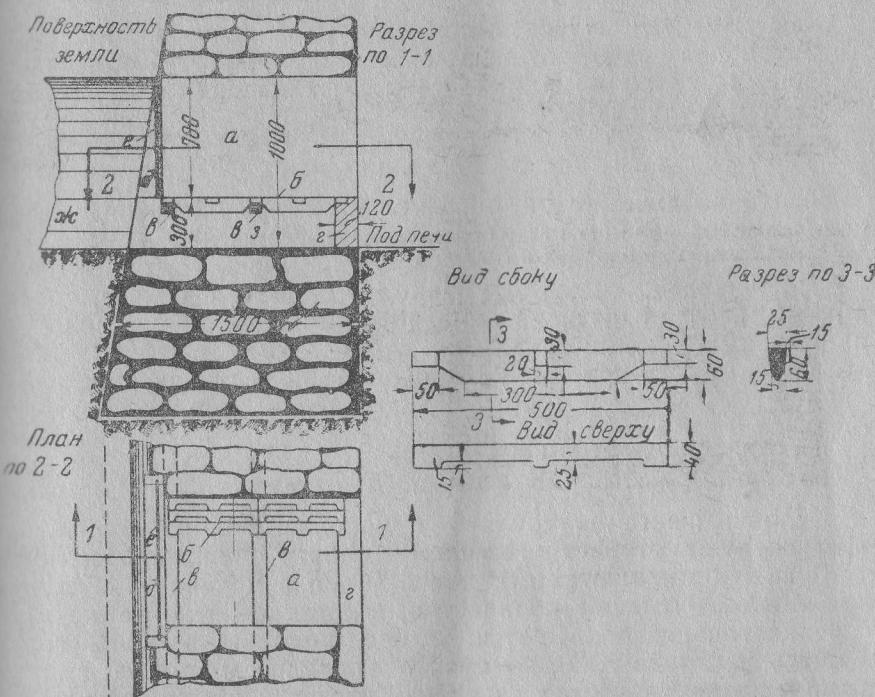


Рис. 5: а—очелок; б—колосниковая решетка; в—чугунные опорные балки к колосниковой решетке; г—поперечная кирпичная стенка; д—выемка в стене печи (у каждого очелка); е—железный лист; ж—приямок для обслуживания очелков; з—зольник.

При отоплении печи дровами и кусковым торфом последние сжигаются непосредственно в очелковых каналах. Если же в качестве топлива применяется уголь, то сжигание его производится на колосниковых решетках, устраиваемых в очелках в стене печи (рис. 5).

## Оборот напольной печи

Полный цикл обжига в напольной печи любого типа, или, как говорят, оборот печи, слагается из следующих операций:

1. Загрузка печи известняком.
2. Обжиг известняка.
3. Остывание извести.
4. Выгрузка извести (разгрузка печи).

Время, потребное для одного оборота печи, зависит от величины печи, организации работы по ее обслуживанию, количества обслуживающего персонала и его квалификации и составляет в среднем 12–20 суток.

#### Потери тепла и расход топлива в напольных печах

Как уже указывалось выше, напольные печи в смысле расхода топлива работают весьма неэкономично, что объясняется большими потерями в них тепла, главнейшими из которых являются следующие.

#### Потеря тепла с отходящими из печи газами

Тепло дымовых газов, образующихся при сгорании топлива, используется вследствие небольшой высоты напольных печей недостаточно—газы покидают печь еще очень горячими.

Увеличивать же высоту напольных печей нельзя, так как при этом, от тяжести увеличенного слоя известняка, могут разрушаться очелковые каналы, и, кроме того, из-за отсутствия дымовой трубы при увеличении слоя известняка тяга в печи ухудшится—топливо будет сгорать очень медленно и плохо (печь будет глохнуть).

#### Потеря тепла от неполного горения топлива

Условия сжигания топлива в напольных печах крайне плохие—воздух поступает к горящему топливу очень неравномерно.

В некоторых местах его нехватает, а в других он поступает в слишком большом количестве, вследствие чего температура горения топлива понижается, углерод топлива частично сгорает в окись углерода ( $\text{CO}$ ), которая в дальнейшем вместе с дымовыми газами удаляется из печи. Твердая часть топлива также полностью не выгорает и частично выгребается вместе с золой и шлаком из очелков.

Наконец, так как стены печи выкладываются из неправильных по форме кусков известняка, через неплотности в кладке просачивается много наружного холодного воздуха, который охлаждает обжигаемый известняк. Поэтому обжиг затягивается и перерасходуется топливо.

Кроме того, в напольных печах теряется значительное количество тепла при остывании печи перед выгрузкой из нее извести.

Расход условного топлива в напольных печах составляет 55–70% от веса извести.

Меры, принимаемые для уменьшения расхода топлива при обжиге известняка в напольных печах, описаны в следующем разделе.

## Глава 2. КОЛЬЦЕВЫЕ ПЕЧИ

Кольцевые печи применялись вначале для обжига кирпича, лишь впоследствии их стали применять для обжига известняка.

Кольцевые печи, в отличие от напольных, принадлежат к постоянным сооружениям, рассчитанным на длительный срок эксплуатации. По своей конструкции и работе они являются непрерывнодействующими и значительно более совершенными, нежели напольные печи.

#### Конструкция печи

Кольцевая печь (рис. 6) представляет собой замкнутый, открытый сводом канал (называемый «обжиговым»), имеющий форму прямоугольника с закругленными торцевыми сторонами.

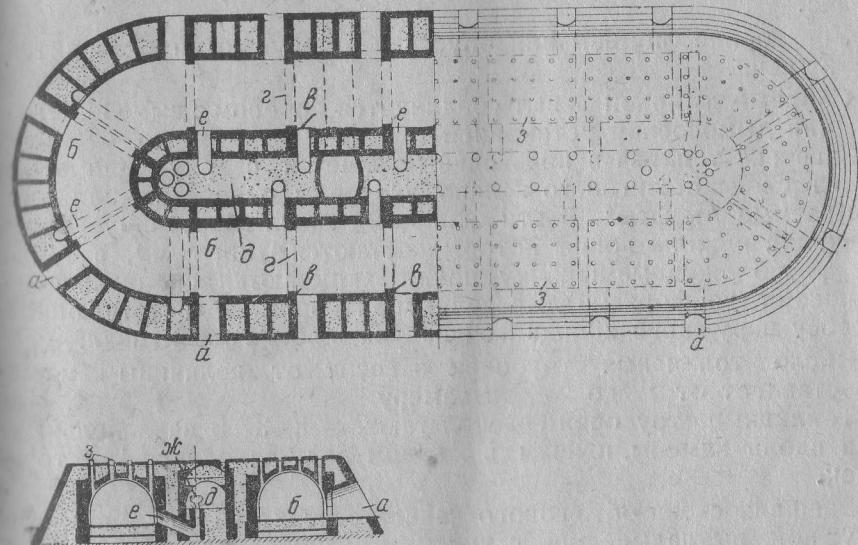


Рис. 6: а—ходки; б—обжиговый канал; в—пилястры; г—шиберы; д—сборный дымовой канал; е—фуksы; ж—конус; з—люфты

В наружной (внешней) стене канала устроены проемы (так называемые «ходки»), через которые производится загрузка известняка в обжиговый канал и выгрузка из него извести. Число ходков зависит от длины обжигового канала и для известообжигательных печей колеблется от 12 до 36.

Весь обжиговый канал разделяется по длине на ряд отдельных камер, каждой из которых соответствует свой ходок.

Камеры отделяются одна от другой либо сплошными перегородками с проемами, либо небольшими выступами на внутренних стенах канала (пилястры) и выступающими арками на своде.

Образованные тем или другим путем проемы между камерами закрываются специальными бумажными ширмами.

Эти ширмы называют иногда шиберами, а бумагу, употребляемую для этой цели, — шиберной.

Обыкновенно бумажные ширмы устанавливаются перед ходами, как это показано на рис. 6.

Между внутренними стенками обжигового канала устроен сборный дымовой канал, соединенный с каждой камерой помощью специальных каналов, называемых «фуксами», которые на прямых участках обжигового канала помещаются во внутренних стенках последнего, а на закруглениях — во внешних стенах. В последнем случае они прокладываются под подом обжигового канала.

Каждый фукс, в месте соединения со сборным дымовым каналом, снабжен специальным клапаном, носящим название «конус» и служащим для отключения камеры от сборного дымового канала.

Управление (подъем или опускание) конусами производится сверху печи.

Сборный дымовой канал соединяется бортом с дымовой трубой или дымососной установкой.

Загрузка топлива в печь осуществляется сверху. Для этой цели в своде обжигового канала устроены отверстия, или так называемые «люфты». В эти отверстия заделываются чугунные трубочки, нижние концы которых остаются открытыми, а верхние, расположенные наверху печи, закрываются специальными крышками (конфорками) с песочным затвором, препятствующим подсосу наружного холодного воздуха в обжиговый канал.

Число топливных трубочек зависит от величины камеры и составляет от 12 до 25 на камеру.

Топливные трубочки располагаются в 3—5 параллельных рядов вдоль камеры, причем в каждом ряду находится 4—5 трубочек.

Внешняя стена обжигового канала состоит из двух стенок: наружной, выкладываемой с уклоном, и внутренней, выкладывающейся отвесно. Промежутки между этими стенками заполнены песком или шлаком.

Свод канала покрывается сверху также песком или шлаком, поверх которого печь замощена кирпичом.

Под, внутренние стени и свод, образующие обжиговый канал, облицовываются с внутренней стороны огнеупорным (шамотным) кирпичом.

Все остальные части печи, не подвергающиеся действию высоких температур, выкладываются из красного кирпича.

Под обжигового канала изолируется от грунтовых вод при помощи дренажа, глиняной смазки и кирпичного настила.

В некоторых случаях печи возводятся на водонепроницаемой бетонной подушке.

## Преимущества и недостатки кольцевых печей

К достоинствам кольцевых печей относятся:

1. Сравнительно небольшой расход топлива на обжиг.
2. Возможность работы почти на любом виде топлива и быстрый переход с одного вида топлива на другой, без сколько-нибудь серьезных переделок.

Кроме того, известье в кольцевых печах не подвергается механическим воздействиям, в силу чего не истирается и не измельчается в процессе обжига.

К недостаткам кольцевых печей следует отнести:

1. Весьма тяжелые условия труда по ручной загрузке камер известняком и, особенно, по выгрузке из них известии.
2. Необходимость загрузки только сравнительно крупных кусков известняка и наличие в силу этого значительного количества отходов более мелкого известняка.
3. Сложность управления процессом сжигания топлива в печи, что сказывается на равномерности обжига известняка и качестве продукции.

4. Большой штат обслуживающего пеки персонала (за счет ручных операций по загрузке известняка, топлива и выгрузке известии).

Наконец, кольцевые печи занимают большую площадь, требуют для постройки много кирпича и шамота и значительных капитальных затрат.

## Размеры и производительность кольцевых печей

Обыкновенно кольцевые печи для обжига известняка имеют следующие размеры:

Длина камеры . . . . .	до 6,0 м
Ширина " . . . . .	от 3,8 до 4,2 м
Высота " . . . . .	около 3,0 м

### Число камер:

при работе на один огонь . . . . .	16—18
при работе на два огня . . . . .	28—36

(О том, что значит работа кольцевой печи на один или на два огня см. в следующем разделе „Эксплуатация известеобжигательных печей“).

Производительность кольцевой печи зависит (помимо вида и качества применяемого для обжига топлива) от общего внутреннего объема обжигового канала и колеблется в пределах от 40 до 60 кг известии с 1 м<sup>3</sup> его объема в сутки (при работе на один огонь; при работе на два огня производительность кольцевой печи удваивается).

## Расход топлива

Расход условного топлива в кольцевых печах составляет в среднем 22% от веса готовой продукции.

Большое число недостатков и, особенно, тяжелые условия труда заставили в настоящее время отказаться от строительства новых кольцевых печей для обжига известняка.

## Глава 3. ШАХТНЫЕ ПЕЧИ

### Общие понятия

Шахтные известеобжигательные печи наиболее экономичны и удобны в эксплоатации по сравнению со всеми остальными типами печей, применяемыми в известковой промышленности.

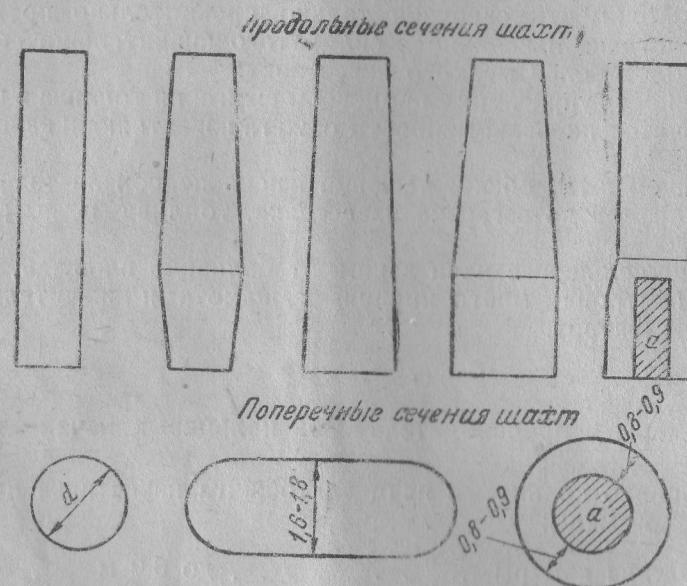


Рис. 7: *a*—керн; *d*—внутренний диаметр круглой шахты: для пересыпных печей до 3—4 м и для газовых—1,6—1,8.

Печи этого типа имеют значительное распространение как у нас в СССР, так и за границей.

Дальнейшее, весьма значительное развитие нашей известковой промышленности, намеченное по послевоенному пятилетнему плану, будет в основном осуществляться за счет строительства шахтных известеобжигательных печей.

Как видно из самого названия, эти печи представляют собой довольно высокую (10—20 м) шахту, в большинстве случаев круглого или прямоугольного, с закругленными торцевыми стенками, поперечного сечения (рис. 7).

В продольном сечении стены шахты выполняются, главным образом, вертикальными или же наклонными внутрь шахты (рис. 7).

В отличие от напольных и кольцевых печей, где обжигаемый известняк лежит неподвижно, в шахтных печах он медленно опускается сверху вниз по шахте, обжигаясь и постепенно превращаясь в известь.

Загрузка известняка производится сверху шахты, а выгрузка обожженной извести—снизу ее.

Шахтные печи принадлежат к числу непрерывнодействующих, т. е. выдача готовой продукции в них происходит непрерывно и более или менее равномерно на протяжении всего времени их эксплоатации.

Помимо указанных выше, одним из достоинств шахтных печей, выгодно отличающим эти печи от напольных и кольцевых, является возможность механизации загрузки известняка в печь и выгрузки из нее извести, при полной надежности в действии механизмов, предназначенных для этой цели.

В современных шахтных печах загрузка известняка в шахту осуществляется в большинстве случаев помощью сколовых подъемников, а выгрузка извести—автоматическими выгрузными механизмами.

В большинстве старых конструкций шахтных печей и значительно реже (главным образом при незначительной производительности) в современных печах выгрузка извести осуществляется вручную.

В некоторых случаях для загрузки известняка, помимо сколовых, употребляются шахтные подъемники или же наклонные эстакады, по которым известняк в вагонетках подается на верх печей. Подъем вагонеток осуществляется помощью ручных или электрических лебедок, причем загрузка известняка в шахту печи производится вручную. Эта операция в шахтных печах гораздо проще, чем таковая же в напольных и кольцевых.

### Основные типы печей

По способу сжигания топлива шахтные печи разделяются на пересыпные и газовые.

В пересыпных печах топливо загружается в шахту печи вместе с известняком, движется вместе с ним вниз по шахте и, сгорая по пути, выделяет тепло, необходимое для обжига известняка.

В газовых печах топливо предварительно, тем или иным путем, сжигается в топках, а полученные газообразные продукты (полного сгорания топлива, полугаз или генераторный газ) вводятся в шахту печи примерно на 1/3 высоты от низа последней.

Таким образом, в пересыпных печах топливо вводится в шахту в твердом виде, а в газовых—в газообразном.

Если обжиг ведется продуктами полного сгорания топлива, то температура их должна быть достаточно высокой, чтобы нагреть и обжечь известняк.

Если же из топлива в топочных устройствах получается полугаз или генераторный газ, то в шахте он загорается, и образующееся при этом тепло идет на нагрев и обжиг известняка.

Для сгорания топлива (твердого или газообразного) в шахте необходим, как уже указывалось выше, воздух, который в этих случаях подается в шахту снизу. При обжиге известняка топочными газами полного сгорания (которые уже не могут больше гореть), воздух в шахту печи не подается.

Таким образом, газовые печи, в свою очередь, разделяются на:

печи с топками полного сгорания,  
" полугазовыми топками,  
" газогенераторами.

### Процесс обжига и зоны в шахтных печах

Процесс обжига в шахтных печах (пересыпных и газовых) заключается в следующем.

Известняк, опускаясь сверху вниз по шахте, встречает на своем пути нагретые газообразные продукты сгорания твердого или газообразного топлива, которые под влиянием силы тяги движутся вверх по шахте.

По мере опускания вниз известняк постепенно нагревается; сперва из него испаряется влага, затем, по мере повышения температуры, начинается разложение углекислого магния. Когда температура известняка достигнет примерно  $900^{\circ}$ , начинается разложение углекислого кальция, т. е. собственно обжиг известняка.

К этому времени известняк попадает в зону с наиболее высокой температурой, где процесс разложения углекислого кальция заканчивается. По мере дальнейшего опускания вниз обожженный известняк попадает в нижнюю часть шахты, где топлива уже нет. Здесь, навстречу горячей извести, движется вверх воздух, подаваемый снизу шахты для горения топлива. Воздух, проходя через слой горячей извести, нагревается (за счет ее охлаждения) и обеспечивает лучшее сгорание топлива в шахте печи. Таким образом, тепло оставшейся извести, которое, например, в напольных печах теряется, в шахтных печах используется вновь.

Верхняя часть шахты, где происходит испарение влаги из известняка, разложение углекислого магния и нагрев известняка до температуры, при которой начинается разложение углекислого кальция, носит название зоны подогрева. Следующая за этой зоной часть шахты, где происходит разложение углекислого кальция и сгорание топлива, называется зоной обжига.

Нижняя часть шахты, где процессы горения топлива и обжига известняка уже закончились и происходит только охлаждение горячей извести воздухом, поступающим в зону обжига (для горения топлива), носит название зоны охлаждения.

### Объемное напряжение

Основным и наиболее важным показателем, характеризующим работу шахтной печи любого типа, является объемное напряжение, под которым понимается количество извести в кг, получаемое в сутки с  $1\text{м}^3$  объема зон обжига и подогрева, заполненных обжигаемым материалом.

Так, например, если печь дает 30 т извести в сутки и объем ее зон подогрева и обжига, заполненных обжигаемым материалом, равен  $60,0 \text{ м}^3$ , то объемное напряжение печи составляет:

$$\frac{30000}{60} = 500 \text{ кг}/\text{м}^3 \text{ извести в сутки.}$$

Так как зона охлаждения печи не является активной (в ней происходит только остывание уже обожженного в двух верхних зонах материала), при определении объемного напряжения ее объем во внимание не принимается.

### Особенности конструкции и области применения пересыпных и газовых печей

В отличие от газовых печей, состоящих, помимо шахты, еще из топочных устройств той или иной конструкции, пересыпные печи представляют собой только одну шахту. Шахта пересыпной печи всегда выполняется наиболее простого — круглого поперечного сечения, тогда как для газовых печей применяется также и прямоугольное, с закругленными торцевыми сторонами, сечение. Кроме того, для подачи газообразных продуктов из топочных устройств в шахту газовые печи оборудованы специальными газоходами.

В силу сказанного конструкция пересыпных печей значительно проще газовых; пересыпные печи проще и дешевле в постройке и в эксплуатации. Потери тепла, а следовательно, и расход топлива на обжиг в пересыпных печах меньше, чем в газовых.

Несмотря на эти преимущества, пересыпные печи в последнее время получают меньшее распространение, нежели газовые, так как в пересыпных печах могут применяться только короткопламенные виды топлива (антрацит и кокс).

Эти ценные сорта топлива употребляются главным образом в тех областях промышленности, где их нельзя заменить никакими другими видами топлива (например, в металлургии, некоторых областях химической промышленности и т. д.).

Кроме того, основным поставщиком указанных видов топлива является Донбасс, и возить оттуда на далекие расстояния даже

худшие сорта антрацита и кокса для обжига известняка, с точки зрения загрузки транспорта, было бы нерационально, так как у нас, в СССР, повсеместно распространены такие виды топлива, как дрова, торф, различные бурые угли, сланцы и т.д., которые с успехом могут быть использованы для обжига известняка.

Применять же длиннопламенные виды топлива в пересыпных печах нельзя по следующим причинам.

В пересыпных печах топливо вместе с известняком, опускаясь вниз по шахте, постепенно нагревается. Как уже упоминалось в разделе III, при нагревании топлива из него начинают выделяться горючие летучие вещества; последние в зоне подогрева пересыпной печи, не успевая сгореть, вместе с отходящими газами удаляются из шахты в атмосферу. Таким образом, при применении в пересыпных печах длиннопламенных видов топлива, богатых горючими летучими, будет теряться очень много тепла.

С другой стороны, оставшаяся часть тепла топлива, заключенного в твердом остатке—коксе, которая выделяется при сгорании его в зоне обжига, будет недостаточной для разложения всего количества углекислого кальция в известняке. В результате в извести окажется много недожога и перерасходуется значительное количество топлива.

В силу указанных обстоятельств наибольшее распространение в настоящий момент получают газовые известообжигательные печи, работающие на длиннопламенных видах топлива. Пересыпные же печи применяются главным образом в районах, тяготеющих к Донбассу, а также в тех отраслях промышленности, где имеются отходы короткопламенных видов топлива (например, отходы кокса—так называемый коксик—в черной металлургии).

Следует отметить, что последние годы в известковой промышленности довольно успешно проводятся опыты по применению в пересыпных печах шлаков из котельных, паровозных и прочих топок в виде добавок к топливу.

В шлаках, особенно из паровозных топок, содержится достаточно количество горючих веществ в виде твердого остатка—кокса, благодаря чему они могут заменить некоторую часть основного топлива—антрацита или кокса.

Кроме того, шлаки употребляются также и в газовых печах, путем некоторой добавки их по пересыльному способу в шахту печи; при этом достигается значительное увеличение производительности газовых печей.

### Потери тепла в печах

Хотя шахтные печи являются одними из наиболее экономичных по расходу топлива, но и в них теряется довольно значительная часть тепла. К числу полезно использованного относится тепло, израсходованное на испарение влаги из известняка

и на разложение углекислого магния и углекислого кальция. Все остальное тепло топлива уходит на потери, которые в шахтных печах сводятся к следующим.

Потеря тепла с отходящими из печи газами. Температура отходящих из печи газов колеблется в пределах 200—400°, составляя в среднем около 300°. Известняк нагревается очень медленно, и эта температура является уже недостаточной для того, чтобы за короткий промежуток времени сколько-нибудь заметно нагреть известняк. Поэтому дальнейшее уменьшение температуры отходящих газов путем увеличения высоты зоны подогрева и слоя известняка нецелесообразно—температура подогрева известняка от этого почти не увеличится, а тяга в печи заметно ухудшится.

Но вместе с тем эта температура отходящих газов обуславливает довольно большую потерю тепла вследствие значительного количества отходящих газов.

Потеря тепла от химической неполноты сгорания. В пересыпных печах образующийся в зоне обжига углекислый газ, поднимаясь вверх по шахте, вступает в соединение с углеродом топлива.

Образующийся при этом горючий газ—окись углерода—вместе с отходящими газами удаляется в атмосферу, обусловливая потерю тепла от химической неполноты сгорания.

В печах, работающих на полугазе или генераторном газе, эта потеря тепла получается из-за того, что, по тем или иным причинам, горючие газы не успевают полностью сгореть в шахте печи.

Потеря тепла с выгружаемой из печи известью. В зоне охлаждения известь не может охладиться до температуры наружного воздуха, так как для этого понадобилось бы слишком длительное пребывание ее в этой зоне. Иными словами, высоту этой зоны нужно было бы значительно увеличить.

Подобное мероприятие привело бы опять-таки к ухудшению тяги в печи, да и сама шахта получилась бы слишком высокой, что заметно удороожило бы строительство печи.

Нормально температура выгружаемой извести колеблется в пределах 50—100°, при этом потеря тепла получается весьма незначительной.

Потеря тепла через стенки шахты. Несмотря на достаточную толщину кирпичных стенок шахты, часть тепла топлива теряется на нагрев окружающего печь наружного воздуха, особенно в зоне обжига, где температура наружных стенок шахты достигает в некоторых случаях 100°.

Потеря тепла от механической неполноты сгорания топлива. В пересыпных печах эта потеря обуславливается тем, что уголь, опускаясь вниз по шахте, не успевает полностью сгореть и несгоревшие частицы его выгружаются вместе с известью из печи.

В газовых печах эта потеря имеет место в топочных устройствах, когда частицы несгоревшего топлива выгружаются

из топок или генераторов вместе с золой и шлаком; она достигает довольно значительной величины при сжигании мелкого и многозольного топлива, как, например, подмосковный и ряд других бурых углей.

В газовых печах, помимо вышеперечисленных, имеют место следующие потери тепла.

Потеря тепла через стенки топочных устройств, аналогичная таковой в шахте печи.

Потеря тепла с горячими шлаками и золой, выгружаемыми из топочных устройств, сама по себе незначительная, она тем больше, чем многозольнее топливо.

### Распределение тепла топлива в печах

Ниже приведено примерное распределение тепла топлива при обжиге известняка в пересыпной печи (топливо — антрацит марки "АС") и в полугазовой печи (топливо — кусковой торф).

Если тепло топлива, внесенного в шахту пересыпной печи или в полугазовые топки, принять за 100%, то примерное распределение этого тепла в печах выразится следующим образом:

№ п/п.	Статьи расхода тепла топлива	Печи	
		пересыпная	полугазовая
<b>I. Полезно использованное тепло</b>			
1	Испарение влаги из известняка . . . . .	2,8%	2,4%
2	Разложение $\text{CaCO}_3$ и $\text{MgCO}_3$ . . . . .	64,2%	56,4%
	Итого по пункту I . . . . .	67,0%	58,8%
<b>II. Потери тепла</b>			
1	С отходящими газами . . . . .	18,7%	20,4%
2	От химической неполноты сгорания топлива .	4,9%	4,0%
3	С выгружаемой из печи известью . . . . .	1,5%	1,3%
4	Через стены шахты . . . . .	5,9%	6,0%
5	От механической неполноты сгорания топлива в шахте печи . . . . .	2,0%	—
6	От механической неполноты сгорания топлива в полугазовых топках . . . . .	—	4,5%
7	Через стены полугазовых топок . . . . .	—	4,5%
8	С горячими шлаками и золой, выгружаемыми из полугазовых топок . . . . .	—	0,5%
	Итого по пункту II . . . . .	33,0%	41,2%
	Всего . . . . .	100,0%	100,0 %

### Коэффициент полезного действия

Отношение полезно использованного в печи тепла топлива ко всему теплу топлива, внесенного в печь, называется коэффициентом полезного действия печи и показывает, насколько экономично в тепловом отношении работала та или иная печь.

При вышеприведенном примерном распределении тепла в шахтных печах коэффициенты их полезного действия составят:

$$\text{пересыпной печи} \dots \frac{67,0}{100,0} = 0,67, \text{ или } 67,0\%,$$

$$\text{полугазовой печи} \dots \frac{58,8}{100} = 0,588, \text{ или } 58,8\%,$$

т.е. использование тепла топлива в пересыпной печи лучше, чем в полугазовой.

#### A. Пересыпные печи

Пересыпные печи, распространенные в СССР, могут быть разделены в основном на два вида: старой и новой конструкции.

#### 1) Печи старой конструкции

Описание печей. Печи старой конструкции (рис. 8) представляют собой шахту круглого поперечного сечения. Продольная форма сечения шахты таких печей бывает самой разнообразной, но в большинстве случаев она выполнена цилиндрической или конической формы.

Внутренний диаметр наиболее широкой части шахты колеблется от 2,0 до 3,5 м. Высота шахты от уровня выгрузки извести и до уровня загрузки известняка в шахте составляет от 8 до 12 м.

Как правило, печи этого вида оборудованы ручной выгрузкой извести. Загрузка известняка и топлива в печь осуществляется вручную — лопатами, подъем известняка — на верх печей — в вагонетках по наклонной эстакаде или шахтными подъемниками с ручными или электрическими лебедками.

Очень часто эти печи располагаются непосредственно на карьере известняка — на его подошве, под уступом, и подача известняка на печь осуществляется в тачках непосредственно с вышерасположенного уступа по короткой горизонтальной эстакаде, соединяющей верхнюю кромку уступа с уровнем загрузочного отверстия печи. В большинстве случаев печи оборудованы короткой кирпичной дымовой трубой, являю-

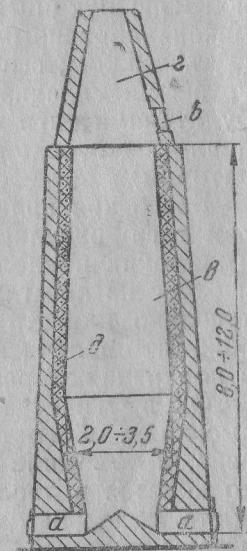


Рис. 8: а — окна для выгрузки извести; б — окно для загрузки известняка; в — шахта; г — дымовая труба; д — футеровка шахты.

щейся продолжением шахты и развивающей незначительную тягу. Воздух для горения топлива поступает в шахту через окна для выгрузки извести за счет тяги, создаваемой дымовой трубой.

Шахта печей футерована шамотным кирпичом. Наружные стенки шахты выкладываются из красного кирпича (в 3–4 кирпича) и в некоторых случаях из известняка.

**Объемное напряжение и расход топлива.** Благодаря тому, что тяга в этих печах весьма незначительна, на обжиг идет известняк в довольно крупных кусках (до 200–250 мм в поперечнике). Такие куски требуют достаточно длительного времени для обжига, кроме того, вследствие незначительной тяги воздух медленно поступает в шахту печи, и горение топлива происходит недостаточно интенсивно.

Поэтому объемные напряжения в описанных печах довольно низки и колеблются в пределах 250–350 кг/м<sup>3</sup> сутки.

Замедленное горение топлива, при котором некоторая часть его не успевает сгореть в шахте и выгружается вместе с известью, повышает расход топлива на обжиг, который в подобного рода пересыпных печах доходит до 18–20% условного топлива от веса извести.

## 2) Печи современной конструкции

**Характерные особенности печей.** Печи современной конструкции являются в большинстве случаев полностью механизированными (подача известняка на печь — скиповым подъемником; выгрузка извести из печи — автоматическими выгрузными механизмами) и оборудованными искусственными побудителями тяги (удаление газообразных продуктов из шахты печи — дымососной установкой; подача воздуха в печь — вентилятором).

Благодаря полной механизации и искусственным побудителям тяги регулировка работы печи может осуществляться в широких пределах. Искусственный подвод воздуха в шахту и отсос из нее газообразных продуктов позволяют весьма интенсивно сжигать топливо в шахте и благодаря сильной тяге обжигать в печи куски известняка более мелких (80–150 мм в поперечнике) размеров.

**Объемное напряжение и расход топлива.** Указанные выше обстоятельства сильно уменьшают срок обжига известняка, и объемное напряжение современных пересыпных печей колеблется в пределах 600–800 кг/м<sup>3</sup> сутки, а производительность отдельных печей достигает 100–150 т извести в сутки и даже выше.

Такие печи в смысле расхода топлива являются наиболее экономичными из всех существующих для обжига известняка. Средний расход условного топлива в этих печах составляет 16,0–18,0% от веса извести.

В последние годы интенсивность обжига в пересыпных печах пытаются увеличить путем перехода на обжиг еще более

мелких кусков известняка (50–80 мм в поперечнике) и подачи воздуха в шахту печи под большим давлением. Объемное напряжение в таких печах достигает 1000–1200 кг/м<sup>3</sup> сутки.

**Описание конструкций.** К числу наиболее распространенных в СССР механизированных пересыпных печей принадлежат печи системы инженера Антонова (рис. 9).

Загрузка этих печей известняком производится скиповым подъемником, выгрузка извести — автоматическим выгрузным механизмом также системы Антонова. Эти печи оборудованы дымососной установкой, обеспечивающей необходимую тягу в шахте печи. За счет создаваемого при этом разрежения в шахте воздух, необходимый для горения топлива, засасывается снизу шахты через специальные отверстия — гляделки и выгрузочные люки печи (в некоторых случаях воздух подается снизу шахты вентилятором).

Для того чтобы воздух не засасывался по всей высоте шахты (через неплотности и трещины в кладке печи), последняя заключена снаружи в металлический кожух из листового железа толщиной 6–8 мм. Железный кожух, кроме того, придает большую прочность шахте и позволяет уменьшить толщину ее кирпичных стенок.

Печи системы Антонова имеют различные внутренние объемы шахты, в связи с чем проектные производительности печей составляют: 15, 20, 25, 30, 35 и 40 т извести в сутки.

На практике, благодаря стажановскому обслуживанию печей и рационализаторским мероприятиям, производительность их значительно превышается.

Большим распространением пользуются у нас также печи системы инженера Иссерлиса (рис. 10).

Эти печи также полностью механизированы, выгрузка извести из печи осуществляется автоматическим выгрузным механизмом системы Иссерлиса.

Форма сечения шахты — цилиндрическая. В отличие от печей системы Антонова, работающих главным образом под разрежением, создаваемым дымососной установкой, описываемые печи работают под давлением, создаваемым вентилятором, подаю-

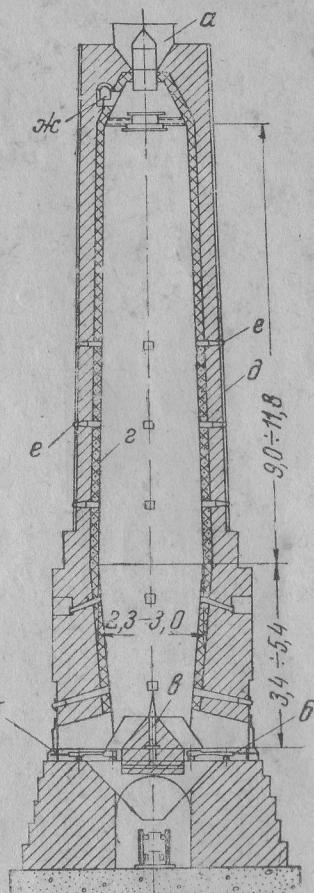


Рис. 9: а — загрузочное устройство; б — автоматический выгрузной механизм; в — подача воздуха в печь; г — футеровка шахты; д — металлический кожух; е — гляделки для наблюдения за процессом обжига; ж — канал для отсоса дымовых газов.

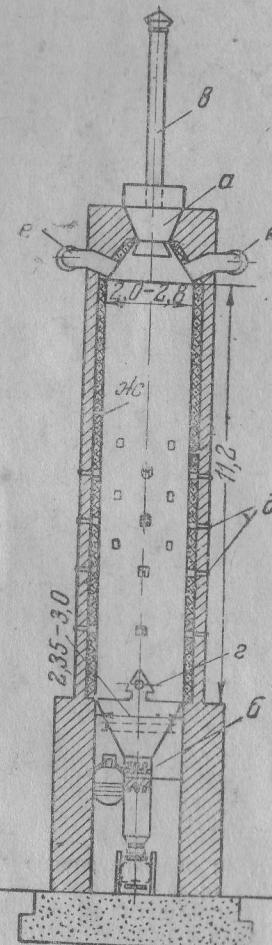


Рис. 10: а—загрузочное устройство; б—автоматический выгрузной механизм; в—металлическая дымовая труба; г—металлический гребень для подачи воздуха в печь; д—глядялки для наблюдения за процессом обжига; е—металлические патрубки для удаления дымовых газов; ж—футеровка шахты.

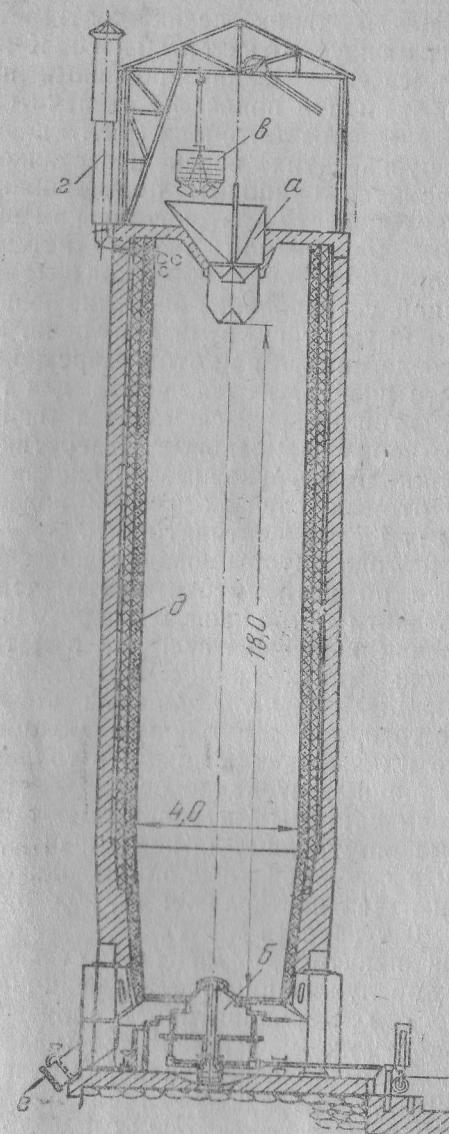


Рис. 11: а—загрузочное устройство; б—автоматический выгрузной механизм; в—вагонетка воздушной канатной дороги; г—резервная труба для выпуска отходящих газов в атмосферу; д—футеровка шахты; е—выпуск извести из печи.

щим воздух для горения топлива в нижнюю часть шахты печи. Эти печи не имеют металлического кожуха, так как благодаря давлению наружный воздух не может подсасываться в шахту через неплотности и трещины в ее кладке.

Для придания кладке печи большей прочности вся шахта по высоте стянута металлическими кольцами из полосового железа, располагаемыми на расстоянии 1,2—1,5 м одно от другого. Печи системы Иссерлиса, так же как и системы Антонова, строятся с различными внутренними объемами шахт.

Показатели работы печей (объемное напряжение, расход топлива) примерно соответствуют таковым для печей системы Антонова.

К числу наиболее мощных шахтных механизированных пересыпных печей, работающих у нас в СССР, принадлежат печи системы Сольве, установленные на содовых заводах Донбассе (рис. 11).

Внутренний диаметр шахты этих печей составляет до 4,0 м, высота шахты — 18 м. Подача известняка на печи осуществляется специальных вагонетках по воздушной канатной дороге. Выгрузка извести из печей производится автоматическим выгрузным механизмом системы Сольве.

Печи работают с искусственным отсосом (помощью специальных газовых насосов) отходящих газов, используемых в содовом производстве.

Подача воздуха в шахты печей осуществляется помощью вентиляторов.

Производительность печей достигает 100—120 т извести в сутки, при объемном напряжении до 900 кг/м<sup>3</sup> в сутки.

Для металлургического завода „Азовсталь“ составлен проект еще более мощной пересыпной печи, производительностью 200 т извести в сутки, имеющей следующие размеры:

Внутренний диаметр шахты наверху . . . . . 3,6 м  
внизу . . . . . 4,2 "

Высота шахты . . . . . 19,0 "

Объемное напряжение печи составляет по проекту — 1000 кг/м<sup>3</sup> в сутки.

Печь оборудована мощными установками для отсоса отходящих газов из шахты и подачи в нее воздуха для горения топлива.

#### Б. Газовые печи

Конструктивные особенности печей. Прежде чем приступить к описанию газовых печей, необходимо остановиться на их конструктивных особенностях.

Газообразные продукты (полного сгорания топлива, полугаз, генераторный газ), помошью которых производится обжиг известняка в шахте этих печей, подаются в нижнюю часть зоны обжига. Обычно подача газообразных продуктов производится по периферии (внешней окружности) шахты с таким расчетом, чтобы

газообразные продукты поступали от наружных стенок шахты, проникая к ее центру в глубь толщи обжигаемого материала. Но так как наименее плотно куски известняка располагаются у внутренней поверхности стен шахты, то газообразные продукты стремятся подниматься вверх по шахте, главным образом вдоль ее стенок.

Поэтому в газовых печах быстрее и лучше обжигаются куски известняка, находящиеся ближе к стенкам шахты.

Опыт эксплоатации газовых печей показал, что газообразные продукты проникают в глубь шахты не более как на 800—900 мм от места ввода. Для того чтобы обжиг известняка в шахте круглого поперечного сечения, в которой газообразные продукты подаются в нескольких точках, равномерно расположенных по окружности шахты, шел равномерно, внутренний диаметр ее не должен превышать  $900+900=1800$  мм = 1,8 м.

Таким образом, для любого объемного напряжения производительность шахтной печи будет зависеть от объема зон подогрева и обжига, ее шахты. Этот последний в свою очередь зависит от площади поперечного сечения шахты в зонах подогрева и обжига, а также высоты шахты.

Так как высота зон подогрева и обжига в шахтных газовых печах колеблется в довольно узких пределах — 8—10 м, то объем зон подогрева и обжига зависит от площади поперечного сечения шахты в этих зонах (если площади поперечного сечения в зоне подогрева и в зоне обжига не одинаковы, то в расчет принимается среднее значение площади поперечного сечения в этих зонах).

Таким образом, объем зон подогрева и обжига круглой шахтной газовой печи не может превышать:

$$\frac{\pi \cdot d^2 h}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,8^2}{4} \cdot 10 = 25,5 \text{ м}^3,$$

где  $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$  — площадь поперечного сечения круглой шахты, рав-

$$\text{ная при указанных выше условиях } \frac{3,14 \cdot 1,8^2}{4} = 2,55 \text{ м}^2,$$

$h$  — высота зон подогрева и обжига, равная 10 м.

Производительность газовой печи с таким объемом шахты, в зависимости от величины кусков обжигаемого материала, тяговых устройств и способа сжигания топлива в топочных устройствах, составит от 6,5 до 15,0 т извести в сутки.

Если нужно построить газовую шахтную печь большей мощности, то необходимо увеличить площадь поперечного сечения шахты, что осуществляется двумя способами:

1. Вместо круглого принимают прямоугольное поперечное сечение шахты (см. рис. 7) с закругленными торцевыми сторонами (в углах известняк плохо обжигается). Впуск газообразных продуктов в шахту производится по обеим длинным сторонам ее поперечного сечения, расстояние между которыми, по соображениям, изложенным выше, не должно превышать 1600—1800 мм.

2. Принимают круглое поперечное сечение шахты с большим внутренним диаметром (порядка 4,0 м), но по центру шахты устанавливают выложенный из шамотного кирпича столб, так называемый „керн“. Диаметр керна выбирают с таким расчетом, чтобы расстояние между внутренними стенками шахты, откуда подаются газообразные продукты, и наружной поверхностью керна опять-таки не превышало 800—900 мм (печь такой конструкции изображена ниже на рис. 16).

Площадь полученного таким путем кольцевого пространства значительно больше, чем площадь простой круглой шахты диаметром 1600—1800 мм. Круглая форма сечения шахты наиболее удобна как в строительном отношении, так и в смысле равномерности распределения известняка по сечению шахты.

Пересыпные печи, вне зависимости от производительности, имеют всегда круглое поперечное сечение шахты, а форма поперечного сечения газовой печи может быть в зависимости от производительности как круглой, так и прямоугольной.

### 1) Печи с выносными топками полного сгорания

Особенности и недостатки обжига продуктами полного сгорания топлива. Как уже указывалось выше, обжиг известняка в шахтных печах происходит за счет тепла нагретых до высокой температуры (1000—1200°) продуктов полного сгорания топлива. Ввиду того, что продукты полного сгорания не содержат горючих газов и при поступлении в шахту печи гореть не могут, воздух в зону охлаждения, в данном случае, не подается. В противном случае он, примешиваясь к газообразным продуктам, поступающим из топок в шахту, понижал бы температуру газовой смеси настолько, что обжиг известняка был бы или очень замедлен, или совсем невозможен.

Поэтому в описываемых печах известь остывает в зоне охлаждения очень мало и выгружается из печи горячей, что приводит к довольно значительной потере тепла и, следовательно, увеличивает расход топлива на обжиг.

Кроме того, горячая известь ухудшает условия труда при ее выгрузке, транспортировке и т. д.

Выше было указано, что на обжиг известняка идут главным образом низкосортные виды топлива с значительным содержанием влаги и золы, вследствие чего получение высоких температур в топках достаточно затруднительно. Кроме того, горячие газообразные продукты по пути из топочного пространства в шахту несколько остывают. Все это, в конечном итоге, приводит к тому, что не всегда бывают возможно поддерживать в зоне обжига достаточно высокую для интенсивного обжига известняка температуру. Горячие газообразные продукты при входе в шахту и соприкосновении с ближайшими к ее стенкам слоями известняка быстро охлаждаются, в силу чего прогрев известняка внутри шахты при обжиге продуктами полного сгорания происходит медленно.

**Объемное напряжение.** Указанными выше причинами объясняется замедленный обжиг и низкое объемное напряжение, составляющее в печах с топками полного сгорания 200—300 кг/м<sup>3</sup> в сутки.

**Описание конструкций.** Перечисленные выше недостатки печей с выносными топками полного сгорания ограничивают их применение; эти печи строятся лишь для предприятий

с небольшой производительностью (до 10 т извести в сутки) с шахтой круглого поперечного сечения и ручной выгрузкой извести. Обычно эти печи работают на естественной тяге, создаваемой кирпичной дымовой трубой, расположенной над шахтой.

На рис. 12 изображена шахтная печь производительностью 10 т извести в сутки с выносными топками полного сгорания для каменного угля, работающая на химическом заводе в г. Славянске (Донбасс).

В печах с выносными топками полного сгорания может быть использовано любое длиннопламенное топливо, позволяющее по своему качеству получить в топке температуру 1000—1200°.

Для того чтобы горячие газообразные продукты по пути из топок в шахту печи меньше охлаждались, газовых коллекторов в этих печах не делают, а топки располагают возможно ближе к окнам для впуска горячих газообразных продуктов в шахту.

Для более равномерного обжига известняка по всему сечению шахты печи оборудуются несколькими (от 4 до 6) топками, равномерно расположенных вокруг шахты. При незначительной производительности печей общий расход топлива в них

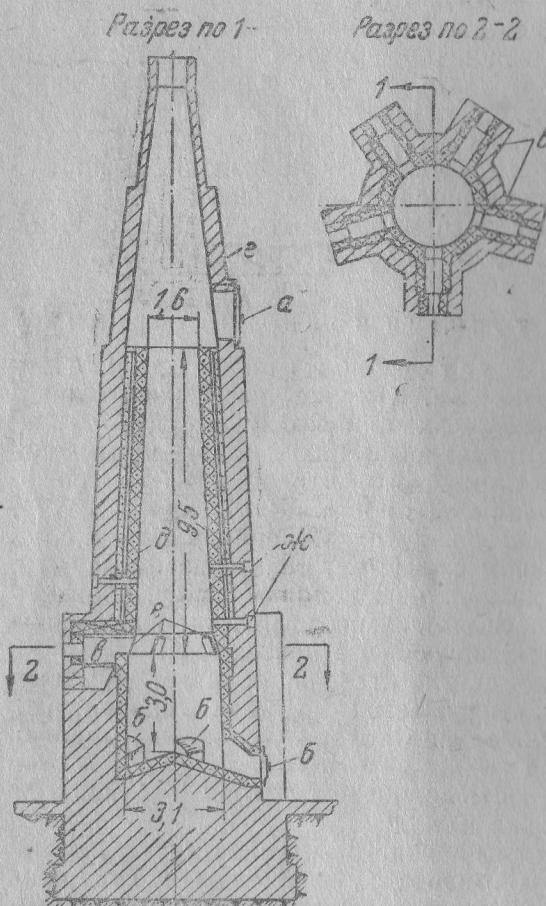


Рис. 12: а—окно для загрузки известняка; б—окна для выгрузки извести; в—топки полного сгорания; г—дымовая труба; д—футеровка шахты; е—окна для впуска горячих газообразных продуктов в шахту; ж—гляделки.

Для более равномерного обжига известняка по всему сечению шахты печи оборудуются несколькими (от 4 до 6) топками, равномерно расположенных вокруг шахты. При незначительной производительности печей общий расход топлива в них

невелик, что при наличии нескольких топок приводит к тому, что размеры последних получаются весьма незначительными.

Последнее обстоятельство исключает возможность применения в данном случае более совершенных и более сложных по конструкции топок, взамен которых печи оборудуются наиболее простыми топками полного сгорания с горизонтальными колосниками решетками для ручной загрузки топлива.

Топки этого типа представляют собой кирпичную камеру, футерованную внутри шамотным кирпичом и разделенную горизонтальной колосниковой решеткой на две неравные части: верхнюю, где происходит горение топлива, называемую топочной камерой или топочным пространством, и нижнюю, называемую зольником, куда проваливается зола (через отверстия колосниковой решетки), образующаяся при сгорании топлива, лежащего на колосниковой решетке.

В передней (так называемой фронтовой) стенке топки имеются дверцы для загрузки топлива в топки, чистки колосниковой решетки и выгрузки золы из зольника. Через открытые дверцы зольника под колосниковую решетку топки поступает воздух для горения топлива, почему эти дверцы называют также поддувальными.

На рис. 13 изображена выносная топка полного сгорания для дров, примыкающая к шахте печи.

**Напряжение и площадь колосниковой решетки в выносных топках полного сгорания.** Размер топки определяется площадью ее колосниковой решетки, которая в свою очередь зависит от количества топлива, которое можно скечь на 1 м<sup>2</sup> решетки в час. Эта величина, зависящая от сорта топлива, и конструкции топки, называется напряжением колосниковой решетки. Для шахтных печей, у которых количество топлива, скижаемого в топках, весьма незначительно, напряжения колосниковых решеток принимаются более низкими, чем, например, для котельных топок с горизонтальной колосниковой решеткой, и составляют в среднем при работе без искусственного подвода воздуха под колосниковую решетку (в кг/м<sup>2</sup> час):

для дров и торфа . . . . .	100
“ бурых углей . . . . .	60
“ каменных углей . . . . .	40

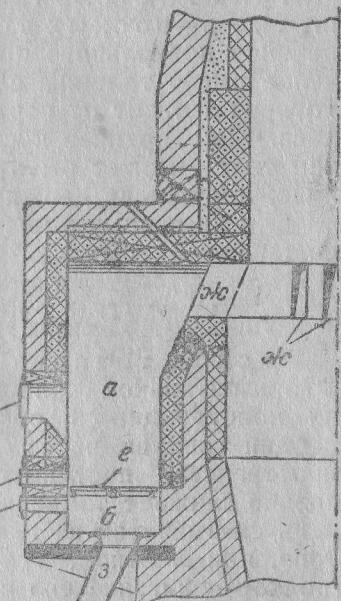


Рис. 13: а—топочное пространство; б—зольник; в—дверцы для загрузки дров в топку; г—дверцы для чистки колосниковой решетки; д—поддувальные дверцы; е—колосниковая решетка; ж—окна для впуска горячих газообразных продуктов в шахту; з—течка для спуска золы в вагонетку.

Для определения напряжения колосниковой решетки в топках действующей печи необходимо часовой расход топлива разделить на общую площадь колосниковых решеток всех топок. Так, например, если часовой расход дров в печи составлял 420 кг и она оборудована четырьмя топками с площадью колосниковой решетки каждой топки, равной 1,0 м<sup>2</sup>, то напряжение составит:

$$\frac{420}{4 \cdot 1,0} = 105 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

Толщина слоя топлива на колосниковой решетке в выносных топках полного сгорания. Для обеспечения правильного процесса горения топлива большое значение имеет толщина слоя топлива на колосниковой решетке, которая зависит от сорта, крупности кусков и влажности топлива. Чем крупнее куски топлива и чем выше его влажность, тем толще может быть слой топлива. Чем мельче и суще топливо, тем тоньше держится слой его на колосниковой решетке.

Для указанных выше условий средняя толщина слоя топлива составляет (в мм):

для дров и кускового торфа . . . . .	до 500
“ бурых углей . . . . .	80
“ каменных углей . . . . .	60

Расход топлива в печах. К числу достоинств топок с горизонтальной колосниковой решеткой относится простота их конструкции и обслуживания. Но при загрузке свежей порции топлива через открытые топочные дверцы в топочное пространство поступает много холодного воздуха, который сильно снижает температуру топочных газов, что в свою очередь оказывается на температуре в зоне обжига печи. Кроме того, при влажном, а также многозольном топливе хорошее (полное) сжигание его в этих топках затруднено. В силу этого обстоятельства они работают с значительными потерями тепла (от механической и химической неполноты сгорания), что, вместе с потерями тепла в самой шахте, оказывается неблагоприятно на общем расходе топлива, который для описанных печей составляет в среднем 20—23% условного от веса извести.

## 2) Печи с полугазовыми топками

Общие понятия. Принципиальная конструкция печей. Полугаз, поступающий из полугазовых топок в шахту печи, имеет температуру порядка 800—1000° и содержит горючие газы, в силу чего он может еще гореть. Таким образом, обжиг известняка происходит в данном случае как за счет тепла горячего полугаза, так и за счет того тепла, которое выделяется при его сгорании в шахте печи.

В качестве топлива в полугазовых печах могут употребляться любые длиннопламенные виды его.

Ввиду того, что при обжиге на полугазе часть тепла выделяется непосредственно в шахте печи, т. е. среди обжигаемого материала, нагрев известняка в полугазовых печах проис-

ходит более интенсивно и более равномерно по всему сечению шахты, нежели в печах с выносными топками полного сгорания.

Поперечное сечение шахты полугазовых печей—круглое для производительности до 15,0 т/сутки и прямоугольное с закругленными торцевыми сторонами для производительности выше 15,0 т/сутки (в последнем случае иной раз применяются печи круглого поперечного сечения с центральным керном).

В продольном сечении стенки шахты выполняются вертикальными или с некоторым уклоном вовнутрь по высоте шахты. Полугазовые топки, так же как и выносные топки полного сгорания, примыкают непосредственно к шахте печи. Так как температура полугаза ниже температуры продуктов полного сгорания топлива и максимальная температура при обжиге на полугазе развивается при сгорании последнего в шахте печи, опасность остыния полугаза по пути из топочной камеры в шахту печи менее велика. В силу этого обстоятельства в полугазовых печах газоходы для подачи полугаза в шахту устраиваются более длинными, за счет чего уменьшается количество топок (сами же топки делаются больших размеров).

В таких конструкциях полугаз из топок поступает в канал, проложенный внутри кладки шахты, называемый газовым коллектором (см. рис. 17).

Из коллектора полугаз через газовые окна, равномерно расположенные по длине коллектора, поступает в шахту.

В большинстве случаев печи, в зависимости от их мощности, оборудуются двумя-четырьмя полугазовыми топками. Производительность полугазовых печей, работающих у нас в СССР, весьма разнообразна и колеблется от 7 до 50 т извести в сутки.

Есть все основания предполагать, что в дальнейшем мощность отдельных полугазовых печей будет значительно увеличена. В настоящее время уже имеются проекты полугазовых печей производительностью до 75—100 т извести в сутки.

Степень механизации полугазовых печей также весьма разнообразна, хотя в большинстве случаев печи производительностью до 10,0—15,0 т/сутки строятся с ручной выгрузкой извести и выше 15,0 т—с автоматическими выгрузными механизмами, главным образом системы инж. Антонова. Подача и загрузка печей известняком осуществляется главным образом скраповыми подъемниками.

Тяга в печах. Тяга в любой шахтной печи, благодаря которой происходит поступление воздуха в шахту и движение вверх по ней газообразных продуктов, может осуществляться помошью дымовой трубы (сама шахта также является своего рода трубой и создает некоторую тягу) или дымососной установкой—в обоих случаях в шахте создается разрежение; или путем подачи воздуха, необходимого для горения топлива, под давлением (помощью вентилятора)—в этом случае в шахте создается давление; или, наконец, и тем и другим способом одновременно—в этом случае в верхней (большей по высоте) части шахты создается разрежение, а в нижней (меньшей по

высоте) ее части—давление. Если в полугазовой печи создавать тягу путем подачи воздуха снизу шахты под давлением, то на уровне ввода полугаза в шахту, находящегося, как правило, в нижней ее половине, может создаться такое давление, которое затруднит, а в некоторых случаях совсем прекратит, доступ полугаза в шахту. Давление воздуха как бы „запрет“ вход полугаза в шахту, и печь работать не будет.

В силу указанного обстоятельства полугазовые печи работают, как правило, под разрежением, а пересыпные печи могут работать как под разрежением, так и под давлением.

В тех случаях, когда в полугазовых печах воздух подается снизу шахты вентилятором, давление его выбирается очень небольшим — с таким расчетом, чтобы на уровне ввода полугаза в шахту давления не наблюдалось; давление воздуха должно преодолеть только сопротивление движению его вверх, создаваемое слоем извести, находящейся в зоне охлаждения. Сопротивление движению вверх газообразных продуктов, создаваемое слоем обжигаемого материала, расположенного в зонах обжига и подогрева, преодолевается в этом случае разрежением, создаваемым дымососной установкой.

С точки зрения расхода электроэнергии выгоднее обеспечить тягу в шахте путем подачи в нее воздуха под давлением, в силу чего там, где это возможно, а именно в пересыпных печах, такой способ создания тяги применяется достаточно часто.

Устройство и принцип работы полугазовых топок. Полугазовые топки — ответственная часть печи, и от их конструкции и работы во многом зависят успешный обжиг известняка и расход топлива на обжиг. Основными требованиями, предъявляемыми к полугазовой топке, являются:

1. Возможность получения полугаза с содержанием достаточного количества горючих газов (не менее 8—10% CO и 6—8% H<sub>2</sub>).

2. Возможность обеспечения печи полугазом более или менее постоянного состава на протяжении всего времени работы полугазовой топки (за исключением, конечно, тех периодов, когда топку ставят на чистку).

3. Минимальные потери тепла в топке, что относится главным образом к потере тепла от механической неполноты сгорания топлива, которая в полугазовых топках, особенно при работе на многозольных бурых углях, достигает подчас значительной величины.

Как правило, полугазовые топки состоят из шахты высотой 0,8—1,5 м, к нижней части которой примыкает наклонная колосниковая решетка, заканчивающаяся внизу короткой горизонтальной колосниковой решеткой. Угол наклона колосниковой решетки в большинстве случаев колеблется, в зависимости от сорта топлива и крупности его кусков, в пределах 40—50°.

На рис. 14 изображена полугазовая топка для бурых углей.

В шахте находится свежезагруженное топливо, которое здесь постепенно нагревается и подсыхает. По мере сго-

рания топлива на нижних частях колосниковой решетки и выгребания оттуда золы и шлака, топливо сползает по наклонной решетке, а то топливо, что находилось в шахте, опускаясь, попадает на верхнюю часть наклонной решетки, где происходит окончательное высыпывание его.

По мере дальнейшего сползания вниз топливо все больше и больше нагревается, в результате чего из него начинают выделяться горючие летучие, и топливо загорается. Горение топлива и те реакции, о которых упоминалось при объяснении процесса образования полугаза, происходят на нижней части наклонной решетки.

На горизонтальной решетке скапливаются зола, шлак и твердый горючий остаток — кокс. Назначение этой части колосниковой решетки — как можно полнее выжечь все горючие части, находящиеся в шлаках.

Для загрузки топлива в полугазовые топки служат специальные загрузочные коробки (рис. 14), устанавливаемые над шахтой топки. Так как полугазовые топки обычно работают под давлением, создаваемым вентилятором для подачи воздуха под колосниковую решетку, то при загрузке свежей порции топлива в топку из нее может выбрасываться в помещение, где она установлена, полугаз, содержащий окись углерода (угарный газ), являющийся отравляющим газом. Для предотвращения этого явления загрузочные коробки оборудуются двойным затвором — верхним и нижним. Сперва открывается верхняя крышка коробки, и в нее загружается топливо. Затем верхняя крышка закрывается, после чего открывается нижний затвор, и топливо проваливается в шахту топки.

Таким путем предотвращается поступление полугаза в помещение при загрузке топлива в топки.

Для обслуживания колосниковой решетки топки снабжаются дверцами, расположенными с фронта топок.

В эксплуатации полугазовые топки сложнее выносных топок полного сгорания и требуют внимательного и квалифицированного обслуживания.

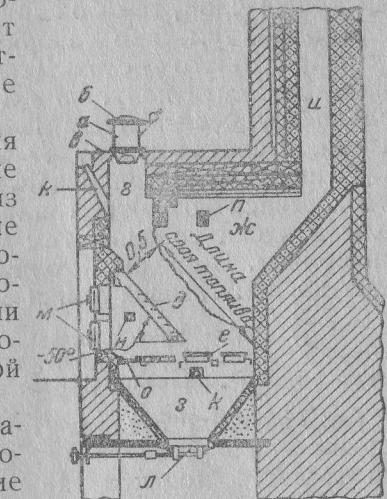


Рис. 14: *a*—загрузочная коробка; *б*—верхний затвор загрузочной коробки; *в*—нижний затвор загрузочной коробки; *г*—шахта топки; *д*—наклонная ступенчатая колосниковая решетка; *е*—горизонтальная колосниковая решетка; *ж*—топочное пространство; *з*—зольниковый бункер; *и*—газоход; *к*—шуровочное отверстие для разравнивания слоя топлива на колосниковой решетке; *л*—затвор зольникового бункера; *м*—дверцы для чистки колосниковой решетки; *н*—воздухопровод для подачи воздуха под колосниковую решетку; *о*—шибер (pivot valve) для спуска золы в зольниковый бункер; *п*—гляделка.

Толщина слоя топлива на колосниковой решетке. Весьма большое значение для процесса получения полугаза имеет толщина слоя топлива на колосниковой решетке, причем чем толще слой, тем больше горючих газов будет содержаться в полугазе, тем, как говорят, будет „богаче“ полугаз. Кроме того, при толстом слое легче добиться постоянства состава полугаза. Вести полугазовый процесс при тонком слое значительно труднее—полугаз получается более бедный горючими газами, и состав его будет подвержен большим колебаниям.

Толщина слоя топлива на колосниковой решетке полугазовых топок зависит от вида топлива и величины его кусков. Чем больше куски топлива, тем толще должен быть слой топлива и наоборот. В среднем толщина слоя топлива на колосниковой решетке полугазовой топки может быть принята (в мм):

для дров и торфа . . . . .	до 1000
„ бурых углей . . . . .	500
„ каменных углей . . . . .	400

Так как слой топлива такой толщины представляет значительное сопротивление для прохождения воздуха, то последний подается под колосниковую решетку в большинстве случаев вентилятором.

Зеркало горения и газификации и его напряжение. Количество топлива, сжигаемого в полугазовой топке, зависит от ее размеров и напряжения зеркала горения и газификации.

Под зеркалом горения и газификации понимается площадь поверхности наклонно расположенного слоя топлива, которая равна произведению ширины топки на длину слоя по наклонной линии (см. рис. 14).

Напряжением зеркала горения и газификации называется количество топлива в килограммах, сжигаемого в топке в час, приходящегося на 1 м<sup>2</sup> зеркала горения и газификации.

Так, например, если в топке сжигается 500 кг торфа в час, ширина топки 1,0 м при длине поверхности слоя топлива по наклонной линии—2,0 м, то напряжение зеркала горения и газификации составит:

$$\frac{500}{1,0 \cdot 2,0} = 250 \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ час.}$$

Для полугазовых топок, работающих с вентиляторным подводом воздуха под колосниковую решетку, напряжение зеркала горения и газификации составляет в среднем (в кг/м<sup>2</sup> час):

для дров и торфа . . . . .	до 250
„ бурых углей . . . . .	80
„ каменных углей . . . . .	60

Как уже указывалось выше, в полугазовых печах при вентиляторной подаче воздуха в зону охлаждения он поступает в нее под весьма незначительным давлением, чтобы не затруднить свободный доступ полугаза в шахту.

Сопротивление толстого слоя топлива в полугазовых топках достаточно велико, поэтому воздух подается под колосниковые решетки под значительно большим давлением.

В силу изложенного подача воздуха в зону охлаждения шахты (так называемого вторичного воздуха) и под колосниковые решетки полугазовых топок (так называемого первичного воздуха) осуществляется раздельно—помощью самостоятельных вентиляторов, работающих с различными давлениями воздуха.

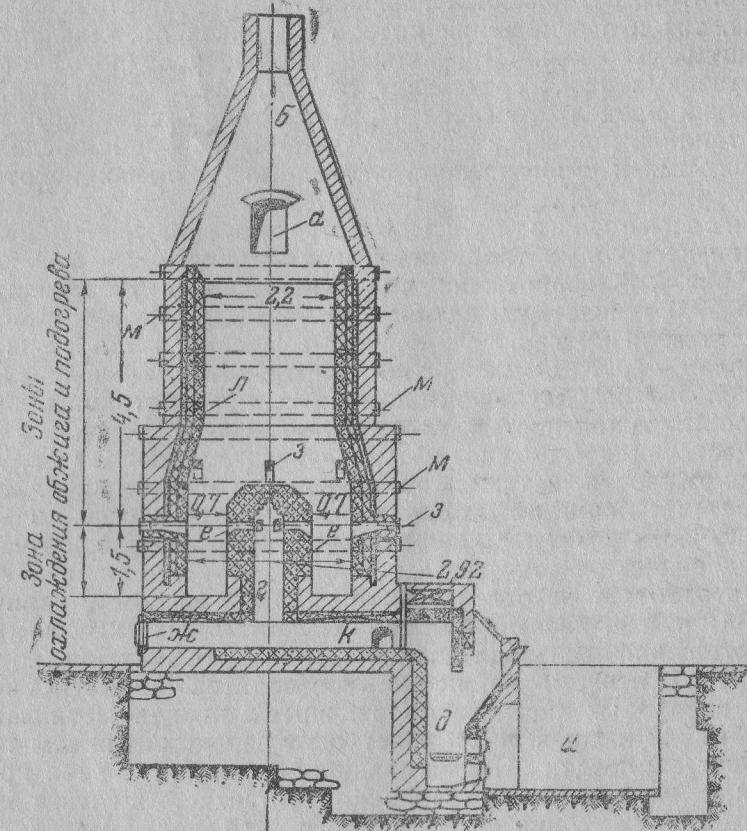


Рис. 15: *a*—окно для загрузки известняка; *б*—дымовая труба; *в*—керн; *г*—канал в керне для подачи полугаза в шахту печи; *д*—полугазовая топка для дров или торфа; *е*—окно в керне для впуска полугаза в шахту печи; *ж*—дверцы для чистки канала; *з*—гляделки; *и*—приямок для обслуживания полугазовых топок; *к*—горизонтальный канал для подачи полугаза в керн; *м*—футеровка шахты; *н*—стыковые кольца (каркас печи).

Объемное напряжение и расход топлива в печах. Объемное напряжение в полугазовых печах, в силу сказанного выше о степени механизации печей, величине кусков обжигаемого материала и побудителях тяги, колеблется в достаточно широких пределах 300—500 кг/м<sup>3</sup> извести в сутки.

Нижний предел относится к немеханизированным печам, работающим на естественной тяге (и, следовательно, на более крупных кусках известняка). Верхний предел достигается в полностью механизированных печах, оборудованных дымососной установкой и вентиляторной подачей воздуха в зону охлаждения печи и под колосниковые решетки полугазовых топок.

Расход топлива в полугазовых печах во многом зависит от работы полугазовых топок как в смысле получения полугаза, богатого содержанием горючих газов, и постоянства его состава, так и в отношении потерь в топках от механической неполноты сгорания. В среднем расход условного топлива в полугазовых печах составляет 18—22% от веса извести.

Нижний предел относится к работе топок на малозольных видах топлива (древа, кусковой торф) и верхний предел—на многозольных и с повышенной влажностью топливах (некоторые сорта бурых углей).

Описание конструкций печей. В заключение приводим описание нескольких типов полугазовых печей.

На рис. 15 изображена полугазовая печь производительностью 7,0 т извести в сутки.

Шахта печи круглого поперечного сечения: в центре шахты установлен круглый керн, по внутреннему каналу которого полугаз из двух примкнутых с одной стороны шахты полугазовых топок поступает в зону обжига.

Существенной особенностью печи является подача полугаза не по окружности шахты, а по ее центру — через керн. Этим достигается лучший обжиг известняка, находящегося в центральной части шахты. Недостаток конструкции заключается в затрудненности чистки газовых окон в керне при их засорении.

Печь работает на естественной тяге, создаваемой кирпичной дымовой трубой, являющейся продолжением шахты. В связи с ее незначительной производительностью печь не механизирована.

Выгрузка извести из печи производится вручную, через четыре выгрузных люка, расположенных в нижней части шахты. Через эти же люки в шахту поступает необходимый для горения полугаза воздух. Подача известняка на верх печи производится в вагонетках по наклонной эстакаде. Загрузка известняка в шахту — ручная. Ввиду того, что печь работает на естественной тяге и не механизирована, объемное напряжение ее составляет около 350 кг/м<sup>3</sup> сутки.

Печи этого типа, построенные на нескольких предприятиях Союза, работают вполне удовлетворительно.

Несколько отличается от вышеописанной печь, изображенная на рис. 16, также с круглым поперечным сечением и керном в центре шахты. Производительность печи—25,0 т извести в сутки. В этой печи полугаз подается не по керну, а по периферии шахты. Для этой цели вокруг шахты равномерно расположены шесть полугазовых топок. В керне имеется канал, по которому воздух для горения полугаза может подаваться непосредственно в зону обжига, минуя зону охлаждения.

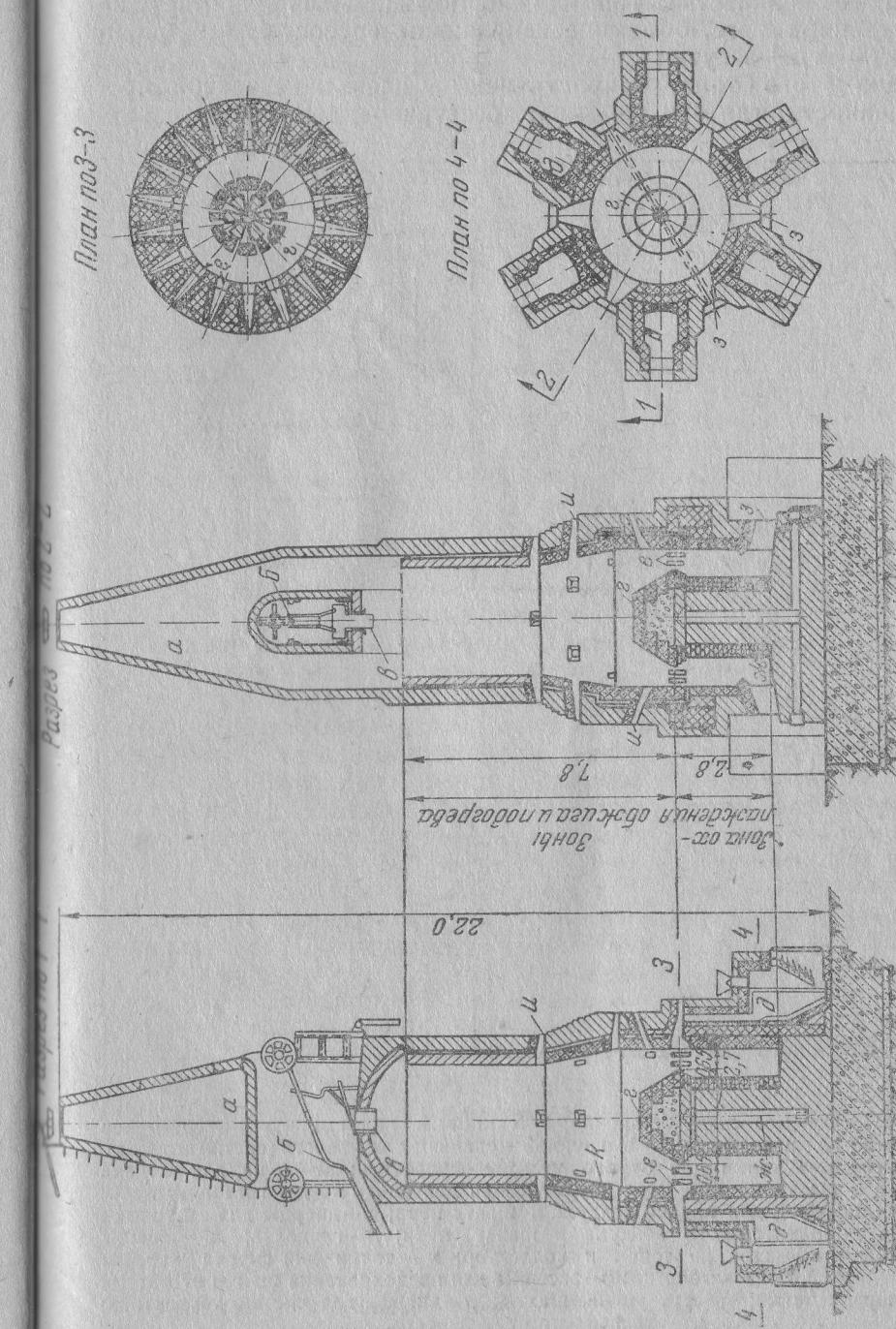


Рис. 16: а—дымовая труба; б—скрепочный подъемник; в—затирочная коробка для известняка; г—керн; д—полугазовые топки для каменного угля; е—канал для впуска полугаза в шахту печи; ж—канал в керне для подачи воздуха; з—окна для выгрузки извести; и—глаяники; к—футеровка шахты

Механизация выгрузки извести из этой печи вследствие большого количества топок невозможна. Печь работает на естественной тяге, объемное напряжение ее составляет около 350—400 кг/м<sup>3</sup> в сутки.

Печи этого типа распространены у нас в химической промышленности, где они работают достаточно удовлетворительно.

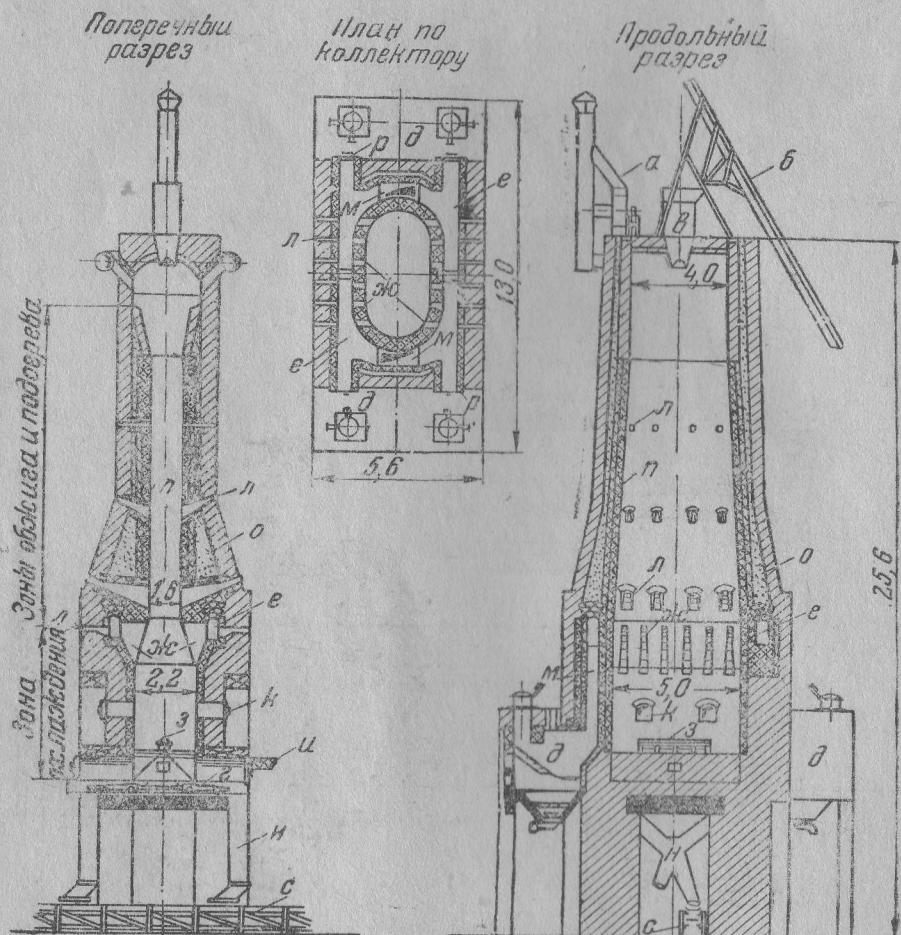


Рис. 17: а—дымососная установка; б—скиповый подъемник; в—загрузочное устройство для известняка; г—выгрузной механизм для извести (система Антонова); д—полугазовые топки для бурого угля; е—коллектор; ж—окно для впуска полугаза в шахту печи; з—чугунный гребень для ввода воздуха в шахту печи; и—воздухопровод для подачи воздуха в шахту печи; к—дверцы для шуровки и ввода дополнительного воздуха в шахту печи; л—гляделка; м—каналы для подачи полугаза из топок в коллектор; н—течки для спуска извести на транспортер или в вагонетки; о—засыпка для предохранения шахты от потери тепла через стенки; п—футеровка шахты; р—дверцы для чистки коллектора; с—транспортер для извести.

К числу недостатков всех печей с керном следует отнести часто образующиеся в них зависания материала („коэзы“), вызываемые наличием керна, который, кроме того, затрудняет механизацию выгрузки извести из печи.

Печь, изображенная на рис. 17, принадлежит к числу более мощных полугазовых печей. Суточная производительность ее составляет до 40 т извести. Внутреннее поперечное сечение шахты — прямоугольное, с закругленными торцевыми сторонами. Печь оборудована четырьмя полугазовыми топками, примкнутыми попарно с обеих торцевых сторон шахты.

Из топок полугаз, помошью вертикальных газоходов, поступает в газовый коллектор, проложенный в кладке шахты

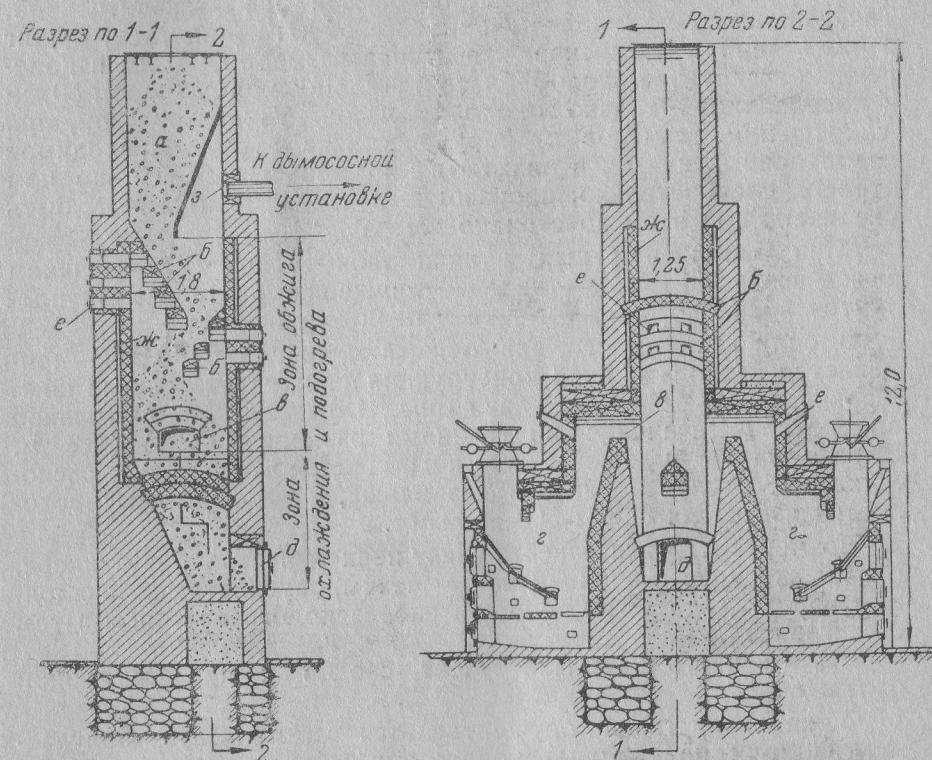


Рис. 18: а—бункер для известняка; б—своды для поддержки слоя известняка; в—окна для впуска полугаза в шахту; г—полугазовые топки для дров или торфа; д—окно для выгрузки извести и подачи воздуха в шахту; е—гляделки; ж—футеровка шахты; з—патрубок для отсоса отходящих газов.

и опоясывающий последнюю. Из коллектора полугаз через 12 газовых окон поступает в шахту с периферии ее. Печь оборудована дымососной установкой, расположенной наверху.

Подача воздуха в зону охлаждения, а также под колосниковыми решетками полугазовых топок, осуществляется самостоятельными вентиляторами. Загрузка известняка в печь производится

дится склоновым подъемником. Выгрузка извести из печи — автоматическим выгрузным механизмом системы инж. Антонова.

Объемное напряжение в печи достигает  $500 \text{ кг}/\text{м}^3$  извести в сутки и выше. Печи этого типа выстроены и работают вполне удовлетворительно на различных видах топлива (древа, торф, подмосковный уголь) на ряде предприятий Союза.

Существует много конструкций для обжига известняка, но объем настоящей книги не позволяет дать описание их. Остановимся лишь на полугазовой печи для обжига мелкого известняка.

В разделе II уже было указано, что чем мельче куски известняка, тем быстрее они обжигаются. Разница во времени в зависимости от величины кусков получается очень значительной. Так, например, при полном процессе обжига (подогрев, обжиг и охлаждение) для кусков известняка размером 150 мм в поперечнике требуется около 60 часов, а для кусков размером 50 мм в поперечнике — только около 17 часов. Таким образом, при сокращении размеров кусков известняка втрое необходимо время пребывания их в шахте печи уменьшается больше чем втрое, следовательно, производительность печи может быть увеличена при этом во столько же раз.

При заполнении шахты печи таким мелким известняком резко возрастает сопротивление движению газообразных продуктов вверх по шахте, и тяга в печи нарушается.

В силу изложенного, для обжига мелкого известняка применяется несколько иная конструкция печи, разработанная инж. Маркеловым. Шахта этой печи (рис. 18) имеет прямоугольное поперечное сечение с внутренними размерами  $1,25 \times 1,8$  м. Внутри шахты выложены своды из шамотного кирпича, расположенные ступенеобразно в два марша, на которых распределется известняк слоем 500—600 мм.

По мере отгрузки извести снизу печи известняк из бункера, расположенного в верхней части шахты, опускается на наклонные марши, сползая по которым сперва подогревается, а затем обжигается.

Нижняя часть шахты не имеет сводов и является зоной охлаждения.

Обжиг известняка осуществляется на полугазе, получаемом из двух полугазовых топок, примкнутых к шахте с противоположных сторон. По выходе из топок в шахту горячий полугаз в присутствии воздуха, поступающего из зоны охлаждения, загорается, и раскаленные продукты горения, проходя в щели между сводами, пронизывают слой расположенного на них известняка. Так как общая толщина двух слоев известняка составляет до 1200 мм, что гораздо меньше толщины слоя известняка в зонах подогрева и обжига нормальной шахтной печи ( $8000-10000$  мм), то в печах Маркелова возможен обжиг очень мелких кусков известняка в пределах 10—50 мм в поперечнике.

Благодаря столь незначительной величине кусков известняка загрузка печи может с успехом производиться помощью вертикального элеватора. Выгрузка извести из печи осуществляется как вручную, так и автоматическими выгрузными механизмами.

Тяга в печи создается, в обязательном порядке, помощью дымососной установки, так как сопротивление слоя хотя и незначительного по толщине, но мелкого известняка, все же достаточно велико и не может быть преодолено естественной тягой.

Объемное напряжение в печи Маркелова, считая на объем, заполненный обжигаемым материалом, расположенным на сводах (до уровня влета полугаза в шахту), составляет  $2000-2500 \text{ кг}/\text{м}^3$  сутки. Производительность печи —  $15-17 \text{ т}/\text{сутки}$ . На большую мощность печи Маркелова не строятся, так как это вызвало бы необходимость увеличения размеров сечения шахты и, следовательно, увеличения пролетов сводов, которые работают в довольно тяжелых температурных условиях и требуют частых ремонтов.

Печи Маркелова с особым успехом могут применяться на известковых заводах, наряду с нормальными шахтными печами, для использования карьерной мелочи и мелочи, образующейся при дроблении и сортировке известняка, поступающего в шахтные печи.

В заключение необходимо отметить, что в настоящее время разработаны конструкции шахтных печей для обжига еще более мелких кусков известняка ( $3-10 \text{ мм}$  в поперечнике). Общая высота этих так называемых „мульти-печей“ составляет  $4,0-5,0$  м, а объемное напряжение значительно выше, чем для печей системы Маркелова.

### 3) Печи с газогенераторами

Общие понятия и описание конструкций. Шахты печей, работающих на генераторном газе, ни по своей форме или конструкции, ни по способам механизации и создания тяги ничем не отличаются от шахт полугазовых печей, и все, что было сказано на этот счет про последние, может быть целиком и полностью отнесено к печам, работающим на генераторном газе.

Как уже указывалось в разделе III, при увеличении слоя топлива на колосниковой решетке будет получаться газ, все более богатый содержанием горючих газов (температура же газа будет при этом понижаться).

Таким образом, в любой полугазовой топке можно, при соответствующем увеличении слоя топлива, получить газ с большим содержанием горючих газов.

Работать на очень толстом слое на наклонной колосниковой решетке, которой оборудованы все современные полугазовые топки, довольно трудно, главным образом с точки зрения обслуживания топки (поддержание одинаковой толщины слоя

топлива на всей площади решетки). Да и сама конструкция такой топки для толстого слоя топлива (особенно для таких видов топлива, как дрова или торф) получается слишком громоздкой.

Поэтому топки для получения генераторного газа или газогенераторы устраиваются в виде вертикальных шахт различной, в зависимости от вида газифицируемого топлива, высоты, прямоугольного или круглого поперечного сечения и снабжаются в нижней части шахты горизонтальной колосниковой решеткой.

Генераторный газ применяется во многих областях промышленности (металлургической, огнеупорной, химической, стекольной и т.д.), где устраивают специальные газогенераторные станции, от которых генераторный газ подается по газопроводам на достаточно большие расстояния в различные точки, к местам его потребления.

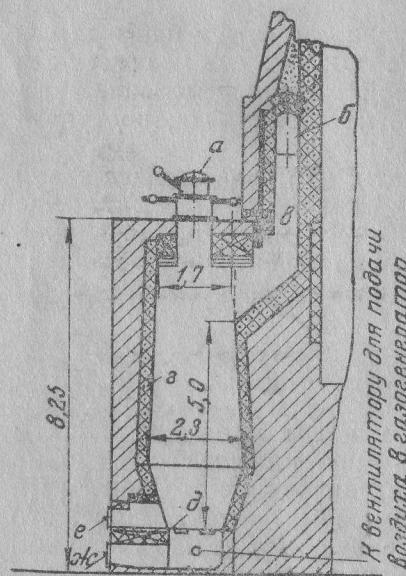


Рис. 19: а—загрузочная коробка для дров; б—газовый коллектор; в—газоход из газогенератора в газовый коллектор; г—футеровка газогенератора; д—колосниковая решетка; е—дверца для чистки колосниковой решетки; ж—зольниковая дверца.

Применяемые в известковой промышленности газогенераторы чрезвычайно просты по конструкции и работают главным образом на сравнительно легко газифицируемых малозольных видах топлива (древа и торф). При этом опасность засорения газоходов устраняется тем, что газогенераторы обычно примыкают

к шахте печи, либо их относят на незначительное от нее расстояние, и, кроме того, работа на них ведется с несколько пониженным слоем топлива, благодаря чему температура газа получается выше обычной (порядка 600—700°). При такой температуре сажа и смола в газоходах не осаждаются.

На рис. 19 изображен газогенератор для дров, примкнутый непосредственно к шахте печи. Он представляет собой кирпичную шахту прямоугольного сечения, футерованную внутри шамотным кирпичом.

Толщина слоя топлива в таком газогенераторе может быть доведена до 5,0 м. Для загрузки дров газогенератор оборудован загрузочной коробкой с двойным затвором. В нижней части генератора расположена горизонтальная колосниковая решетка, для чистки которой предусмотрена специальная дверца. Ниже последней расположена вторая дверца, служащая для выгребания золы из-под колосниковой решетки. Генератор работает с вентиляторным подводом воздуха под колосниковую решетку.

Генераторный газ из газогенератора поступает в шахту печи так же, как и при полугазовых топках, т. е. помощью газового коллектора и газовых окон. Напряжение колосниковой решетки газогенератора составляет 200—300 кг/м<sup>2</sup> час.

На рис. 20 представлен наиболее простой тип газогенератора для кускового торфа, состоящий из кирпичной шахты прямоугольного поперечного сечения, футерованной внутри шамотным кирпичом. В нижней части шахты установлена колосниковая решетка, состоящая из двух чугунных гребней, в наклонных плоскостях которых устроены отверстия для прохождения воздуха, подаваемого в газогенератор под чугунные гребни.

Наверху газогенератор снабжен загрузочной коробкой для торфа, шуровочными отверстиями и каналами для выпуска газа в атмосферу (при чистке генератора) и в газовый коллектор.

Обслуживание и чистка колосниковой решетки газогенератора производятся через специальные проемы с дверцами, расположенными в нижней части его с двух противоположных сторон.

Внутренние размеры шахты газогенератора (в м):  
поперечное сечение — 2,5 × 2,2;

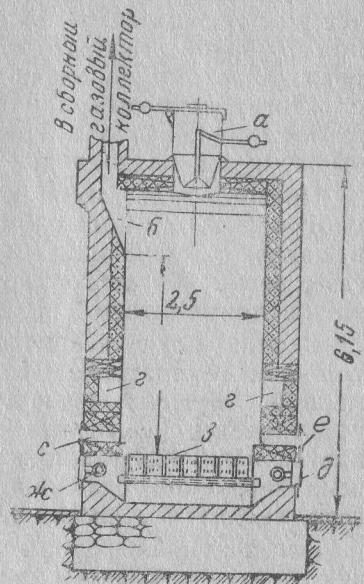


Рис. 20: а—загрузочная коробка для торфа; б—канал для отбора газа; в—чугунный гребень (колосниковая решетка); г—проемы для ремонта газогенератора и колосниковой решетки; д—дверцы для удаления золы из газогенератора; е—дверцы для чистки колосниковой решетки.

высота — 3,5 (от уровня колосниковой решетки и до уровня отбора газа из газогенератора).

Напряжение зеркала газификации газогенератора (считая по всему поперечному сечению шахты) 120—150 кг/м<sup>2</sup> час. При наличии нескольких, отдельно стоящих от печей газогенераторов они обыкновенно объединяются в один общий блок.

Расход топлива в шахтных печах с газогенераторами примерно такой же, как и в полугазовых печах.

Благодаря наличию в генераторном газе значительного количества горючих газов основное тепло выделяется в шахте печи, при горении генераторного газа среди обжигаемого материала. Поэтому передача тепла обжигаемому материалу в печах с газогенераторами происходит несколько лучше, чем в полугазовых печах, и объемное напряжение в них также несколько выше, чем в последних.

Помимо генераторного газа, для обжига известняка могут употребляться газы из доменных и коксовых печей. Кроме того, в связи с значительным расширением добычи естественного газа, весьма богатого горючими, последний, несомненно, будет также применяться для обжига известняка.

В этих случаях нет надобности в постройке полугазовых топок и генераторов. Конструкция шахт печей остается неизменной, за исключением лишь того, что газовый коллектор устраивается не внутри шахты, а выносится наружу и выполняется в виде металлического трубопровода. От него газ помошью патрубков, снабженных вентилями для регулировки подачи газа, вводится в шахту печи.

Когда газогенераторы по той или иной причине отнесены на некоторое расстояние от печей, горячий генераторный газ может подаваться в шахту печи таким же путем. В этих случаях металлические газопроводы футеруются изнутри шамотным кирпичом, а для того чтобы горячий генераторный газ по пути в печь не остыпал, — они покрываются снаружи теплоизоляционными материалами.

## B. Механизация шахтных печей

### 1) Подача и загрузка известняка в печи

Скиповые подъемники. Для подачи известняка на верх шахтной печи наиболее распространенным и наиболее удобным приспособлением является скиповый подъемник (рис. 21).

Скиповый подъемник представляет собой металлический ковш той или иной емкости (для известообжигательных печей, в зависимости от их мощности, от 0,3 и до 0,75 м<sup>3</sup>), который движется на роликах помошью прикрепленного к нему стального троса и электролебедки по наклонно поставленным к печи металлическим направляющим балкам (обычно швеллерам). За-

грузка ковша известняком производится в приямке, расположенной для удобства загрузки ниже уровня земли.

При включении лебедки груженый ковш поднимается по направляющим на верх печи, где автоматически переворачивается, высыпая содержимое в загрузочное устройство печи. Затем ковш опускается вниз в приямок для нового наполнения.

В пересыпных печах таким путем осуществляется подача на верх печи известняка и угля. В печах, оборудованных выносными топками (полного сгорания или полугазовых), скиповые подъемники оборудуются промежуточными разгрузками

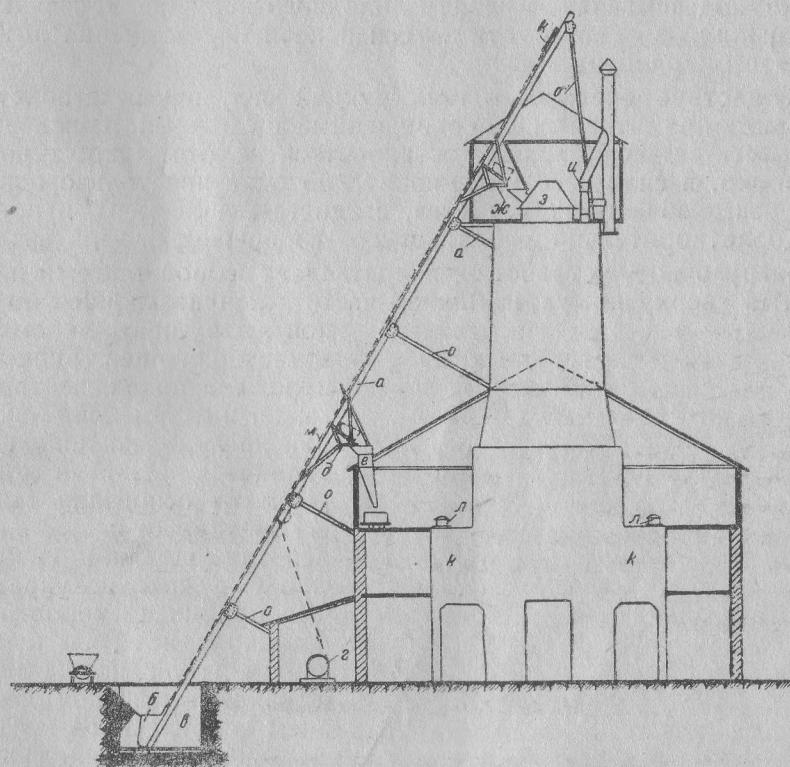


Рис. 21: *a*—скиповый подъемник; *b*—ковш; *в*—приямок; *г*—электролебедка; *д*—промежуточная разгрузочная стрелка для подачи топлива; *е*—бункер для топлива; *ж*—разгрузочная стрелка для известняка; *з*—загрузочное устройство печи; *и*—дымососная установка; *к*—полугазовые топки; *л*—загрузочные коробки для топлива; *м*—трос для подъема ковша; *н*—блок; *о*—опоры скипового подъемника.

(рис. 21), расположенными на уровне загрузочных устройств топок, и топливо тем же ковшом подается на необходимую

высоту. Но таким путем можно подавать только уголь, торф, сланцы. Крупное топливо, например дрова, подается в специальных вагонетках по наклонным эстакадам.

На крупных, современных известообжигательных печах управление скиповыми подъемниками автоматизируется. Нажатием кнопки ковш направляется на верх печи, и дальше все операции производятся автоматически. При опускании ковша в приемок лебедка также автоматически выключается.

**Загрузочные устройства печей.** Эти устройства служат для наиболее равномерного и правильного распределения известняка по сечению шахты.

Загрузочное устройство должно быть герметичным во избежание подсасывания в шахту холодного наружного воздуха и ухудшения, в связи с этим, тяги в печи и увеличения потерь тепла с отходящими газами.

Существует очень много конструкций загрузочных устройств — от самых примитивных до совершенных и сложных. За недостатком места нет возможности остановиться на этом вопросе более подробно, в силу чего ниже приведено описание только одного типа загрузочного устройства, в достаточной мере простого и удовлетворительно работающего, изображенного на рис. 22.

Загрузочное устройство представляет собой железный, закрытый сверху кожух, в нижней части заканчивающийся воронкой. По центру кожуха в направляющей трубе расположена подвижная штанга, на нижнем конце которой наглухо закреплен металлический полый конус.

Диаметр основания конуса соответствует диаметру отверстия воронки кожуха. Сбоку в кожухе укреплена приемная воронка с крышкой, которая открывается рамой ковша ската и закрывается под действием собственного веса.

Конус со штангой поднимается и опускается помощью ручной лебедки, устанавливаемой внизу печи.

Как видно из рис. 22, при верхнем пунктирном положении конуса известняком загружается центральная часть шахты, а при нижнем — известняк поступает ближе к стенкам шахты.

Когда печь не загружается, крышка приемной воронки закрыта,

68

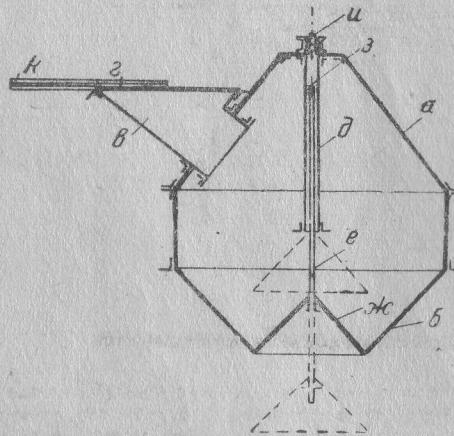


Рис. 22: а—железный кожух; б—воронка; в—приемная воронка; г—крышка приемной воронки; д—направляющая подвижной штанги; е—подвижная штанга; ж—полый конус; з—трос; и—блок; к—угловое железо (для подъема крышки рамой ковша ската).

Когда печь не загружается, крышка приемной воронки закрыта,

а конус закрывает отверстие в воронке кожуха, чем достигается герметичность загрузочного устройства.

## 2) Выгрузка извести из печей

Ниже описываются два типа отечественных выгрузочных механизмов, наиболее распространенных и хорошо зарекомендовавших себя на практике.

**Автоматический выгрузной механизм системы Антонова.** Этот механизм (рис. 23) состоит из попарно связанных тягами чугунных ступенчатых кареток, установленных в специальных чугунных коробках (так называемых „очелках“) в нижней части шахты. Между очелками на дне шахтыложен кирпичный гребень, для направления поступающей из зоны охлаждения извести к очелкам выгрузного механизма.

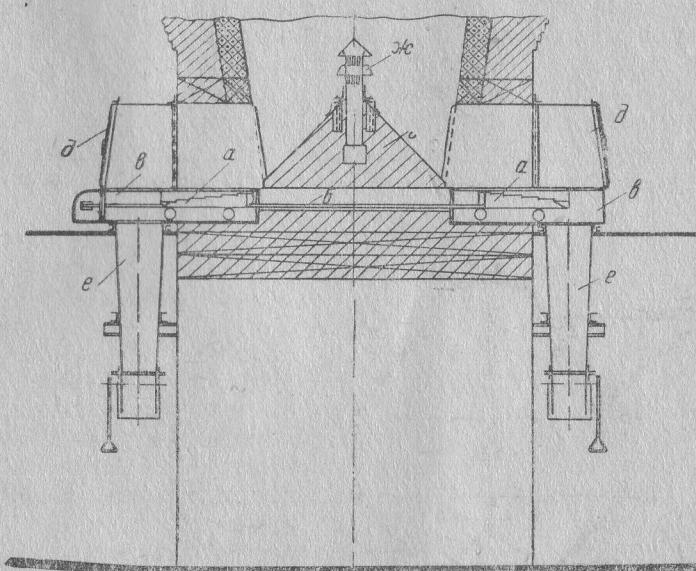


Рис. 23: а—ступенчатые каретки; б—тяги; в—очелки; г—кирпичный гребень; д—дверцы для осмотра и ремонта выгрузного механизма, а также для ручной выгрузки извести; е—течки бункера для извести; ж—чугунный гребень для подачи воздуха в шахту печи.

Каретки, помимо электромотора и специальной передачи, получают возвратно-поступательное движение (т. е. движутся вперед и назад) и проталкивают при этом своими уступами известь к выгрузным отверстиям, расположенным в каждом очелке, впереди каретки.

Из выгрузных отверстий куски известы самотеком поступают в течки или общий бункер и оттуда на транспортер или в вагонетку. На печах, в зависимости от их мощности, устанавливаются

ливаются две или четыре ступенчатых каретки. Соответственно выгрузка называется двухочелковой и четырехочелковой.

Привод выгрузного механизма позволяет регулировать скорость движения кареток и тем самым количество известняка, выгружаемого из печи.

Автоматический выгрузной механизм системы Иссерлиса. Механизм (рис. 24) состоит из металлической воронки, укрепляемой под шахтой печи. К воронке прикреплен металлический кожух, или так называемая „турникетная рубашка“, в которой расположена основная часть выгрузного

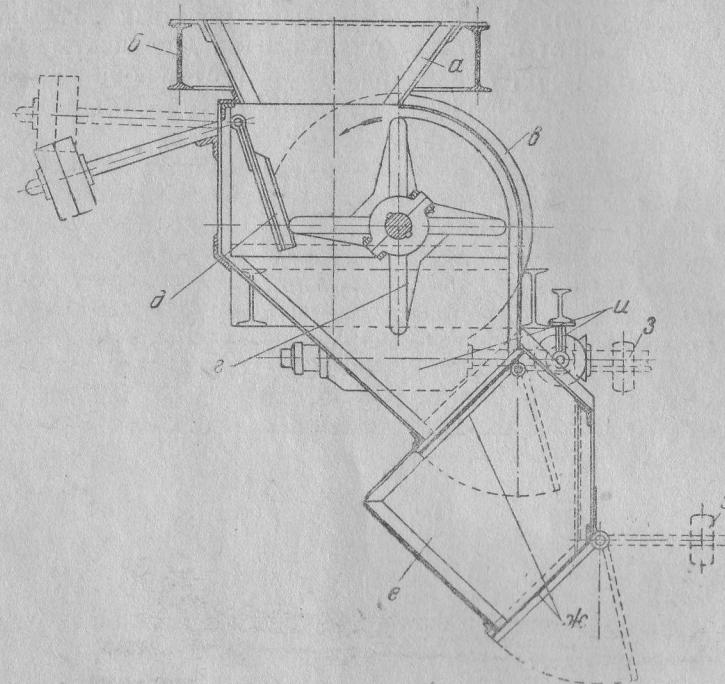


Рис. 24: а—воронка; б—рама для укрепления воронки; в—турникетная рубашка; г—турникеты (звездочки); д—предохранительный щит с противовесом (для предотвращения поломки турникетного вала при заклинивании кусков выгружаемого материала); е—двухклапанная коробка; ж—клапаны; з—противовесы клапанов; и—механизм для приведения во вращение турникетного вала и для открытия клапанов (клапаны закрываются под действием противовеса).

механизма — турникетный вал с насыженными на него четырехлопастными звездочками, или турникетами. К турникетной рубашке прикреплена коробка с двумя клапанами.

Из шахты куски известняка поступают в воронку выгрузного механизма и при вращении турникетного вала захватываются лопастями турникетов и проталкиваются в нижнюю часть турникетной рубашки.

Турникетный вал получает вращение от электромотора через специальную передачу. Этим же мотором, помошью особых приспособлений, приводятся в действие клапаны, которые поочередно открываются и закрываются.

При открытии верхнего клапана куски известняка из нижней части турникетной рубашки проваливаются в клапанную коробку. Затем верхний клапан закрывается и открывается нижний клапан, выпускающий известняк в вагонетку или на транспортер. Производительность выгрузного механизма регулируется числом оборотов турникетного вала.

Выгрузка системы Иссерлиса сложнее выгрузки системы Антонова, зато благодаря двухклапанному затвору она более герметична. Это особенно важно в тех случаях, когда воздух подается в шахту под большим давлением (например, в пересыпных печах).

Механизм системы Антонова быстрее выгружает известняк, расположенный у стенок шахты, а механизм системы Иссерлиса — расположенный по центру шахты.

Так как газовые печи быстрее и лучше обжигают материал, расположенный у стенок шахты, и, работая под разрежением, не требуют наличия герметичной выгрузки, то для них предпочтительно применять выгрузку системы Антонова.

В пересыпных печах уголь, во избежание порчи футеровки, загружается ближе к центру шахты, и обжиг известняка здесь идет быстрее. Кроме того, пересыпные печи работают с подачей воздуха под значительным давлением, что вызывает необходимость применения более герметичной выгрузки. Поэтому для пересыпных печей выгрузной механизм системы Иссерлиса является более подходящим.

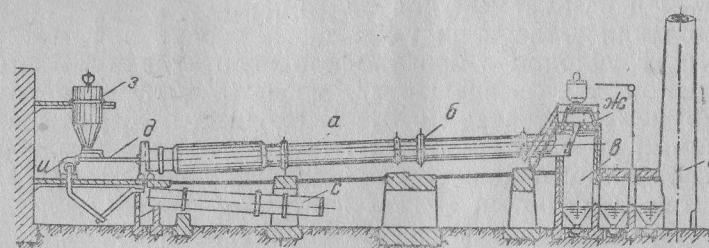


Рис. 25: а—вращающийся металлический барабан; б—венцовая шестерня; в—пыльная камера; г—дымовая труба; д—подача угольной пыли в печь; е—холодильник печи; ж—подача известняка в печь; з—бункер для угольной пыли; и—вентилятор для вдувания угольной пыли в печь.

## Глава 4. ВРАЩАЮЩИЕСЯ ПЕЧИ

### Описание конструкции и принцип работы

Вращающаяся печь представляет собой длинный барабан, склепанный или сваренный из котельного железа (рис. 25).

Барабан выкладывается внутри огнеупорной футеровкой для предохранения железа от действия высоких температур и для

уменьшения потери тепла через его стенки. Барабан устанавливается слегка наклонно (под углом 3—5° к горизонту) и медленно вращается. В качестве опор служат ролики, на которые барабан опирается надетыми на него стальными бандажами.

Вращение барабана осуществляется электромотором через привод, состоящий из набора шестерен. Последняя (венцовая) шестерня состоит из двух или четырех частей и насажена непосредственно на барабан.

Более высоко расположенный конец барабана входит в особую кирпичную камеру, носящую название „пыльной камеры“, соединенную при помощи борова с дымовой трубой.

С этого же конца барабана производится загрузка известняка, размеры кусков которого составляют 15—30 мм в попечнике. Обжиг известняка во вращающейся печи производится на газе, пылевидном (мелко измоловом) угле и на жидким топливом (мазут). Эти виды топлива подаются помошью форсунок с противоположного (более низко расположенного) конца барабана и сгорают в последнем на лету.

Таким образом, барабан объединяет в себе топку полного сгорания и печь для обжига известняка.

При вращении барабана, который делает от 20 до 75 оборотов в час, куски известняка постепенно продвигаются внутри барабана навстречу движущимся горячим газообразным продуктам. Сперва известняк нагревается, затем, по мере приближения к более низко расположенному концу барабана встречая на своем пути все более горячие газы, обжигается. Дойдя до конца барабана, обожженный известняк, в виде извести, проваливается во второй, более короткий барабан, расположенный под первым и называемый холодильником.

Холодильник установлен так же, как и основной обжиговый барабан, но с уклоном в противоположную сторону. Благодаря тому, что он также вращается, известь постепенно продвигается по нему, встречая по пути холодный наружный воздух, засасываемый через второй, открытый конец холодильника.

При своем продвижении по холодильнику известь постепенно охлаждается, а нагретый воздух поступает в печь для горения топлива. Из холодильника известьсыпается на транспортер или в вагонетки и транспортируется на склад.

#### Объемное напряжение и расход топлива

Объемное напряжение во вращающихся печах, если считать на полный внутренний объем обжигового барабана, составляет 500—550 кг/м<sup>3</sup> извести в сутки. При этом необходимо иметь в виду, что не весь барабан полностью заполняется обжигаемым материалом, а лишь примерно 15% от его внутреннего объема.

Расход условного топлива во вращающейся печи составляет в среднем 25,0% от веса извести.

Повышенный расход топлива в описываемых печах обуславливается значительной потерей тепла с отходящими газами.

#### Преимущества и недостатки печей

Преимуществом вращающихся печей является возможность обжига в них мелкокускового известняка, а также известняка с малой механической прочностью, обжиг которого в нормальных шахтных печах невозможен. Кроме того, известь, полученная из вращающихся печей, отличается высоким качеством.

К недостаткам вращающихся печей относятся: большой расход металла; общая высокая стоимость установки; повышенный расход топлива на обжиг.

У нас, в СССР, вращающиеся печи для обжига известняка нашли пока единичное применение. За границей, и особенно в США, эти печи встречаются часто и применяются главным образом для больших производительностей порядка 100 т извести в сутки и выше. Длина таких печей достигает 80—120 м.

## Раздел V. ЭКСПЛОАТАЦИЯ ИЗВЕСТЕОБЖИГАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

### Глава 1. ОБЖИГ ИЗВЕСТНИКА В НАПОЛЬНЫХ ПЕЧАХ

#### 1) Печь для длиннопламенного топлива

В качестве топлива для обжига известняка в этих печах употребляются главным образом дрова и торф.

Эти виды топлива должны быть возможно более сухими, так как сырье дрова или торф плохо горят даже в специальных топочных устройствах и, естественно, будут гореть еще хуже в напольных печах, затягивая тем самым обжиг и вызывая большой перерасход топлива.

Дрова для обжига обычно выбираются двухметровые. Их закладывают в очелки и разжигают сухими щепками. С момента розжига печи отопление ее ведут круглые сутки.

Первые два-три дня в очелках поддерживают легкий огонь для постепенной просушки стенок печи и находящегося в ней известняка. Если сразу развести в очелках сильный огонь, то от быстрого нагрева стенки печи и очелковых каналов могут дать трещины, что может привести к частичному разрушению и заваливанию последних.

В период сушки известняка из печи сверху выходят пар и серый дым. Через 2–3 дня после розжига печи дым постепенно темнеет, что свидетельствует об окончании периода сушки.

После достаточного прогрева известняка печь переводят на „полужар“, а затем на „полный жар“, путем постепенного увеличения количества закладываемого в очелки топлива. В этот период, когда происходит собственно обжиг известняка, горение топлива должно быть сильным и равномерным по всем очелкам. Кочегар должен своевременно загружать топливо в очелки и ни в коем случае не допускать затухания топлива в отдельных очелках.

По мере того, как топливо в очелках разгорается, его нужно проталкивать железной кочергой в глубь очелковых каналов и на освободившееся место закладывать свежее топливо.

Воздух, необходимый для горения топлива, поступает в очелковые каналы через очелковые отверстия. Но если через открытый очелок поступает слишком много воздуха, то он охлаждает горящее топливо, вследствие чего горение ухудшается.

Во избежание этого необходимо прикрывать очелки снаружи железными листами, поставленными наклонно к плоскости стенки печи. Изменяя наклон железного листа и увеличивая

или уменьшая щели, образованные между стенкой печи и листом, можно регулировать подачу воздуха в очелки таким образом, чтобы горение было наиболее сильным.

Обжиг сильным жаром длится 5–7 дней, в зависимости от свойств известняка, величины печи и качества топлива. В этот период необходимо тщательно следить за сохранностью сводов, перекрывающих очелковые каналы. Во избежание разрушения очелковых каналов нельзя допускать, чтобы куски известняка, образующие каналы, накалились добела. Если это будет замечено, необходимо на некоторое время прекратить подачу топлива в эти очелки.

Горячие газы, образующиеся при сгорании топлива, распространяются по очелковым каналам, оттуда просачиваются кверху через неплотности и щели между отдельными кусками известняка в вертикальные каналы, по которым выходят из печи.

В начале обжига сильным жаром из каналов идет дым темно-серого цвета, но, по мере того как известняк обжигается, дым начинает светлеть и к концу обжига становится почти невидимым. К этому времени, ночью, наверху печи, над каналами видны огоньки зеленовато-голубого цвета. Купол над печью опускается и становится более плоским. Это происходит потому, что при обжиге куски известняка уменьшаются в объеме и содержимое печи несколько осаживается. Известняк в печи накаливается до светлокрасного цвета. Все эти признаки указывают, что обжиг известняка заканчивается.

Наблюдать за обжигом известняка нужно сверху печи через вертикальные каналы. Во время обжига надо следить за равномерностью накала известняка по всей площади печи. Регулирование обжига осуществляется следующим образом. Положим, что при наблюдении замечено, что в одном канале накал ярко-красный, а в соседнем — накал плохой. В этом случае канал, в котором виден яркий накал, надо заложить сверху большим куском известняка и замазать глиной. Тогда все горячие газы, раньше просачивавшиеся в этот канал, пойдут по соседнему, и известняк, который находится вблизи этого канала, получит дополнительное количество тепла и быстро накалится. После того как накал во втором канале станет ярким, первый канал надо вновь открыть. Просматривать каналы надо через каждые два часа в течение суток.

Во время обжига необходимо также осматривать глиносоловенную обмазку стен и верха печи. Если в обмазке появляются трещины, их необходимо немедленно промазывать глиной, так как через щели в печь проникает холодный воздух, который охлаждает известняк.

После того как обжиг считается законченным, прекращают загрузку топлива в очелки и ставят печь на охлаждение, так как горячую известь выгружать из печи невозможно. Охлаждение печи длится, в зависимости от времени года, от 1,5 до 3,0 суток.

## 2) Печь для короткопламенного топлива

В этих печах уголь загружается в печь послойно с известняком. Розжиг печи производится дровами, сжигаемыми в очелке. Когда уголь в печи разгорится, часть очелка закладывается кусками известняка, а через оставшееся свободное пространство в печь поступает воздух, необходимый для горения угля.

Обжиг заканчивается после того, как сгорит весь уголь, послойно загруженный в печь. При загрузке печи необходимо обращать особое внимание на правильную дозировку топлива, которая обычно определяется опытным путем (пробным обжигом) и зависит от свойств известняка, размеров и типа печи, а также качества топлива.

Наблюдение за процессом обжига и регулировка его производятся так же, как и для напольных печей, работающих на длиннопламенном топливе.

## Глава 2. ОБЖИГ ИЗВЕСТНИКА В КОЛЬЦЕВЫХ ПЕЧАХ

### 1) Устройство временных топок для розжига печи

Розжиг кольцевой печи производится помошью временных топок, выкладываемых в обжиговом канале. Обычно топки устраиваются на прямом участке канала, между первой и второй камерами, за закруглением, что объясняется необходимостью иметь в пусковой период наиболее длинный прямой участок канала, по которому продвижение пламени осуществляется легче и быстрее, чем на закруглениях.

При розжиге кольцевой печи кусковым торфом или углем выкладка топок осуществляется следующим образом (рис. 26).

В обжиговом канале, непосредственно у ходка (сзади него), выкладывается поперечная стенка толщиной в один кирпич. У пода канала в этой стенке оставляются три (по числу топок) проема шириной 0,5 м и высотой 0,4 м. Эти проемы служат для подвода воздуха под колосниковые решетки топок. На высоте 0,6 м от пода канала над проемами устраиваются вторые проемы, размером  $0,5 \times 0,5$  м, служащие для загрузки топлива в топки.

На расстоянии 1,5 м от первой поперечной стенки, параллельно ей, выкладывают вторую поперечную стенку, но в отличие от первой, выкладываемой до свода обжигового канала, вторая стенка выкладывается лишь на высоту 0,5—0,6 м.

Ширина топок принимается порядка 0,6 м. На уровне загрузочных проемов и второй поперечной стенки устанавливаются колосниковые решетки, площадь каждой из которых составляет  $0,6 \times 1,5$  м. От пода обжигового канала и до уровня колосниковых решеток между топками выкладываются продольные кирпичные стенки, ширина которых зависит от ширины обжигового канала.

Таким образом, все три топки имеют общее топочное пространство и раздельные объемы под колосниковыми решетками.

В том случае, когда для розжига печи употребляются хорошие сухие дрова, топки выкладываются упрощенного типа: выкладывается лишь сплошная поперечная кирпичная стенка с соответствующими проемами так, как это было указано выше. Отступя от этой стены на 1,5 м, приступают к садке известняка.

Таким образом, горение дров происходит непосредственно на поду обжигового канала, в пространстве между поперечной кирпичной стенкой и садкой.

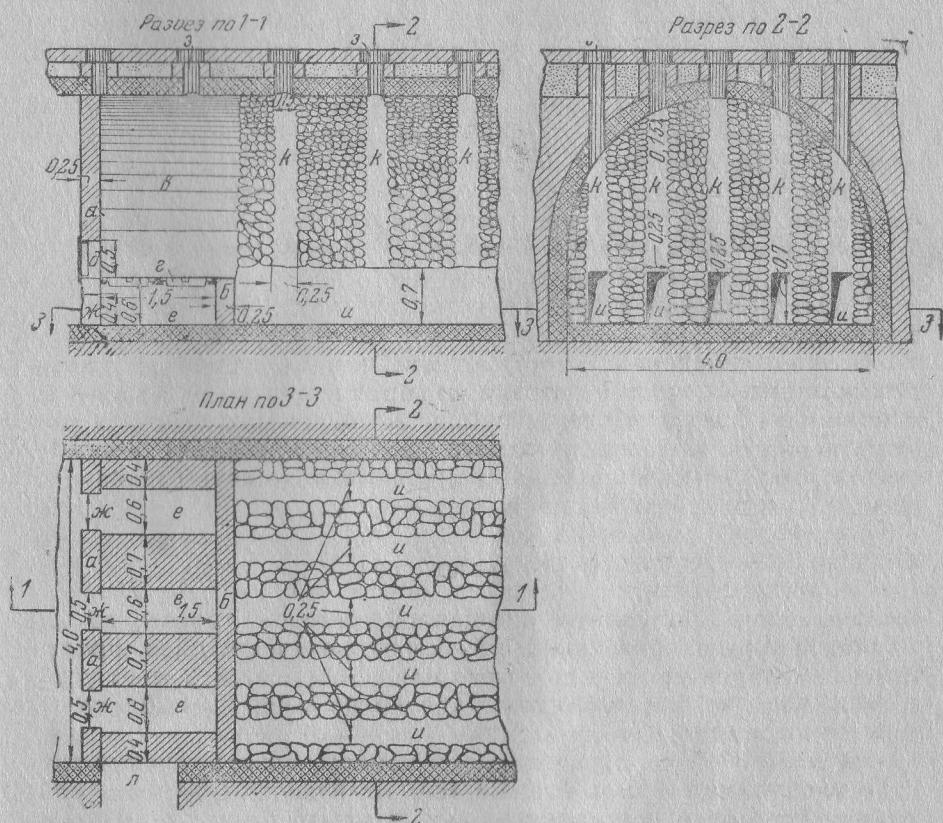


Рис. 26: *a*—передняя (фронтовая) поперечная стенка; *b*—задняя поперечная стенка; *v*—топочное пространство; *з*—колосниковые решетки; *d*—загрузочные проемы для топлива; *e*—зольники; *ж*—поддувальные проемы; *з*—топливные отверстия; *u*—подовые каналы; *к*—колодцы; *л*—ходок.

### 2) Садка известняка в печь

Садку известняка начинают сразу же за второй поперечной стенкой (если таковая выложена или—при упрощенной топке—отступя на 1,5 м от поперечной стенки). Для этой цели сперва выкладывают на поду обжигового канала, вдоль него, каналы шириной  $0,25$  и высотой  $0,7$  м. Кладка этих каналов произво-

дится насухо из крупных кусков известняка так же, как кладка очелковых каналов в напольных печах. Число параллельно выкладываемых каналов должно соответствовать числу топливных отверстий в одном поперечном ряде в своде обжигового канала. Для правильного определения места кладки подовых каналов через топливные отверстия опускают до пода обжигового канала деревянные шесты. Подовые каналы перекрывают кусками известняка, оставляя неперекрытыми лишь те участки их, которые приходятся под топливными отверстиями. В этих местах, т. е. вокруг опущенных шестов, выкладывают до верха обжигового канала вертикальные каналы (колодцы), в которые при обжиге через топливные отверстия загружается топливо.

Размеры колодца зависят от вида топлива; обычно внутренний диаметр его в верхней части делается не менее 0,15 м и в нижней части — 0,25 м. Колодцы, так же как и подовые каналы, выкладываются из крупных кусков известняка. Все остальное свободное пространство камеры заполняют горизонтальными рядами известняка, выбирая для этого по возможности одномерные куски средней величины. Более мелкие куски известняка укладываются в верхней части обжигового канала. Таким же путем производится садка известняка и в следующих камерах.

После заполнения камер известняком ходки заделываются двумя стенками, складываемыми из кирпича насухо (без раствора) с промежутком между ними около 0,3 м, засыпаемым для предохранения от подсоса холодного наружного воздуха в камеру песком, золой или пушонкой. Снаружи поверхность стенки промазывается глиной.

### 3) Розжиг печи

Если печь оборудована кирпичной дымовой трубой, то для улучшения тяги дымовую трубу перед розжигом печи предварительно прогревают. Для этой цели в борове, в 2 м от устья дымовой трубы, раскладывают костер из дров и сжигают их примерно около 1/2 м<sup>3</sup>.

Начиная с третьей загруженной камеры, позади каждой арки ставят на глине бумажные ширмы, отделяющие камеры одна от другой. После установки первой бумажной ширмы, одновременно с дальнейшей загрузкой известняка, разжигают топливо в топках и открывают в первой камере дымовой конус (остальные дымовые конусы должны быть закрыты).

Открытие дымового конуса производится постепенно, по мере розжига топлива в топках и прогрева известняка в первой камере. Часа через три после начала розжига дымовой конус в первой камере закрывают и постепенно открывают дымовой конус во второй камере.

Затем, еще через два часа закрывают дымовой конус во второй камере и открывают дымовой конус в третьей камере, перед первой установленной бумажной ширмой. После того

как известняк в первой от топок камере достаточно накалился (докрасна), приступают к подаче топлива через топливные отверстия, вначале небольшими порциями, сперва через первый поперечный ряд топливных отверстий, затем через второй ряд и т. д. Подача топлива продолжается до тех пор, пока весь известняк в первой камере не будет обожжен. Горячие продукты сгорания топлива из первой камеры поступают во вторую и третью камеры. Пройдя последнюю, они удаляются через открытый дымовой конус в сборный дымовой канал и затем в атмосферу, нагревая при своем продвижении по обжиговому каналу известняк, расположенный во второй и третьей камерах.

Как только известняк во второй камере накалился настолько, что топливо, поданное в эту камеру через топливные отверстия, начнет загораться, приступают к регулярной подаче топлива через топливные отверстия второй камеры.

Как и в первой камере, подачу топлива производят постепенно, начиная с первого поперечного ряда топливных отверстий. Далее приступают, аналогично предыдущему, к подаче топлива в третью, а затем и в последующие камеры.

Находящийся в третьей камере, перед бумажной ширмой, дымовой конус закрывают и открывают следующий по порядку конус (в четвертой камере). Бумажная ширма, больше уже не нужная, обычно сгорает сама; в противном случае ее зажигают пучком соломы из ближайшего топливного отверстия.

После того как приступят к загрузке топлива в шестую камеру, в первой камере разбирают топки и открывают ходок. Воздух поступает через открытый ходок в обжиговый канал и нагревается за счет охлаждения извести, находящейся в первых пяти камерах. Будучи нагрет, он обеспечивает лучшее сгорание топлива, загружаемого в шестую камеру. В первых камерах известь постепенно охлаждается, после чего приступают к ее выгрузке, начиная с первой камеры.

#### 4) Некоторые указания по эксплуатации печи

Из вышеописанного видно, что в кольцевых печах, так же как и в шахтных, существуют три зоны: подогрева, обжига и охлаждения.

Разница в способе обжига заключается в том, что в шахтных печах зоны остаются на месте, а обжигаемый материал, двигаясь, последовательно проходит все три зоны. В кольцевых же печах обжигаемый материал остается в неподвижном состоянии, а зоны постепенно передвигаются.

Скорость обжига в кольцевых печах определяется скоростью продвижения огня в метрах в сутки. Под скоростью продвижения огня понимается число метров обжигового канала, на длине которых в течение суток был произведен обжиг известняка. Так, например, если в течение трех суток зона обжига переместилась вперед на пять камер, а длина каждой камеры 6,0 м, то скорость продвижения огня составила

$$\frac{5 \cdot 6}{3} = 10 \text{ м/сутки.}$$

Скорость продвижения огня, определяющая интенсивность обжига и, в конечном итоге, производительность печи, зависит от тяги в последней и обслуживания печи.

Так, при хорошей и правильной садке известняка можно увеличить скорость продвижения огня. Того же самого можно достичнуть при аккуратной подаче топлива в печь — при загрузке его более мелкими порциями, но через более короткие промежутки времени. Нормально скорость продвижения огня колеблется в пределах 7—10 м в сутки. Известны случаи, когда при стахановском обслуживании печи эта скорость доходила до 14 м/сутки.

При нормальном, установившемся режиме обжига в кольцевой печи может быть рекомендовано следующее распределение камер по зонам (для 16-камерной печи):

1. Подогрев . . . . .	6 камер
2. Обжиг . . . . .	2 камеры
3. Остывание . . . . .	4 камеры
Итого . . . . .	12 камер

Кроме того, одна камера будет находиться под загрузкой, одна — под выгрузкой и две — в резерве.

Указанное выше распределение камер по зонам может несколько меняться в ту или иную сторону в зависимости от свойств сырья, сорта применяемого топлива и т. д. Так, например, если создается опасность пережога извести, то за счет уменьшения температуры обжига желательно удлинить зону обжига.

Длина зоны подогрева зависит от вида применяемого для обжига топлива: длиннопламенные виды топлива дают удлиненный факел горения, в силу чего для лучшего использования тепла желательно иметь впереди камеры, в которую подают топливо, т. е. впереди зоны обжига, не менее 6—7 камер на подогреве известняка.

Чем меньше летучих горючих в топливе, тем меньшее число камер можно оставлять на подогреве. Нельзя оставлять слишком много камер на охлаждении, так как известь, поглощая влагу из проходящего через нее наружного воздуха, будет гаситься, рассыпаясь при этом в мелкие куски и порошок. Особенно заметно это явление в сырую погоду. В силу этого обстоятельства разгрузку камер после обжига необходимо производить как можно раньше, не ожидая полного охлаждения извести.

В больших кольцевых печах, имеющих 28 и больше камер, обжиг известняка следует вести параллельно — в каждой половине печи отдельно.

В этом случае печь будет работать, как говорят, на два огня, и выпуск продукции при этом удвоится.

Горячие газообразные продукты, образующиеся в результате сгорания топлива, имеют стремление подниматься вверх и ити по верху обжигового канала. Равномерность обжига известняка

по поперечному сечению обжигового канала может при этом пострадать.

В силу изложенного садка известняка в кольцевой печи должна осуществляться таким образом, чтобы наибольшее сопротивление прохождению газообразных продуктов было создано наверху и наименьшее — внизу обжигового канала. Это достигается тем, что наверху садка делается более плотной — с применением более мелких кусков известняка, размер которых, по мере опускания вниз, увеличивается.

Особое внимание при садке надо обращать на то, чтобы на любом уровне по высоте обжигового канала не находились куски различной величины, так как это неминуемо приведет к неравномерности обжига.

Регулирование процесса обжига в кольцевых печах производится изменением силы тяги, осуществляемым помошью дымовых конусов. В тех случаях, когда один, полностью поднятый, конус, не обеспечивает необходимой тяги и, следовательно, соответствующей скорости движения газообразных продуктов в обжиговом канале, прибегают к частичному открытию второго, более близкого к зоне обжига конуса.

Большое значение для правильного режима обжига и экономного расходования топлива имеет подача последнего в зону обжига.

Загрузка топлива в топливные отверстия должна производиться не более чем в пять поперечных рядов одновременно, причем наибольшее количество топлива подается в первый ряд топочных отверстий, и по мере приближения к пятому ряду количество загружаемого топлива уменьшается.

Необходимость такого распределения топлива по рядам вызывается тем, что по мере продвижения воздуха по зоне обжига кислород его постепенно тратится на горение топлива, в силу чего к топливу, загруженному в первые ряды, кислорода поступает значительно больше, нежели к топливу, загруженному в последние ряды.

В силу этого же обстоятельства не рекомендуется, как это уже было указано выше, загружать топливо более чем в пять рядов топливных отверстий одновременно. В этом случае из-за недостатка кислорода топливо, загруженное в последние ряды, будет газифицироваться с выделением горючих газов, которые, не сгорая, будут уходить в трубу, отчего, в конечном итоге, увеличится расход топлива на обжиг.

Перед загрузкой топлива необходимо проверять, сгорела ли полностью предыдущая порция загруженного топлива, и если будет обнаружено, что топливо еще не сгорело, то лучше пропустить очередную загрузку топлива в эти топливные отверстия. Вместе с тем нужно стремиться к возможно более равномерной подаче топлива в зону обжига. Это достигается при загрузке небольших количеств топлива, но через более короткие промежутки времени.

Наибольшее количество золы скапливается на полу камеры, в подовых каналах, благодаря чему доступ воздуха, особенно при многозольном топливе, в этих местах затрудняется.

Для улучшения подвода воздуха в нижнюю часть камеры, где вместе с золой остается несгоревшее топливо, в зоне обжига, в нижней части закрытых ходков, пробивают отверстия  $200 \times 200$  мм, что способствует более полному догоранию несгоревшего топлива.

Окончание обжига известняка в кольцевых печах определяется по цвету накала и по усадке известняка в камере. Усадку измеряют специальной измерительной рейкой в каждом ряде топливных отверстий. Измерение производят через каждые два часа, определяя расстояние от верхнего уровня топливных трубочек и до поверхности обжигаемого материала в камере.

По мере обжига это расстояние увеличивается, и, когда оно достигнет установленной практикой величины, обжиг считается законченным.

### Глава 3. ОБЖИГ ИЗВЕСТНИКА В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ

#### 1) Просушка печи

Вновь выстроенная или вышедшая из капитального ремонта шахтная печь должна быть перед вводом ее в эксплуатацию просушена; в противном случае при быстром подъеме температуры в печи кладка ее растрескается, и печь очень скоро придет в негодное состояние.

Просушка печи, в зависимости от массивности кладки, толщины швов и условий ее постройки, длится от 10 до 20 суток. Наиболее длительный срок сушки принимается для печей, имеющих массивную кладку и выстроенных в осенне или зимнее время.

Перед началом сушки необходимо заложить известняком все металлические части, находящиеся внизу шахты печи (выгрузной механизм, устройство для ввода воздуха в шахту). Просушка печи ведется на дровах, причем в первый период сушки для этой цели выбираются наиболее крупные и влажные поленья, с тем чтобы горение было слабым. Костер из дров выкладывается в середине шахты на известняке, которым была заложена ее нижняя часть.

В печах с выносными топками дрова, помимо шахты, сжигают также и в топках.

В течение всего первого периода сушки загрузочное устройство печи и дымовая труба должны быть полностью открыты. Впуск воздуха в шахту производится через открытые выгрузные окна.

Температура в печи в этот период, который длится 3–5 суток, не должна превышать  $100^{\circ}$  (на выходе продуктов горения из шахты).

Длительность второго периода сушки та же; в этот период загрузочное устройство печи закрывают и температуру газов

на выходе из шахты доводят до  $150$ – $200^{\circ}$ . Для этой цели увеличивают количество сжигаемых дров и уменьшают поступление воздуха в шахту прикрытием дверец выгрузных окон.

В третий период сушки, который длится 4–10 суток, температуру на выходе газов из шахты постепенно повышают, доводя ее к концу сушки до  $400$ – $500^{\circ}$ , после чего сушка считается законченной и печь ставят на охлаждение.

Охлаждение печи производится, так же как и сушка, постепенно — ни в коем случае нельзя резко снижать температуру в шахте. Обычно охлаждение печи длится в зависимости от времени года: летом 2–3 суток, зимой 3–4 суток. Первые сутки печь охлаждается при закрытых гляделках, загрузочном устройстве и выгрузных окнах. На вторые сутки гляделки и выгрузные окна слегка приоткрываются до окончательного охлаждения печи, после чего приступают к загрузке шахты известняком. Продувку шахты вентилятором (или включение дымососа) в период остывания печи ни в коем случае допускать нельзя.

#### A. Пересипные печи

##### 1) Первоначальная загрузка печи

Первоначальная загрузка печи должна производиться известняком с величиной кусков 120–150 мм в поперечнике, с небольшими отклонениями в ту или другую сторону. Размер кусков антрацита выбирается при этом в пределах 40–60 мм в поперечнике.

Особое внимание нужно обратить на то, чтобы известняк не был засорен посторонними глинистыми и песчаными примесями, а топливо — землей, так как и то и другое способствует при обжиге образованию зависаний материала в шахте.

Первоначальная загрузка печи производится вручную по следующим соображениям: 1) Нельзя бросать известняк и антрацит с высоты всей шахты, так как при этом может быть повреждена огнеупорная футеровка печи. 2) При загрузке с большой высоты нельзя добиться равномерного распределения известняка и антрацита, последнее же обстоятельство имеет весьма существенное значение для успешного пуска печи. 3) При первоначальной загрузке печи в целях предохранения футеровки от оплавления и порчи нельзя допускать, чтобы антрацит соприкасался с ней. Для этой цели вокруг футеровки делают обкладку из известняка шириной 150–200 мм, что может быть осуществлено только при ручной загрузке. При ручной загрузке рабочие проникают в шахту печи через выгрузные окна. Известняк и топливо спускают в шахту в коробах (помощью крана-укосины или блока с ручной лебедкой и т. д.).

Загрузка ручным способом доводится до уровня, находящегося на 4 м ниже нормального уровня загрузки известняка в шахте, после чего рабочие из шахты удаляются, и дальнейшая загрузка ведется обычным, принятым для печи способом.

Порядок ведения первоначальной загрузки печи следующий: зону охлаждения шахты (т. е. примерно на 3 м вверх от нижнего уровня шахты) загружают одним известняком. Для печей, оборудованных выгрузным механизмом системы Иссерлиса, во избежание поломки турникета, зону охлаждения желательно заполнять более мягким материалом — известью или недожогом.

Сверху загруженного известняка укладывают слой дров толщиной 500—700 мм (в зависимости от породы и влажности дров). Дрова необходимо выкладывать с таким расчетом, чтобы подошва дровяной кладки совпадала с уровнем гляделок. Со стороны гляделок в дровяной кладке следует сделать четыре канала (по числу гляделок) сечением 250×250 мм, направленных к центру шахты. В эти каналы закладывают легковоспламеняющиеся материалы: смоченные керосином сухие крупные щепки, стружки и паклю, которые при розжиге печи поджигаются через гляделки. Поверх дров укладывается слой известняка толщиной 200 мм, а затем последовательно слой антрацита, слой известняка и т. д.

При загрузке антрацита необходимо следить, чтобы куски его не соприкасались с футеровкой шахты и отстояли от нее на расстоянии 150—200 мм. Так как в первое время часть тепла сжигаемого топлива пойдет на прогрев холодной кладки печи, антрацит загружается в большем количестве, чем это требуется при нормальной эксплоатации. Так, например, при антраците марки „АС“ последний загружается в количестве 15% от веса известняка. Такая дозировка топлива производится до тех пор, пока шахта не будет загружена на половину всей ее высоты. При загрузке второй половины шахты антрацит дается в количестве 12% от веса известняка. Лишь после того как печь будет работать нормально, количество антрацита уменьшают также до нормальной величины.

После того как печь будет загружена, приступают к розжигу ее.

## 2) Розжиг печи

Перед розжигом предварительно открывают все имеющиеся в печи гляделки, а также загрузочное устройство, шибер дымовой трубы и дверцы выгрузных окон. После этого зажигают (через гляделки) заложенные в каналах дровяной кладки легковоспламеняющиеся материалы.

По мере того как дым начнет пробиваться через следующий (по высоте шахты) ряд гляделок, их закрывают, наблюдая за появлением дыма в следующем ряде, после чего их также закрывают. В момент появления дыма в загрузочном устройстве его также необходимо закрыть.

В тех случаях, когда печь оборудована искусственной тягой, при сильном выбывании дыма можно на несколько минут пускать в ход дымососную установку, прикрывая шибер дымовой трубы с таким расчетом, чтобы разрежение в печи было

небольшим. При пуске дымососной установки необходимо закрыть все гляделки и загрузочное устройство и вновь открыть их при остановке дымососа.

К моменту окончания горения дров антрацит в печи должен хорошо разгореться и известняк, загруженный первым над дровами слоем, приобрести ровный накал вишневокрасного цвета.

Благодаря сгоранию дров и первого слоя антрацита содержимое шахты осадет — поэтому ее следует догрузить известняком и топливом. При догрузке количество антрацита может быть снижено до 10% от веса известняка.

После догрузки печи приступают к первой выгрузке из нее, с целью „пошевелить“ содержимое шахты. Спустя 4—5 часов после первой выгрузки приступают к регулярной разгрузке печи, пуская в ход (если он имеется) автоматический выгрузной механизм вначале на наименьшую скорость или же включая его в работу периодически с таким расчетом, чтобы накал в печи не ослабевал от слишком быстрой выгрузки материала.

Сначала из печи будет выгружаться известняк, и слабо обожженная известь, которые с успехом могут быть вновь загружены в печь. В дальнейшем качество извести постепенно улучшается, и, когда из печи будет выходить нормально обожженная известь (при соответствующей производительности печи), пусковой период считается законченным, и печь передается в нормальную эксплоатацию.

В пусковой период необходимо особенно тщательно наблюдать за процессом обжига через гляделки. Если в первом ряде гляделок виден яркий светложелтый накал известняка, без наличия темных пятен, то это показывает, что по всему поперечному сечению шахты известняк обожжен более или менее равномерно и полно. Если же в первом ряде гляделок наблюдается много темных пятен, то выгрузку из печи следует прекратить впредь до исчезновения этих пятен, свидетельствующих о наличии недостаточно хорошо обожженных кусков известняка.

Также внимательно необходимо наблюдать за цветом накала в верхнем ряде гляделок, и если здесь будет обнаружен красный цвет накала, нужно увеличить выгрузку извести из печи. Допускать развитие высоких температур вверху шахты (растягивать зону обжига) не следует, так как это вызывает лишний расход топлива за счет увеличения потери тепла с горячими отходящими газами.

## 3) Эксплоатация печи

**Сортировка известняка.** Известняк перед загрузкой в печь должен быть тщательно отсортирован как по качеству, так и по величине кусков. Известняк с примесью песка или глины, обнаруживаемых на-глаз, необходимо отсортировывать, так как в противном случае при нормальной температуре

обжига ( $1100^{\circ}$ ) он размягчается, следствием чего может быть приваривание его к футеровке и зависание в шахте.

В пересыпных печах, в зависимости от побудителей тяги, величина кусков известняка, загружаемого в шахту, колеблется в пределах 80—200 мм в поперечнике.

Так как куски различной величины требуют различного времени для обжига, то при одновременной загрузке в печь и крупных и мелких кусков, в конечном итоге, может получиться или недожог первых, или пережог вторых.

Кроме того, при такой загрузке мелкие куски, заполняя промежутки, образовавшиеся между крупными кусками, создают значительное сопротивление прохождению газообразных продуктов горения топлива, вследствие чего тяга в печи нарушается.

Исходя из всего вышеизложенного, необходимо стремиться к загрузке в печь по возможности одномерных кусков известняка. При наличии на заводе двух и более печей весь известняк с размерами кусков 80—200 мм в поперечнике желательно рассортировать на две или более фракции (например, 80—120 мм, 120—160 мм и 160—200 мм в поперечнике) и обжигать их в печах раздельно.

Подобное мероприятие значительно увеличит общую производительность печей, улучшит качество продукции и сократит расход топлива.

Мелочь до 80 мм в поперечнике обжигается в специальных печах, и загрузка ее в нормальные шахтные печи не рекомендуется.

Загрузка известняка в печь. Необходимо следить, чтобы печь была всегда полностью загружена известняком, ни в коем случае не допуская опускания уровня загрузки известняка и оголения футеровки. При недогруженной шахте температура отходящих газов повышается, увеличивается количество тепла, выбрасываемого в атмосферу, и, следовательно, увеличивается расход топлива. Футеровка незагруженной части шахты перегревается, и при загрузке большого количества холодного известняка сразу (при необходимости заполнить печь) происходит резкое охлаждение этой части футеровки, что вызывает порчу ее.

Холодный известняк не успеет как следует прогреться, прежде чем попадет в зону обжига, — обжиг известняка будет неполным, и процент недожога в выгружаемой извести увеличится.

Если выгрузка извести производится непрерывно (при автоматической выгрузке), загрузка печи должна производиться равномерно, через определенные промежутки времени. При ручной или периодической автоматической выгрузке необходимо перед началом ее проверить уровень известняка в печи и в случае необходимости догрузить печь полностью. Сейчас же после окончания выгрузки нужно произвести догрузку печи известняком.

Ручная выгрузка извести из печи. Ручная выгрузка производится периодически, через определенные промежутки времени. При ручной выгрузке нельзя сокращать число выгрузок за счет увеличения количества извести, выгружаемой за один раз.

Известь из печи должна выгружаться не реже чем один раз в 2 часа, так как в противном случае возможно сваривание задержавшейся в зоне обжига извести и образование зависаний.

Выгрузку извести необходимо производить из всех выгрузочных отверстий печи одновременно и возможно более равными количествами из каждого; это необходимо для правильной осадки содержимого шахты и во избежание образования перекосов огня и неравномерного обжига известняка по поперечному сечению шахты.

После каждой выгрузки необходимо убедиться, что уровень известняка в шахте опустился. Если же уровень известняка на верху печи не понизился, значит где-нибудь в шахте образовалось зависание обжигаемого материала.

Ввиду того, что через выгрузные отверстия, снабженные дверцами, при отсутствии искусственного дутья подается воздух, необходимый для горения топлива, после выгрузки извести необходимо дверцы восстановить в том положении, какое они занимали до выгрузки.

Если воздух подается в печь вентилятором, то после выгрузки дверцы необходимо плотно закрыть.

Автоматическая выгрузка извести из печи. При автоматической выгрузке необходимо следить за правильной осадкой содержимого шахты и во-время производить ее догрузку. Как правило, автоматическая выгрузка должна работать непрерывно, но если при непрерывной работе выгрузка опережает обжиг и невозможно отрегулировать ее на меньшую производительность, ее включают периодически и поступают так же, как и при ручной выгрузке.

Сортировка топлива. Как уже указывалось выше, в пересыпных печах в качестве топлива употребляются кокс и главным образом антрацит, имеющий преимущественное значение для пересыпных печей. При правильном режиме обжига антрацит, опускаясь вместе с известняком вниз по шахте, проходит зону подогрева и зону обжига, где, на границе с зоной охлаждения, он догорает.

В этом случае скорость опускания антрацита в зонах подогрева и обжига должна соответствовать скорости его сгорания, которая в свою очередь будет зависеть от величины кусков антрацита. Если куски антрацита будут меньше, чем нужно, то они сгорят далеко от зоны охлаждения, и нижняя часть зоны обжига не получит необходимого количества тепла: обжиг известняка будет неполным, и процент недожога в готовой продукции возрастет.

Если размер кусков антрацита будет больше, чем нужно, то они не успеют сгореть в зоне обжига и перейдут в зону

охлаждения. В этом случае часть несгоревшего антрацита будет выгружена вместе с известью. Расход топлива при этом увеличится, известь выйдет из печи более горячей и засореной несгоревшими кусками антрацита.

Из сказанного ясно, что если загружать в печь несортированное топливо, т. е. большие и мелкие куски вместе, то мелочь сгорит раньше, чем нужно, а крупные куски не смогут полностью обеспечить теплом зону обжига; в результате получится недожог, и вместе с тем увеличится расход топлива.

Наиболее выгодная величина кусков антрацита должна быть установлена практическим путем, так как она в значительной мере зависит от величины кусков известняка и производительности печи (вернее, объемного напряжения ее), а также высоты шахты. Чем мельче куски топлива, тем быстрее они должны опускаться по шахте, тем, следовательно, быстрее должен проходить через шахту известняк. Чем быстрее должен опускаться известняк по шахте, тем, следовательно, быстрее он должен обжигаться, а это возможно только при более мелких кусках известняка.

Таким образом, чем мельче куски известняка, тем меньше могут быть куски топлива и наоборот. В качестве средней величины можно рекомендовать куски антрацита размером 40—60 мм в поперечнике.

Таким образом сортировка топлива по величине кусков перед загрузкой его в печь является обязательной и должна производиться с учетом всего сказанного выше.

Загрузка топлива в печь. Существуют два способа загрузки топлива в печь:

1) когда антрацит предварительно смешивается в определенной пропорции с известняком и затем уже готовая смесь загружается в печь;

2) когда антрацит загружается отдельно, чередуясь послойно с известняком.

Первый способ хорош при условии тщательного перемешивания антрацита с известняком. Второй способ более прост и надежен, в силу чего более применим на практике.

Для того чтобы производить более или менее точную дозировку известняка и топлива, нужно в первую очередь определить их объемные веса. Делается это следующим образом. Предположим, что загрузка печи производится ковшом скрапового подъемника или вагонеткой и емкость их составляет, например, по 0,5 м<sup>3</sup>. Вагонетку (или ковш) заполняют до краев отсортированным и приготовленным для загрузки в печь известняком, и затем все количество известняка, уместившегося в вагонетку (или ковш), взвешивают.

Для большей точности повторяют эту операцию с новой порцией известняка несколько раз. Предположим, что четыре взвешивания дали следующие результаты: 750 кг, 720 кг, 745 кг.

и 737 кг, тогда средний вес известняка в вагонетке составит:

$$\frac{750 + 720 + 745 + 737}{4} = \frac{2952}{4} = 738 \text{ кг},$$

а так как емкость вагонетки 0,5 м<sup>3</sup>, то вес известняка в объеме 1 м<sup>3</sup>, или, как говорят, насыпной вес известняка, составит:

$$\frac{738}{0,5} = 1476 \text{ кг/м}^3.$$

Таким же путем определяют насыпной вес антрацита, который в среднем составляет 900 кг/м<sup>3</sup>.

Зная расход антрацита, который в среднем составляет около 10% от веса известняка, уже легко составить нужную смесь. Действительно, в одну вагонетку или ковш емкостью 0,5 м<sup>3</sup> входит 1476 · 0,5 = 738 кг известняка. На это количество сырья требуется 738 · 0,1 = 73,8 кг антрацита. Так как 1 вагонетка антрацита весит

$$900 \cdot 0,5 = 450 \text{ кг},$$

то 73,8 кг антрацита соответствуют

$$\frac{73,8}{450} = 0,164 \text{ объема вагонетки.}$$

Таким образом, на одну вагонетку известняка требуется 0,164 вагонетки антрацита, или на шесть вагонеток известняка — 0,164 · 6 = 0,984, или приблизительно одна вагонетка антрацита.

При загрузке топлива раздельно от известняка необходимо распределять его возможно равномернее по сечению шахты. Ни в коем случае нельзя допускать скопления топлива в отдельных местах шахты, так как при этом образуются местные очаги горения, температура в этих местах резко повышается, что приводит к пережогу и сплавлению там известия.

Особенно опасно скопление топлива у футеровки. В этом случае известь может привариться к футеровке, что влечет за собой нарушение правильной осадки содержимого шахты и зависания материала. Для предупреждения подобных явлений, в случае загрузки скрапом, загрузочное устройство печи оборудуется специальным конусом, более или менее равномерно распределяющим известняк и топливо по поперечному сечению шахты.

Если же загрузка печи осуществляется вагонетками, то топливо необходимо загружать вручную — совком или лопатой, распределяя его возможно более равномерным по толщине слоем. Лучше всего загружать топливо кольцами по сечению шахты, отступая от футеровки на 150—200 мм.

Не рекомендуется загружать топливо в самый центр шахты, так как при постепенном опускании содержимого шахты куски топлива сами имеют стремление стянуться к центру, что и обеспечивает прожиг известняка, находящегося в центральной части шахты.

Нельзя производить дозировку известняка и топлива большими порциями, т. е. загружать в печь сначала большое количество известняка, а затем пропорциональное количество топлива. При такой загрузке в шахте образуются толстые слои топлива, отделенные друг от друга очень толстыми слоями известняка.

Как уже указывалось выше, антрацит и кокс, являясь короткопламенными видами топлива, горят почти без пламени, развивая жар главным образом в самом горящем слое. Поэтому чем больше поверхность соприкосновения топлива с известняком, тем лучше идет передача тепла от горящего топлива к известняку.

С увеличением толщины слоя топлива поверхность его соприкосновения с известняком не увеличивается, а следовательно, и передача тепла от топлива к известняку не возрастает. Это приводит к тому, что в толстом слое топлива развивается очень высокая температура и создается большой избыток тепла.

Известняк, соприкасающийся с таким слоем топлива, быстро превращается в известь, которая пережигается и оплавляется. Так как тепло топлива расходуется в этом случае на пережог и оплавление извести, то вышележащие слои известняка получают его в недостаточном количестве и оказываются недожженными. В результате получается неравномерный обжиг, и в готовой продукции наряду с хорошо обожженной будет присутствовать недожженная или пережженная известь.

Кроме того, оплавление извести может принять такие размеры, что начнется ее спекание и образование зависания материала.

Количества известняка и топлива, загружаемых за один раз, не могут быть точно установлены, так как это зависит от производительности печи и внутреннего диаметра шахты. Следует стремиться к тому, чтобы толщины прослоек известняка и топлива были по возможности меньше за счет их более частого чередования.

С этой целью на некоторых заводах при послойной загрузке ковш скрапового подъемника не заполняют известняком до краев, оставляя сверху немного места для антрацита, который подсыпают в каждый ковш поверх известняка в заранее вымеренном количестве.

#### 4) Неполадки в работе печи, причины и способы их устранения

В процессе эксплоатации печей подчас наблюдаются те или иные отклонения от нормального, установившегося режима, могущие повлечь за собой пересход топлива или ухудшение качества продукции.

Ниже приводится перечень наиболее часто возникающих неполадок в работе пересыпных печей и указываются причины возникновения и способы устранения их.

Перемещение зоны обжига вверх по шахте. Это явление характеризуется увеличением накала известняка в верхних рядах гляделок и повышением температуры отходящих газов.

Высота зоны подогрева при этом сокращается, что влечет за собой недостаточный подогрев известняка перед его поступлением в зону обжига и неполный обжиг известняка в последней. Процент недожога в готовой продукции при этом увеличивается.

Кроме того, с увеличением температуры отходящих газов возрастает расход топлива на обжиг.

Причиной поднятия зоны обжига является применение слишком мелких кусков топлива. Если температура отходящих газов поднялась слишком высоко и грозит целости металлических частей, расположенных в верхней части шахты, необходимо произвести добавочную отгрузку извести, а на образовавшееся свободное пространство загрузить известняк без топлива. Тягу в печи необходимо уменьшить (прикрытием шибера на дымовой трубе или переключением печи при наличии дымососа на естественную тягу). Затем нужно перейти на более крупные куски топлива.

По восстановлении зоны обжига на прежнее место переходят на нормальный режим работы.

Перемещение зоны обжига вниз по шахте. Это явление характеризуется повышением температуры выгружающей из печи извести и выходом несгоревших, раскаленных кусков топлива, что, в конечном счете, влечет за собой повышение расхода топлива.

Опускание зоны обжига происходит из-за слишком больших размеров кусков загружаемого в печь топлива. Ввиду того, что раскаленные известь и топливо могут попортить металлические части, расположенные в нижней части шахты, необходимо прекратить выгрузку извести и пустить как можно больше воздуха в зону охлаждения печи. После того, как известь остывает, можно начать выгрузку ее из печи и перейти на более мелкие куски топлива.

Перекос зоны обжига. Это явление характеризуется тем, что горение топлива происходит заметно больше и сильнее с одной из сторон шахты, что вызывает неравномерность обжига известняка.

Перекос зоны обжига в большинстве случаев является следствием неравномерной загрузки топлива по сечению шахты или слишком большой разницы в размерах кусков известняка и топлива. При этом более мелкие куски топлива, попадая между крупными кусками известняка, быстрее опускаются вниз по шахте.

Для устранения перекоса необходимо увеличить отгрузку извести с той стороны шахты, где горение топлива происходит на более высоком уровне (по высоте шахты). При автоматической выгрузке это может быть осуществлено дополнительной

ручной выгрузкой извести через один из выгрузных люков. Затем нужно или уменьшить величину кусков известняка, или увеличить размер кусков топлива и проверить правильность и равномерность загрузки его по сечению шахты. При этом общую выгрузку извести из печи желательно увеличить, чтобы возможно скорее ликвидировать перекос огня.

Сильное удлинение вверх зоны обжига. Если при этом нижняя граница зоны обжига не смешена и накал известняка очень сильный, то удлинение зоны обжига происходит из-за недостаточной выгрузки извести или вследствие увеличенной подачи топлива в печь. Необходимо в первую очередь увеличить отгрузку извести из печи и затем немного уменьшить количество топлива, загружаемого в печь.

Последнее мероприятие нужно проводить с большой осторожностью и лишь после того, как увеличенная выгрузка извести из печи не даст желаемых результатов или приведет к другим отрицательным явлениям.

Если накал известняка при растягивании зоны обжига вверх недостаточно ярок для нормального обжига, то причиной этому может быть слишком большое количество воздуха, поступающего в шахту. Большой избыток воздуха понижает температуру в зоне обжига и вместе с тем способствует загоранию топлива на значительной высоте по шахте. Вследствие этого концентрированная зона обжига отсутствует, топливо горит вяло, температура в печи не поднимается до необходимой величины и обжиг известняка происходит недостаточно полно.

Для ликвидации этого явления необходимо уменьшить подачу воздуха в шахту (прикрытием шиберов в дымососной установке или на воздухопроводе для подачи воздуха в шахту).

Плохая осадка содержимого шахты. Это явление почти всегда предшествует образованию зависания материала в шахте. Если замечено, что при выгрузке извести содержимое шахты плохо опускается вниз (что видно по верхнему уровню известняка в шахте), то необходимо его, как говорят, „встряхнуть“. Для этого из люков для ручной выгрузки выгребают известь, стараясь подкопаться к центру шахты с таким расчетом, чтобы образовалось нависание извести. Затем сильными толчками разрушают это нависание. Известь оседает, заполняя образованные пустоты, и происходит резкий сдвиг материала по всей высоте шахты.

Разрушение нависания извести необходимо производить одновременно во всех люках (если таковых имеется в печи несколько).

Зависание материала в шахте. Это явление одно из самых нежелательных в работе печи и происходит исключительно по недосмотру обслуживающего печь персонала. О причинах образования зависания в шахте было уже достаточно сказано выше.

При зависании материала необходимо постараться разбить его ломами через гляделки печи. Если это сделать не удается,

то нужно прекратить выгрузку извести и загрузку печи известняком и топливом и открыть все гляделки. В случае, когда печь оборудована вентиляторной установкой для подачи воздуха или дымососом, пустить их в действие. По истечении некоторого времени (иногда до двух суток) печь охладится, и зависание разрушится само собой. После этого постепенно восстанавливаются прежний режим печи.

К описанному способу ликвидации зависания следует прибегать только в исключительных случаях, при абсолютной невозможности разбить его ломами, так как при этом теряется очень много тепла и после длительного охлаждения печи требуется много времени для восстановления нормального режима.

## B. Газовые печи

### 1) Первоначальная загрузка печи

Первоначальная загрузка газовых печей производится так же, как и пересыпных, с той только разницей, что антрацит дозируется в количестве 12% от веса известняка и послойная загрузка его доводится до уровня, отстоящего на 4 м от нормального уровня загрузки известняка в шахте. Вся остальная часть шахты догружается одним известняком, без топлива.

При отсутствии антрацита его можно заменить дровами. В этом случае над слоем известняка или извести, которыми заполняется зона охлаждения печи, выкладывается слой дров толщиной 1,0 м с устройством каналов для розжига печи (так же, как при первоначальной загрузке пересыпной печи). Над слоем дров вперемежку укладываются известняк и дрова до того же уровня, что и при применении антрацита.

Дозировка дров производится по весу—примерно 30% от веса известняка, причем внизу закладывается большее количество дров, которое по мере загрузки шахты уменьшается.

### 2) Розжиг печи

Розжиг газовой печи осуществляется так же, как и пересыпной. Одновременно с розжигом печи через гляделки разжигают дрова в топках, поддерживая в них вначале слабый огонь. К моменту, когда топливо в шахте хорошо разгорится и на уровне газовых окон накал известняка станет темнокрасным, закрывают поочередно все ряды гляделок в шахте, а в топках разводят сильный огонь, ведя в них процесс полного сгорания топлива и перейдя с дров на то топливо, которое принято для постоянной работы печи в дальнейшем.

В течение этого периода нужно произвести 1—2 незначительных выгрузки материала из печи, с целью несколько „попшевелить“ содержимое шахты, во избежание образования в ней зависания материала.

Когда топки и газоходы, а также известняк в зоне обжига, хорошо прокалятся, то переводят печь на соответствующий ей нормальный режим.

В случае, если печь оборудована топками полного сгорания, приступают к регулярной выгрузке извести из печи. При наличии полугазовых топок (или газогенераторов) предварительно переводят их на соответствующий режим, путем постепенного увеличения слоя топлива на колосниковых решетках и регулировки подачи воздуха под них.

Газ, поступающий из полугазовых топок или газогенераторов, при наличии раскаленной массы известняка (и соответствующего количества воздуха) будет хорошо сгорать в зоне обжига.

Наилучшим режимом печи следует считать такой, при котором через гляделки у газовых окон видно туманное красно-желтое пламя. Нельзя допускать в этих местах острого ярко-светлого пламени, вредно влияющего на шамотную кладку газовых окон.

Необходимо наблюдать через гляделки против газовых окон за тем, чтобы слой известняка в этом месте имел ровный и яркий накал. Если раскаленный материал просвечивает темными пятнами, то это говорит за то, что еще имеется недообожженный известняк.

После 8—10 часов работы печи на полугазовом или газовом режиме приступают к регулярной выгрузке извести из печи, постепенно увеличивая общее количество выгружаемой за сутки продукции. Если в первые дни при выгрузке накал известняка будет темнеть, выгрузку необходимо прекращать (или сокращать количество выгружаемой извести) впредь до восстановления яркого накала в зоне обжига.

Когда из печи будет выходить нормально обожженная известь при соответствующей производительности, пусковой период считается законченным, и печь передается в нормальную эксплуатацию.

### 3) Эксплоатация печи

**Сортировка известняка.** Сортировка известняка в газовых печах производится так же, как и в пересыпных печах. В газовых печах величина кусков известняка, загружаемых в шахту, колеблется в пределах 50—150 мм в поперечнике.

Загрузка известняка в печь и выгрузка из нее извести должны производиться так же, как в пересыпных печах.

**Сортировка топлива.** Для обеспечения удовлетворительной работы полугазовых топок и газогенераторов необходима сортировка топлива по величине кусков. Это особенно важно в тех случаях, когда топливом служат бурье угли, так как при хранении на складах они довольно быстро разрушаются и измельчаются.

Размер кусков бурого угля, загружаемых в полугазовые топки, должен лежать в пределах 20—50 мм в поперечнике. Мелочь с величиной кусков меньше 20 мм в поперечнике и особенно пыль, попадая на колосниковую решетку, ложатся слишком плотным слоем, прекращая в этих местах доступ воздуха, необходимого для горения топлива. Весь воздух, подаваемый в топку под давлением, с силой устремляется в более свободные части колосниковой решетки, топливо здесь благодаря избытку воздуха быстро сгорает, и воздух в значительном количестве проникает в топочное пространство. Полугаз, который должен был гореть в шахте печи, сгорает в топочном пространстве, в силу чего передача тепла известняку в зоне обжига ухудшается.

Колосниковая решетка по мере загрузки свежего топлива все больше и больше забивается мелочью, зашлаковывается, и в конце концов ее работа настолько резко ухудшается, что приходится преждевременно останавливать топку на чистку.

В случае попадания в топку слишком больших кусков угля режим топки хотя и не нарушается, но большие куски не успевают полностью сгореть в топке и выгребаются вместе с золой и шлаком. Если на-глаз видно, что уголь не засорен большим количеством мелочи и пыли и по величине кусков представляет довольно равномерную смесь, то можно ограничиться отбором вручную крупных кусков, с целью последующего их дробления до вышеуказанных размеров. В большинстве же случаев бурые угли, поступающие на площадку завода, представляют собой смесь кусков величиной от 1 до 100 мм и более в поперечнике, так что в этих случаях сортировка угля является необходимой (отсортировка угля от мелочи и пыли обыкновенно осуществляется набрасыванием его на наклонно установленное сито-грохот).

Значительно проще обстоит дело при применении торфа и дров; цельные торфины, а также половины и четверти их могут без сортировки загружаться в топку. Торфяная крошка и пыль требуют специальных устройств для сжигания и, загружаемые вперемежку с кусковым торфом, влияют на работу топки так же отрицательно, как и угольная мелочь.

Дрова сортируются по толщине поленьев: нельзя одновременно загружать тонкие и толстые поленья, так как последние не успеют своевременно сгореть и нарушают правильный режим топки. Толщина поленьев зависит от влажности дров, причем с увеличением влажности дров толщина поленьев должна уменьшаться и наоборот. Толстые поленья, размером более 200 мм, необходимо ковать.

При применении дров и торфа очень большое значение имеет их влажность. Топливо с влажностью выше 40% желательно предварительно просушивать (летом на открытом воздухе, зимой у печей), так как при такой его влажности работа полугазовых топок резко ухудшается. Дрова и торф с влажностью 50% и выше требуют специальных топочных устройств и для

использования в нормальных полугазовых топках непригодны.

Загрузка топлива в топки и обслуживание колосниковой решетки. Загрузку топлива в топки нужно производить с таким расчетом, чтобы толщина слоя топлива на колосниковой решетке не изменялась.

При установленной работе топок загрузка в них топлива должна производиться одинаковыми порциями через определенные промежутки времени. Ни в коем случае нельзя загружать сразу очень много топлива с целью удлинения промежутка времени между загрузками. Несвоевременная загрузка топлива влечет за собой уменьшение толщины слоя топлива и ухудшение состава полугаза, т. е. уменьшение содержания в нем горючих.

Загрузку топок следует производить не реже чем через каждые 20—25 минут, подавая в топку 1—2 загрузочных коробки топлива сразу и обязательно следя, чтобы слой топлива не уменьшался и не увеличивался,

В случае, когда топливо не успевает сгорать, необходимо его загружать меньшими порциями. Если же слой топлива начинает уменьшаться, необходимо сократить промежуток между отдельными загрузками.

О толщине слоя топлива в топочных устройствах было уже сказано в предыдущем разделе. Толщина слоя топлива проверяется на-глаз и путем контрольных замеров железной штангой сверху топки (через специальные отверстия).

На практике приходится для улучшения работы полугазовой топки разравнивать топливо по всей поверхности решетки через специальные шуровки, расположенные наверху, с фронта топки. Разравнивание слоя следует производить примерно один раз в час, обязательно после загрузки свежей порции топлива. До загрузки топлива необходимо тщательно расшевелить поверхность слоя топлива и слегка протолкнуть с нижней части наклонной решетки часть догорающего топлива на горизонтальные колосники, к задней стенке топки.

Свежее топливо следует распределять по верхней и средней частям решетки, тщательно заваливая все наиболее прогоревшие на поверхности решетки места.

При разравнивании слоя топлива необходимо его утолщать у боковых стенок топки, так как воздух особенно легко проходит в этих местах, обусловливая здесь наиболее быстрое сгорание топлива.

Горение топлива в топке всегда начинается с поверхности решетки, постепенно распространяясь вверх по толщине слоя. В силу этого наибольшее количество золы и шлака накапливается у поверхности колосниковой решетки. Если этот шлак периодически не разрыхлять, то он с течением времени образует настолько толстую и твердую корку на решетке, что доступ воздуха к слою топлива будет затруднен—нормальный процесс горения топлива нарушен, и топка начнет глохнуть.

Скорость зашлаковывания колосниковой решетки зависит от вида топлива (количества золы и температуры ее плавления), а также от напряжения колосниковой решетки. В отношении зашлаковывания решетки наиболее безопасным топливом являются дрова, при которых отверстия в колосниковой решетке пропищаются только от забившейся в них золы. Зола торфа в большинстве случаев плавится легко и при недосмотре может сильно зашлаковать решетку. Бурье угли содержат очень много золы, но шлак из этой золы в большинстве случаев бывает хрупким и рыхлым.

Разрыхление шлака производится через специальные дверцы, расположенные с фронта топки, не реже одного раза через каждые 1,0—1,5 часа.

При наиболее употребительной в угольных полугазовых топках наклонной ступенчатой колосниковой решетке все ступени последней очищаются предварительно с внутренней (ближайшей к кочегару) стороны от накопившейся золы и мелких кусков остывшего шлака, которые счищаются непосредственно в зольник. Затем железной штангой прорезают слой шлака на решетке, пропуская штангу сквозь слой топлива. Прорезание шлака нужно производить, начиная с нижней ступеньки и постепенно поднимаясь кверху. При этом часть кусков шлака постепенно сталкивается с верхних ступенек на нижние, пока че попадет на горизонтальную часть решетки, с которой шлак выгребается в зольник.

Не нужно стремиться целиком очистить весь шлак со ступенек, так как он, представляя собой раскаленную массу, служит источником тепла, необходимого для горения лежащего над ним слоя топлива. Кроме того, при стремлении вычистить как можно больше шлака значительное количество еще не сгоревшего топлива будет удалено вместе со шлаком в зольник. Прорезание шлака нужно производить до загрузки топлива, обязательно выключая при этом дутье в топку.

Один раз в смену, обыкновенно к концу ее, производится чистка топки. Примерно за час до чистки прекращают загрузку топлива в топку; топливо постепенно прогорает, и слой его уменьшается. Затем выключают дутье в топку и приступают к ее чистке. Если начинают чистку с левой стороны, то сгребают верхний слой горящего топлива на правую сторону колосниковой решетки. Левую сторону очищают от шлака, сталкивая его вниз и оставляя очень небольшое количество его на решетке. Затем с правой стороны решетки сгребают все горящее топливо на очищенную левую сторону и аналогичным путем очищают от шлака правую сторону. После этого распределяют оставшееся топливо равномерно по всей решетке и выгребают основную массу шлака с горизонтальных колосников. Затем загружают в топку 2—3 загрузочных коробки свежего топлива, разравнивают его и включают дутье под колосниковую решетку.

Чистку топки необходимо производить возможно быстрее,

так как при этом происходит значительное охлаждение печи. Опытный кочегар производит чистку топки за 10—15 минут.

После чистки нельзя сразу загружать очень много топлива, так как при этом можно заглушить топку. Для того чтобы быстрее довести слой топлива до нормальной толщины, необходимо загружать его небольшими порциями, но более часто.

Обыкновенно полугазовые печи оборудуются двумя—четырьмя топками. При этом чистку топок производят по одной, поочередно. Лишь после того как одна топка вычищена и переведена на нормальный режим, прекращают загрузку топлива во вторую топку и приступают к ее чистке.

#### 4) Неполадки в работе печи, причины и способы их устранения

Недостаточный накал известняка в зоне обжига. Если при наблюдении в нижнем ряде гляделок (в зоне обжига) будет обнаружено, что накал известняка недостаточно ярок или на общем яркожелтом фоне видны темные пятна, то это указывает на наличие недообожженного известняка в зоне обжига.

В этом случае необходимо задержать очередную выгрузку извести, а если выгрузной механизм работает непрерывно, то остановить его, однако ни в коем случае не допуская работы печи без выгрузки более двух часов подряд, во избежание образования зависания материала в шахте.

Одновременно необходимо проверить работу топок. Как только накал в зоне обжига достигнет яркожелтого цвета или исчезнут темные пятна, выгрузку извести из печи увеличивают до прежнего объема. Если накал известняка в нижнем ряде гляделок потемнел до яркокрасного цвета, то это указывает на наличие значительного количества недоожженного известняка в зоне обжига.

В этом случае необходимо прекратить выгрузку извести, поднять температуру в топках (путем уменьшения слоя топлива), переведя их на полное сгорание, выключить подачу воздуха в печь и держать ее на таком режиме до тех пор, пока температура в зоне обжига (и, следовательно, накал известняка в нижнем ряде гляделок) вновь не достигнет нормальной величины.

После этого надо немедленно перевести топки на полугазовый режим и начать нормальную выгрузку извести.

Если накал в зоне обжига достигнет нормальной яркости, а при первых выгрузках в продукции будет наблюдаться недоожог, то нужно иметь в виду, что последний в полугазовых печах ликвидируется постепенно и довольно медленно, обыкновенно только через 10—12 часов работы печи.

Чрезмерный накал известняка в шахте. Подобное явление особенно заметно по верхнему ряду гляделок и указывает на недостаточную выгрузку извести из печи.

В этом случае необходимо немедленно произвести внеочередную выгрузку извести. При непрерывной выгрузке нужно произвести вручную добавочную выгрузку извести через выгрузочные проемы.

Если подобное явление повторяется часто, то в случае ручной выгрузки необходимо увеличить число выгрузок в смену, а при автоматической выгрузке—увеличить число ее оборотов.

Выбивание полугаза из топок и гляделок в коллекторе. Это явление происходит по двум причинам:

1. В шахте печи образовалось зависание материала, прекратившее доступ газообразных продуктов вверх по шахте, и вследствие повышившегося давления полугаз начинает проникать через все неплотности в коллекторе, топках и даже через выгрузные проемы.

2. Окна, по которым полугаз поступает из коллектора в шахту, засорились

В первом случае необходимо разрушить зависание одним из способов, описанных выше. Во втором случае необходимо немедленно прочистить газовые окна железными штангами через гляделки коллектора. При чистке окон необходимо выключить дутье в топках и открыть в них шуровочные дверцы.

Плохое горение полугаза в шахте. Это явление характеризуется недостаточным накалом известняка в зоне обжига, довольно ярким накалом его в верхнем ряде гляделок, при нормальной работе полугазовых топок.

При осмотре гляделок цвет накала по всей высоте шахты почти одинаков.

Происходит это в силу того, что полугаз недостаточно интенсивно сгорает в зоне обжига, поднимаясь выше, медленно горит по всей высоте шахты и частично, в несгоревшем виде, удаляется в атмосферу.

Причинами плохого горения полугаза являются:

- 1) недостаточная температура в зоне обжига;
- 2) недостаточное количество воздуха, поступающего в печь.

В первом случае необходимо поднять температуру в зоне обжига путем перевода топок на полное сгорание так, как это было указано выше, и лишь после того, как накал достигнет яркожелтого цвета, можно перевести топки обратно на полугазовый режим.

Во втором случае нужно проверить, достаточно ли открыты дверцы выгрузных проемов, через которые поступает воздух в шахту. Если воздух подается вентилятором, то необходимо, наоборот, проверить, насколько плотно прикрыты вышеупомянутые дверцы, осмотреть и проверить вентилятор и воздухопроводы; проверить, правильно ли открыты шиберы на воздухопроводе. Если ни одно из вышеуказанных мероприятий не помогает или помогает плохо, то необходимо перейти на более бедный полугаз, что достигается некоторым уменьшением толщины слоя топлива в топках.

Увеличение температуры отходящих газов. Это явление может происходить по следующим причинам: 1) уровень загрузки известняка в шахте печи опустился—шахта недогружена известняком; 2) полугаз, не сгорая в зоне обжига, горит по всей высоте шахты; 3) из шахты печи долгое время не выгружалась известь, вследствие чего содержимое шахты слишком сильно прогрелось.

В первом случае необходимо несколько сократить выгрузку извести из печи и как можно скорее полностью догрузить шахту известняком, после чего перейти на нормальную выгрузку извести.

Во втором случае необходимо поступать так, как это было указано выше (устранение причин плохого горения полугаза в шахте печи).

В третьем случае необходимо увеличить выгрузку извести, не забывая своевременно догружать шахту известняком.

Увеличение температуры выгружаемой из печи извести. Это явление может иметь место в случае образования зависания материала в шахте печи, когда полугаз, не имея выхода на верх печи, спускается и частично горит в зоне охлаждения печи, повышая температуру находящейся там извести.

В некоторых случаях известь в зоне охлаждения может раскалиться при этом до темнокрасного цвета. Для устранения этого явления необходимо разрушить зависание одним из способов, указанных выше.

Недожог. Причин, обусловливающих появление недожога, может быть много, и не всегда можно сразу установить их. Основными причинами недожога являются: 1) неудовлетворительная работа полугазовых топок; 2) неправильная загрузка и выгрузка печи; 3) загрузка слишком больших кусков известняка в печь; 4) плохое горение полугаза в шахте.

Если при осмотре выгружаемой извести будет обнаружено, что недожог получается главным образом в крупных кусках, необходимо немедленно перейти на более мелкие куски. Если недожог замечается в кусках нормальной величины, необходимо сократить количество выгружаемой извести и проверить работу топок.

Очень часто середина шахты полностью не прожигается, что также служит причиной недожога.

Для того чтобы проверить, насколько хорошо обжигается известняк, расположенный в центральной части шахты, через одну из гляделок зоны обжига забивают в шахту железную штангу с таким расчетом, чтобы она прошла дальше середины шахты. При этом надо следить, чтобы штангой не повредить футеровку противоположной стенки шахты.

Продержав штангу в шахте в течение 15—20 минут, необходимо быстро вытащить ее. Если штанга по всей своей длине накалена до одинакового цвета, то, следовательно, середина шахты прожигается нормально. Если же на некоторой длине штанги, соответствующей середине шахты, заметно затемнен-

ное, сравнительно с остальной раскаленной частью штанги, место, то налицо недостаточный прожиг середины шахты, являющийся причиной появления недожога в извести. Чем больше длина затемненной части штанги, тем большая часть середины шахты не прожигается как следует.

Если подобное явление имеет место, то необходимо:

1) В печи с ручной выгрузкой извести производить выгрузку главным образом с краев шахты, не подкапываясь глубоко к ее середине. Тогда известняк, находящийся в середине шахты, будет дольше задерживаться в ней, благодаря чему нагрев его увеличится.

Если это мероприятие полностью не помогает, то необходимо одновременно уменьшить количество выгружаемой извести.

2) При наличии автоматического выгрузного механизма необходимо уменьшить тем или иным путем количество выгружаемой извести. При появлении недожога ни в коем случае нельзя надолго прекращать выгрузку извести или резко сокращать производительность печи, так как, несмотря на наличие недожога, в этом случае в шахте может образоваться зависание обжигаемого материала, окончательно портящее работу печи.

Следует отметить, что при малейшем недосмотре в газовых печах возможен недожог продукции. Ликвидировать же недожог довольно трудно, и на это требуется много времени.

#### Глава 4. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ОБЖИГА

Контроль работы известеобжигательных печей имеет исключительно важное значение для обеспечения надлежащего режима обжига известняка, давая возможность обслуживающему персоналу—и в первую очередь мастеру—необходимым образом регулировать работу печей как в смысле их производительности и расхода топлива, так и в отношении качества продукции.

Для обеспечения подобного контроля известеобжигательные печи, как правило, должны быть оборудованы соответствующими контрольно-измерительными приборами, показывающими, как и при каких условиях протекает в данный момент процесс обжига.

Если напольные печи настолько примитивны, что при работе на них можно обходиться без контрольно-измерительных приборов, то применение последних при обжиге известняка в кольцевых и, особенно, в шахтных печах является совершенно необходимым.

В настоящей главе, за недостатком места, мы коснемся контроля процесса обжига только в шахтных печах, где он является наиболее необходимым и, вместе с тем, наиболее ответственным.

##### Объекты контроля

Для составления более или менее полной картины работы шахтной известеобжигательной печи, контролю подлежат:

1. Температура и состав отходящих газов.
2. Температура обжигаемого материала по высоте шахты.
3. Температура выгружаемой извести.
4. Сила тяги и сопротивление обжигаемого материала в шахте.

#### 5. Качество готовой продукции.

В газовых печах, кроме того, контролируются:

1. Температура и состав газообразных продуктов, поступающих в шахту для обжига известняка из соответствующих топочных устройств (выносные топки полного сгорания, полугазовые топки и газогенераторы).

2. Разрежение (или давление) в топочном пространстве и под колосниковой решеткой топочных устройств.

Помимо вышеперечисленных замеров и анализов, вне зависимости от типа известообжигательных печей, имеющихся на заводе, должен проводиться учет расхода сырья и топлива на обжиг, а также учет количества выпускаемой продукции. На основе результатов этого учета выводятся такие важные показатели работы печей, как расход условного топлива в процентах от веса готовой продукции, количество извести, полученное с 1 м<sup>3</sup> печного объема в сутки (для шахтных печей — напряжение зон подогрева и обжига), а также напряжение зеркала горения топочных устройств.

Анализы (определение состава) отходящих газов и газов из топочных устройств в достаточной мере сложны, требуют известных навыков в обращении со специальными приборами (так называемыми газоанализаторами) и обычно производятся работниками заводских лабораторий или теплотехником, если таковой имеется на заводе.

Анализ качества готовой продукции производится в заводской лаборатории.

В силу изложенного на анализе газов и готовой продукции мы останавливаться не будем, ограничившись лишь самыми краткими указаниями в этой области, которыми надлежит руководствоваться мастеру при оценке работы печи.

Таким образом, постоянный контроль работы шахтных печей, осуществляемый мастером, сводится к наблюдению за температурой и тягой в печах, а также к учету сырья, топлива и готовой продукции.

Ниже приводятся описание и правила пользования наиболее простыми и распространенными приборами, употребляемыми для замера температуры и тяги в шахтных печах.

#### 1) Приборы для измерения температуры

Для измерения температуры в шахтных печах употребляются технические ртутные и азотно-ртутные термометры и термоэлектрические пиromетры.

Технические ртутные термометры. Эти приборы служат для измерения температур до +350° и по своему

устройству и действию не отличаются от ртутных термометров, употребляемых в быту для измерения температуры воздуха или воды. В целях предохранения от поломки, термометры обычно заключаются в металлические футляры. Так как ртуть при температуре 357° закипает, то для измерения температур до 500—550° применяются азотно-ртутные термометры. В них трубка над ртутью заполнена азотом под давлением до 20 атмосфер, благодаря чему температура кипения ртути повышается до 560°.

Оба упомянутых термометра могут применяться для измерения температуры отходящих газов и выгружаемой из печи извести.

При работе с термометрами необходимо соблюдать следующие правила:

1. Термометр должен быть установлен как можно ближе к верхнему уровню загрузки известняка в шахте и в месте, доступном для удобного наблюдения (при наблюдении глаза наблюдающего должны находиться на одном уровне с уровнем ртутного столбика, иначе результат наблюдения будет неверен).

2. Термометр должен быть установлен таким образом, чтобы его ртутный шарик находился не у стенки трубы или шахты, а по их центру — в этом случае он будет лучше омываться отходящими газами, и его показания будут в большей степени соответствовать действительности.

3. В том случае, если печь работает на естественной тяге, создаваемой кирпичной дымовой трубой, являющейся продолжением шахты, и загрузка известняка в печь производится

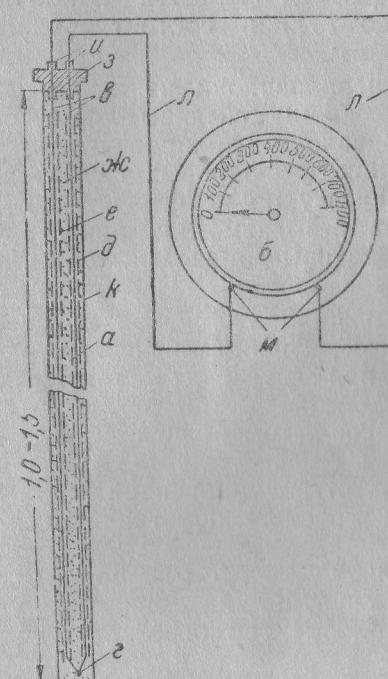


Рис. 27: *a* — термопара; *b* — гальванометр; *в* — проволоки термопары; *г* — спай проволок термопары; *д* — изоляция проволок термопары (фарфоровые трубочки); *ж* — асбест; *з* — головка термопары; *и* — контакты термопары; *к* — защитная трубка (чехол); *л* — электропровод; *м* — контакты гальванометра.

вручную, через проем в дымовой трубе, то термометр желательно располагать по центру трубы, ниже загрузочного проема. В этом случае подсосы холодного наружного воздуха через неплотно закрытый загрузочный проем не будут отражаться на показаниях термометра. Если термометр вставлен в отверстие в железной трубе, то зазор между стенками отверстия и термометром должен быть тщательно уплотнен во избежание подсоса через него холодного наружного воздуха, уменьшающего показания термометра.

4. При небрежном обращении с термометром (удар, сотрясение, резкое охлаждение) может произойти разрыв ртутного столбика. Для устранения этого термометр необходимо очень осторожно нагреть с таким расчетом, чтобы ртуть поднялась до самого верха трубочки.

Если нагрев производить очень быстро, то ртуть может разорвать трубочку.

Термо-электрические пирометры. Эти приборы служат для измерения температур до 1300° и состоят из термопары и гальванометра (рис. 27).

Термопара представляет собой две проволоки из разнородных металлов, одними своими концами спаянных вместе. По всей остальной своей длине проволоки изолированы друг от друга асбестом и набором коротких фарфоровых трубочек, и помещены в защитную трубку (железную или фарфоровую), на одном из концов которой (в так называемой головке термопары) укреплены два контакта, к которым подведены свободные концы проволок.

К контактам термопары помощью электрошнуря присоединяется гальванометр—прибор, показывающий наличие электрического тока, который возникает при нагревании спаянных концов проволок термопары.

Чем выше температура нагрева спая, тем больше электродвижущая сила тока.

Гальванометр снабжен шкалой, отградуированной таким образом, что его стрелка сразу показывает температуру в градусах Цельсия.

Длина термопары обычно составляет 1,0—1,5 м. Термопара одним своим концом, где находится спай, помещается в среду, в которой измеряется температура; головка термопары остается при этом снаружи.

Термо-электрические пирометры употребляются для измерения температур во всех точках известеобжигательных печей.

При пользовании термо-электрическими пирометрами необходимо выполнять следующие правила и указания:

1. В зависимости от металлов, из которых изготовлены проволоки термопары, последняя может быть применена для измерения температур не выше определенной величины; в противном случае термопара может выйти из строя (существующие термопары рассчитаны для измерения температур до 400, 600, 900 и 1300°).

Если термопара во время замера была длительное время перегрета выше допустимой для нее максимальной температуры и не вышла из строя, то, все равно, дальнейшее ее применение без проверки в специальной мастерской или лаборатории не рекомендуется, так как она после перегрева может давать неверные показания.

2. Каждая термопара должна работать только со своим, специально для нее предназначенным, гальванометром. Нельзя

пользоваться без предварительной проверки для данной термопары другим, к ней не относящимся гальванометром.

3. При пользовании термопарой конец ее должен быть помещен возможно глубже в среду, температуру которой нужно замерить.

4. Отверстие, в которое вводится термопара, должно быть тщательно уплотнено (лучше всего асбестом, размоченным в воде), во избежание подсоса холодного наружного воздуха, уменьшающего показания прибора.

5. При установке термопары необходимо вводить ее постепенно в горячую среду, где должна быть измерена температура.

Вынимать термопару нужно также не сразу, а постепенно в течение 5—10 минут.

Резкие нагревания и охлаждения термопары увеличивают ее износ и приводят к преждевременному нарушению правильности показаний прибора, а в случае применения термопар с фарфоровым защитным чехлом—к растрескиванию последнего, что делает невозможным дальнейшее пользование термопарой.

6. Гальванометр должен быть установлен на прочном основании и в положении, присущем его типу (поперечный—в горизонтальном положении, настенный—в вертикальном).

Стрелка отключенного от термопары гальванометра должна стоять строго на 0°.

Если при приключении термопары к гальванометру стрелка последнего пойдет не вправо (по шкале), а налево, то необходимо переключить концы электрошнура.

7. При измерении температуры в топочных устройствах в случае, если работа ведется на топливе, содержащем много серы (например, подмосковный уголь), желательно применять термопары с фарфоровым защитным чехлом, так как железный чехол очень быстро разъедается сернистым газом, образующимся при горении топлива.

8. Измерение температуры в шахте печи, заполненной обжигаемым материалом, в достаточной мере затруднено и при применении любого из существующих приборов для измерения температур, в том числе и термо-электрических пирометров, дает результаты, иной раз довольно значительно отклоняющиеся от истины.

Обычно термопара вводится в шахту печи через гляделки. Во избежание порчи термопары забивать ее в толщу обжигаемого материала нельзя.

Для того чтобы обеспечить возможность более глубокого ввода термопары в толщу обжигаемого материала, необходимо предварительно прошуровать содергимое шахты против гляделки железной штангой или ломом.

Если выгрузка извести из печи производится вручную, то таковую можно начинать только после того, как термопара вынута из шахты. В противном случае она может быть согнута оседающим, под влиянием выгрузки извести, обжигаемым материалом.

Из этих же соображений при непрерывной работе автоматической выгрузки нельзя долго держать термопару в шахте.

9. Термо-электрические пирометры подлежат периодической проверке в специальных мастерских и лабораториях, так как с течением времени правильность их показаний нарушается.

## 2) Приборы для измерения тяги

Для измерения тяги в шахтных печах употребляются: У-образные (читается „у-образные“) тягомеры и тягомеры Креля.

У-образный тягомер (рис. 28). Этот прибор представляет собой стеклянную, изогнутую двухколенчатую трубку открытую с обоих концов.

Трубка укреплена на деревянном основании, на котором, против каждого колена, расположены две одинаковые шкалы, разделенные на миллиметры.

Трубка наполнена водой, которая для удобства наблюдения подкрашивается.

На один из концов трубы плотно надета резиновая трубка, посредством которой тягомер соединяется с пространством, в котором измеряется тяга.

Если в исследуемом пространстве давление меньше наружного (т. е. атмосферного), то вода в колене, соединенном с исследуемым пространством, поднимется вверх, а в другом колене опустится вниз.

Образовавшаяся разница в уровнях воды в обоих коленах, отсчитанная в миллиметрах водяного столба, даст величину разрежения (или силы тяги) в исследуемом пространстве. Если в исследуемом пространстве давление больше атмосферного, то вода в соединенном с ним колене опустится вниз, а в другом колене поднимется вверх.

Величина давления в исследуемом пространстве отсчитывается по-предыдущему.

Перед началом замера желательно, для упрощения отсчетов, установить уровни жидкости в обоих коленах на нулевое деление шкал. Делается это или путем добавления (или отбавления) воды в тягомере, или, если тягомер снабжен подвижными шкалами, путем передвижения последних до совпадения уровня жидкости в обоих коленах с нулевой отметкой.

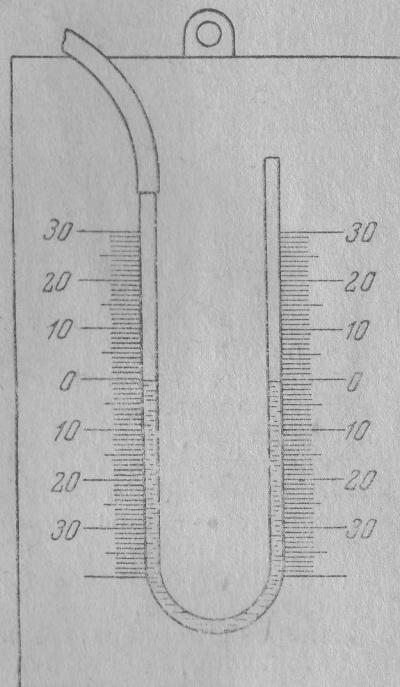


Рис. 28. У-образный тягомер.

Тягомер Креля (рис. 29). Этот прибор состоит из наклонной трубы *a*, соединенной одним концом с сосудом *b*, наполняемым жидкостью, в качестве каковой в описываемом тягомере применяют спирт или керосин, которые для удобства наблюдения также подкрашиваются.

Параллельно наклонной трубке расположена шкала, разбитая на деления, длина которых соответствует 1 мм водяного столба.

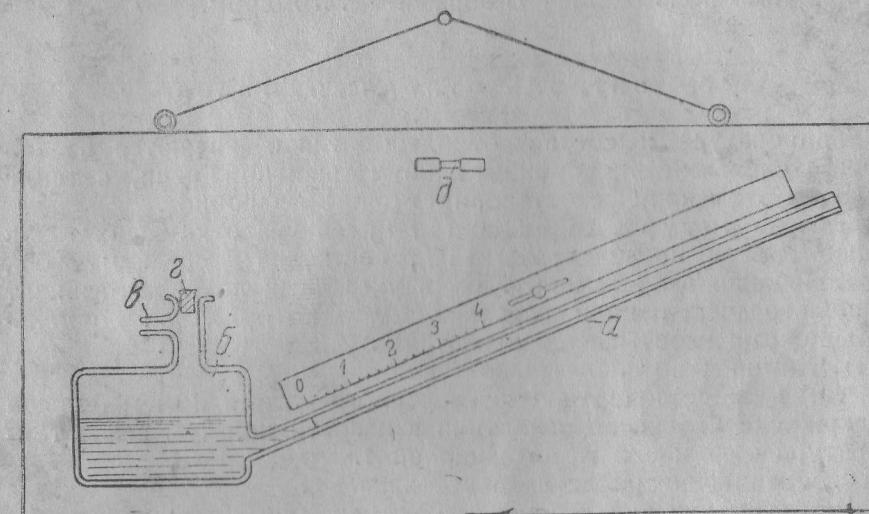


Рис. 29. Тягомер Креля.

Соединение тягомера с исследуемым пространством, осуществляющее помошью резиновой трубы, производится: при измерении давления—через отросток *c*; при измерении разрежения—через конец наклонной трубы *a*.

Отверстие *c* наверху сосуда *b* служит для доливания в тягомер жидкости.

При работе с тягомером необходимо соблюдать следующие правила и указания.

1. Перед началом замера необходимо удостовериться:
  - а) что тягомер подведен строго горизонтально по уровню *d*;
  - б) что уровень жидкости в наклонной трубке *a* находится на нулевом делении шкалы.

Так как весьма затруднительно заполнять тягомер жидкостью точно до нулевого деления, то шкала тягомера делается подвижной, что позволяет легко совместить нулевое деление шкалы с уровнем жидкости в трубке *a*;

в) что резиновая трубка, соединяющая исследуемое пространство с тягомером, не имеет перегибов, так как в противном случае результат замера может быть неверным.

2. Носок *г*, через который доливается жидкость в сосуд *б*, должен быть всегда плотно закрыт резиновой пробкой.

3. При проникновении воздушных пузырьков в столб жидкости в наклонной трубке их необходимо удалить, наклоняя тягомер таким образом, чтобы вся жидкость ушла из трубы.

Для измерения незначительных разрежений или давлений лучше пользоваться тягомером Креля, так как он дает более точные, нежели U-образные тягомеры, показания.

В тех случаях, когда шкалы тягомера Креля нехватает, необходимо пользоваться U-образным тягомером.

### 3) Контроль отходящих газов

Температура и состав отходящих газов являются весьма показательными для оценки работы шахтной печи, в силу чего на этом вопросе остановимся более подробно.

Температура. Нормально температура отходящих газов колеблется в пределах 200—400°, составляя в среднем ~300°.

Колебания этой температуры в указанных пределах зависят от целого ряда причин, главнейшими из которых при нормальном режиме работы печи являются:

#### 1. Химический состав известняка.

Чем меньше содержание углекислого магния и чем больше содержание углекислого кальция в известняке, тем выше температура отходящих газов и наоборот.

#### 2. Физические свойства известняка.

Чем труднее обжигается известняк (чем больше расход тепла на его обжиг), тем выше температура отходящих газов и наоборот.

3. Количество воздуха, подаваемого в шахту печи для горения топлива.

Чем больше это количество воздуха, тем ниже температура отходящих газов и наоборот.

Последняя причина справедлива, как это будет показано ниже, только до известных пределов. В зависимости от состава топлива (твердого или газообразного) для его полного сжигания требуется вполне определенное количество воздуха, называемое теоретическим.

Так как в условиях сжигания топлива между кусками обожженного материала добиться совершенно равномерного подвода теоретически необходимого количества воздуха невозможно (в одном месте его поступит больше, чем нужно, а в другом — его не будет хватать, что повлечет за собой неполное сгорание топлива в этом месте), то его подают в шахту печи в заведомо большем количестве.

Подаваемое в действительности количество воздуха называется практическим.

Число, показывающее, во сколько раз практическое количество воздуха больше теоретического, называется коэффициентом

избытка воздуха, который для шахтных печей, обычно колеблется в пределах 1,2—1,4.

Таким образом, чем больше коэффициент избытка воздуха, тем ниже температура отходящих газов.

С другой стороны, при очень малом коэффициенте избытка воздуха возможно неполное горение топлива в шахте; часть тепла топлива при этом совсем не выделяется, что также повлечет за собой уменьшение температуры отходящих газов.

Выше были приведены основные причины, обусловливающие ту или иную температуру отходящих газов при нормальной работе печи.

Необходимо отметить, что, помимо перечисленных, есть еще причины, также отражающиеся на температуре отходящих газов, но, в отличие от первых, они вызваны ненормальными условиями работы печей. К числу этих причин, подчас весьма сильно влияющих на температуру отходящих газов, в основном относятся:

1. Слишком большие подсосы холодного наружного воздуха в верхнюю часть шахты печи через трещины в кладке и неплотности в гляделках и загрузочном устройстве для известняка, что вызывает значительное снижение температуры отходящих газов.

2. Недогрузка шахты печи известняком, что вызывает увеличение температуры отходящих газов.

Наконец, немаловажную роль играет момент, в который производится замер температуры.

После загрузки свежей порции холодного известняка температура отходящих газов понижается, затем известняк начинает постепенно прогреваться, по мере чего температура отходящих газов постепенно повышается, достигая наибольшей величины к моменту загрузки новой порции известняка.

В силу изложенного не рекомендуется замерять температуру отходящих газов ни сейчас же после загрузки известняка в шахту печи, ни непосредственно перед загрузкой.

Лучше всего производить замер температуры отходящих газов между отдельными загрузками (на равных промежутках времени от конца одной и до начала следующей загрузки).

Таким образом, для того чтобы получить наиболее приближающееся к действительному значение температуры отходящих газов, необходимо, соблюдая последнее указание, перед началом замера проверить уровень загрузки известняка в шахте печи и убедиться, насколько плотно закрыты гляделки и загрузочное устройство печи.

Нужно иметь в виду, что добиться абсолютной герметичности в верхней части шахты, где разрежение является наибольшим, практически невозможно,—подсос наружного воздуха, в той или иной мере, наблюдается здесь всегда.

Это обстоятельство приобретает особенное значение в тех случаях, когда печь оборудована дымососной установкой, обуславливающей повышенное разрежение в верхней части шахты.

В этом случае, в целях устранения подсоса холодного наружного воздуха, рекомендуется на время замера температуры, если позволяет система включения дымососа в дымовую трубу, выключить его и перевести печь на естественную тягу.

Если же этого сделать нельзя, то нужно прикрытием шибера на отсасывающем патрубке максимально уменьшить тягу в шахте печи.

Если при соблюдении всех вышеуказанных правил будут наблюдаться значительные отклонения от вышеуказанных температурных пределов, то налицо ненормальный режим работы печи, возможные причины которого достаточно подробно изложены в предыдущих главах. Здесь необходимо лишь добавить, что повышенная температура отходящих газов может быть еще следствием слишком большой, не соответствующей производительности печи, подачи топлива (твердого или газообразного) в шахту печи.

**Состав.** Состав отходящих газов и главным образом содержание в них углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в достаточной мере характеризуют работу шахтной печи.

Анализом (помощью газоанализатора) определяется состав сухих отходящих газов в процентах по объему (при анализе газов водяные пары, присутствующие в них, превращаются в воду, в силу чего анализу подвергаются освобожденные от водяных паров, т. е. сухие газы).

При нормальном режиме работы печи содержание углекислого газа в отходящих газах должно колебаться (согласно анализу) в пределах:

для пересыпных печей . . . . .	25—30%, ✓
" газовых печей . . . . .	20—25%.

Колебания в содержании углекислого газа в отходящих газах (в указанных пределах) зависят от химического состава известняка, вида и качества применяемого для обжига топлива и коэффициента избытка воздуха, поступающего в шахту.

Пониженное (против указанных величин) содержание углекислого газа может явиться следствием:

- 1) значительного подсоса наружного воздуха в шахту;
- 2) плохого горения топлива (твердого или газообразного) в шахте, в результате чего количество углекислого газа в отходящих газах уменьшается как за счет неполного сгорания топлива, так и вследствие недостаточного разложения известняка в шахте.

В этом случае в готовой продукции должно наблюдаться повышенное количество недожога, а в отходящих газах—окись углерода ( $\text{CO}$ ).

Повышенное (против указанных цифр) содержание углекислого газа в отходящих газах не может иметь места и является результатом только неправильного анализа.

#### 4) Контроль тяги

Тяга в шахте печи, измеряемая вышеописанными тягомерами, определяется в миллиметрах водяного столба, причем давление наружного воздуха (атмосферное давление) принимается за 0 мм водяного столба.

Тяга в печи, благодаря которой происходит движение вверх по шахте газообразных продуктов сгорания топлива и разложение известняка, может осуществляться как за счет разрежения, создаваемого в шахте дымовой трубой или дымососной установкой, так и за счет подачи под давлением (вентилятором) воздуха, необходимого для горения топлива.

В первом случае давление в шахте будет меньше наружного (атмосферного), т. е. меньше 0 мм вод. ст., и во втором случае—больше атмосферного, т. е. выше 0 мм вод. ст. Разрежение обозначается знаком минус перед цифрой, показывающей величину этого разрежения в миллиметрах водяного столба (например—15 мм вод. ст.).

Давление обозначается соответственно знаком плюс (например+15 мм вод. ст.).

Как правило, газовые печи работают под разрежением, а пересыпные—под разрежением и под давлением.

В некоторых случаях верхняя (большая по высоте) часть шахты работает под разрежением, а нижняя (меньшая по высоте) часть шахты—под давлением.

В тех случаях, когда печь работает под разрежением, наибольшая его величина наблюдается наверху шахты (у верхнего уровня загрузки известняка) и наименьшая величина—внизу шахты (на уровне выгрузных окон для извести).

Если печь работает под давлением, то наибольшая величина его имеет место внизу шахты и наименьшая величина—в верхней части шахты.

Сопротивление обжигаемого материала в шахте. Разница между наибольшей и наименьшей величинами разрежений (или давлений) затрачивается на преодоление сопротивления кусков обжигаемого материала движению воздуха и газообразных продуктов вверх по шахте и называется сопротивлением шахты.

Так, например, если замеренное разрежение наверху шахты составляет—26,0 мм вод. ст. и внизу шахты—2,0 мм вод. ст., то сопротивление шахты равно  $26,0 - 2,0 = 24,0$  мм вод. ст.

Сопротивление шахты зависит от:

- 1) величины кусков обжигаемого материала: чем мельче куски, тем больше сопротивление шахты и наоборот;

- 2) однородности кусков обжигаемого материала: чем более одинаковы по размерам куски, тем меньше сопротивление шахты и наоборот.

- 3) высоты шахты, заполняемой обжигаемым материалом: чем больше эта высота, тем больше сопротивление шахты и наоборот;

4) величины объемного напряжения шахты: чем больше объемное напряжение, тем больше сопротивление шахты и наоборот;

5) расхода топлива (на единицу продукции) в шахте: чем выше расход топлива, тем больше сопротивление шахты и наоборот.

На основе показаний тягомеров наверху и внизу шахты, а также руководствуясь вышеприведенными указаниями относительно зависимости сопротивления шахты, производят контроль и регулирование режима обжига.

При этом необходимо иметь в виду следующее:

1. Если подача воздуха, необходимого для горения топлива в шахте, осуществляется за счет разрежения в последней, то тягомер, установленный внизу шахты, должен обязательно показывать разрежение; если такового не наблюдается, значит сопротивление шахты больше, чем разрежение, создаваемое дымовой трубой или дымососной установкой, и воздух не будет поступать в шахту.

2. Если газовая печь работает под разрежением в верхней части шахты и под давлением в нижней ее части (т. е. с подачей воздуха в шахту помощью вентилятора), то где-то по высоте шахты должна быть нулевая граница (т. е. на этом уровне давление переходит в разрежение).

Для обеспечения нормальной работы газовой печи эта граница должна находиться ниже уровня ввода газообразных продуктов в шахту (иными словами, на этом уровне в шахте печи уже должно быть какое-то разрежение).

Если на этом уровне в шахте будет давление, то оно затруднит, а в некоторых случаях может совсем прекратить, доступ газообразных продуктов в шахту.

Из этих же соображений желательно, чтобы в газовом коллекторе всегда было хотя бы незначительное давление (0—2 мм вод. ст.).

#### Сопротивление слоя топлива в топочных устройствах

Как уже указывалось в разделе IV, толщина слоя топлива на колосниковой решетке полугазовой топки и особенно газогенератора достигает значительной величины.

Такой толстый слой топлива (особенно мелкого) представляет значительное сопротивление для прохождения через него необходимого для горения воздуха, в силу чего последний подается под колосниковые решетки в большинстве случаев вентилятором.

Давление воздуха под колосниковой решеткой должно быть таким, чтобы было преодолено сопротивление самой решетки и слоя топлива на ней, и, кроме того, в топочном пространстве и газовом коллекторе наблюдалось, как уже указывалось выше, незначительное давление порядка 0—2 мм вод. ст.

Контроль давления под колосниковой решеткой и в топочном пространстве осуществляется тягомерами, по показаниям которых можно судить о толщине топлива и степени зашлакованности колосниковой решетки.

Так, например, при слишком толстом слое топлива давление под колосниковой решеткой увеличится, а в топочном пространстве — уменьшится. В топочном пространстве может при этом образоваться разрежение за счет тяги, создаваемой дымовой трубой или дымососом.

Подобная же картина наблюдается при сильно зашлакованной колосниковой решетке.

При слишком тонком слое топлива под колосниковой решеткой будет наблюдаться пониженное, против нормального, давление, а в топочном пространстве оно повысится.

Разность между давлениями под колосниковой решеткой и в топочном пространстве показывает сопротивление колосниковой решетки и слоя топлива на ней.

Это сопротивление может быть определено при помощи одного тягомера. Для этой цели при U-образном тягомере одно колено присоединяют помошью резиновой трубки к подколосниковому пространству, а второе колено — к топочному пространству. Разность в уровнях жидкости в обоих коленах покажет сопротивление колосниковой решетки и слоя топлива в миллиметрах водяного столба.

В случае применения для этой цели тягомера Креля отросток *в* соединяется с подколосниковым пространством, а конец наклонной трубы *а* — с топочным пространством.

Контролем давления в газовом коллекторе или топочном пространстве может быть обнаружено (и, следовательно, предусмотрено) образование зависания обжигаемого материала в шахте печи.

В большинстве случаев зависание обжигаемого материала образуется в шахте в области наиболее высоких температур (в зоне обжига и в нижней части зоны подогрева), т. е. выше уровня газовых окон, через которые газообразные продукты поступают в шахту.

Так как зависание материала образуется не сразу, а постепенно, то по мере его образования и уплотнения слоя обжигаемого материала в этом месте свободный доступ газообразных продуктов вверх по шахте все более и более затрудняется, что приводит к постепенному, но весьма заметному увеличению давления газообразных продуктов ниже образующегося (или уже образовавшегося) зависания (а следовательно, в газовом коллекторе и топочном пространстве).

О составе и температуре топочных газов (для топок полного сгорания, полугазовых топок и газогенераторов), а также о температуре обжигаемого материала по высоте шахты, было уже достаточно сказано в разделах III, IV и V, в силу чего в настоящей главе на этих вопросах останавливаться не будем.

## 5) Контроль температуры выгружаемой из печи извести

Температура выгружаемой из печи извести также является показательной при оценке работы шахтной печи. Нормально эта температура колеблется в пределах 50—100° и зависит от температуры наружного воздуха, поступающего в шахту, коэффициента его избытка и объема зоны охлаждения.

Чем ниже температура наружного воздуха и чем больше коэффициент его избытка, а также чем больше объем зоны охлаждения, тем ниже температура выгружаемой извести и наоборот.

Причины резкого увеличения температуры выгружаемой извести были уже изложены в предыдущих главах настоящего раздела.

Измерение температуры извести, выгружаемой из печи, производится помостью термометров и термо-электрических пирометров.

Вне зависимости от того, каким образом происходит выгрузка извести (вручную или помостью автоматического выгрузного механизма), измерение температуры надлежит производить через выгрузные окна — проемы внизу шахты, вставляя термометр или термопару поглубже в массу извести.

При периодической выгрузке извести ее температуру надлежит замерять непосредственно перед началом выгрузки.

Если выгрузка извести производится непрерывнодействующим механизмом, то момент, когда измеряется температура, не имеет значения.

## 6) Учет известняка, топлива и извести

К повседневному контролю процесса обжига, помимо всего изложенного выше, относится также количественный учет израсходованного известняка, топлива и полученной готовой продукции.

Так как взвешивание всех материалов является в достаточной мере трудоемкой операцией и отнимает слишком много времени, то, с достаточной для практических целей точностью, можно ограничиться учетом числа вагонеток с указанными материалами.

При этом необходимо каждую смену производить контрольные взвешивания нескольких вагонеток с каждым материалом.

Так, например, если за смену было выгружено 11 вагонеток с известью и контрольные взвешивания трех вагонеток с известью дали (за вычетом веса пустой вагонетки) следующие веса: 705 кг, 688 кг и 713 кг, то средний вес извести, вмещающейся в вагонетку, составит:

$$\frac{705+688+713}{3} = 702 \text{ кг.}$$

Производительность печи за смену выражается:

$$702 \cdot 11 = 7722 \text{ кг.}$$

Таким же образом должен производиться учет расхода известняка и топлива.

При сравнительно небольшом количестве расходуемого топлива последнее желательно взвешивать целиком. При наличии на заводе нескольких печей учет всех упомянутых материалов должен производиться отдельно для каждой печи. При этом можно производить общие для всех печей контрольные взвешивания вагонеток с известняком и топливом. Контрольные взвешивания вагонеток с известью нужно производить для каждой печи отдельно, так как разные печи могут выдавать разную по качеству известь (с различным содержанием недожога), отчего будет зависеть вес вагонетки с известью. На основе полученных (за сутки, декаду и месяц) данных по выпуску извести и об израсходованном сырье и топливе выводятся основные показатели и производится оценка работы отдельных печей.

При этом необходимо считаться с качеством полученной из той или иной печи готовой продукции, определяемым лабораторией по содержанию в извести окиси кальция и окиси магния ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ), выраженных общей суммой в процентах от веса извести (так называемая активность извести).

Известь считается удовлетворяющей требованию стандарта, если ее активность составляет не менее 85% для I сорта, не менее 70% для II сорта и не менее 60% для III сорта.

В заключение настоящей главы следует указать, что для обеспечения действительного контроля процесса обжига, который с приобретением известного опыта и навыков окажет весьма существенную помощь мастеру и обслуживающему печи персоналу, необходимо все вышеупомянутые замеры и наблюдения производить возможно более тщательно и регулярно (во всяком случае не реже чем один раз каждые два часа).

Все получаемые при этом результаты должны, в обязательном порядке, записываться мастером и работниками лаборатории в специальный журнал, форма которого здесь не предрешается и должна разрабатываться работниками лаборатории или техническим руководителем завода в зависимости от условий данного завода (число и тип печей, наличие тех или иных контрольно-измерительных приборов, штат мастеров и работников лаборатории и т. д.).

## Глава 5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБЖИГЕ ИЗВЕСТНЯКА

Обжиг известняка, как и любое другое производство, требует известного опыта и навыков, а также неукоснительного выполнения соответствующих правил и инструкций, что делает условия труда более безопасными и в большинстве случаев гарантирует работающих от возможных несчастных случаев.

В настоящей главе мы не будем касаться общих вопросов техники безопасности, имеющих место в любом производстве (ограждение движущихся частей механизмов и различных передач, обслуживание машин и механизмов, освещение рабочих мест и т. п.), ограничившись указаниями только по тем вопросам, которые характерны для обжига известняка.

### 1) Подача и загрузка известняка в печи

1. В напольных печах-ямах и печах с постоянными стенами известняк сбрасывается сверху в печи. При этом необходимо соблюдать осторожность, чтобы не причинить ушибов или еще более тяжелыхувечий садчикам, работающим в печи.

Опрокидывание содержимого тачки в печь необходимо производить в свободную от работающих часть печи.

Еще лучшим, в смысле безопасности этой операции, является сваливание известняка в печь по крутыму досчатому настилу.

2. Приспособления и механизмы, служащие для подъема известняка на верх шахтных печей, должны быть в обязательном порядке снабжены специальными тормозными устройствами на случай обрыва троса. Так, при подъеме известняка в вагонетках по наклонной эстакаде последняя должна быть оборудована ловителями для вагонеток; при подаче известняка на верх печей шахтными и скраповыми подъемниками клети и ковши должны быть оборудованы автоматическими тормозными захватами, задерживающими падение клети или ковша при обрыве троса.

3. Ни в коем случае нельзя проникать в шахту подъемника при поднятой клети или спускаться в приемник скрапового подъемника при поднятом наверх ковше.

4. Для предохранения от ушибов при выпадении кусков известняка из переполненного ковша (при его подъеме) наклонный мост скрапового подъемника должен быть подшип с нижней стороны досками или затянут проволочной сеткой.

5. При ручной загрузке шахтной печи известняком ни в коем случае нельзя влезать внутрь шахты (на загруженный в нее известняк), так как это может привести к отравлению окисью углерода, которая, в том или ином количестве, всегда присутствует в отходящих газах.

Кроме того, при наличии в этот момент в шахте печи зависания материала последний может внезапно обрушиться. Содержимое шахты при этом резко оседает, что может привести к гибели (от ударов, удушья и ожогов) находящихся в шахте, на известняке, людей. Подобные случаи имели место на практике.

### 2) Выгрузка извести из печей

1. В напольных и кольцевых печах разгрузку печи (или камеры) необходимо производить сверху, постепенно опускаясь вниз. Нельзя выбирать куски извести снизу, так как при этом садка может обвалиться и причинить ушибы работающим на разгрузке.

### 3) Обслуживание топочных устройств

1. При всяком открытии топочных дверец, вызванном необходимостью заброски свежей порции топлива в топки полного сгорания или же шуровки топлива в полугазовых топках и газогенераторах, а также при чистке колосниковых решеток, дутье в топки надо предварительно выключить. В противном случае вырывающееся через открытые дверцы пламя или газ, вспыхивающий на воздухе, могут причинить ожоги кочегару.

2. После загрузки топлива в полугазовые топки и газогенераторы необходимо тщательно закрывать оба затвора (нижний и верхний) загрузочных коробок, во избежание выбивания в помещение газообразных продуктов. Так как последние содержат значительное количество окиси углерода (угарного газа), то при попадании в помещение полугаз или генераторный газ могут вызвать серьезные отравления работающих.

Обыкновенно верхняя крышка загрузочных коробок оборудуется водяным затвором.

В этом случае необходимо периодически очищать затвор от попадающих в него мелких кусочков угля или иного топлива (для того, чтобы крышка затвора более плотно закрывалась) и своевременно доливать в затвор воду.

3. Газовые коллекторы должны подвергаться периодической очистке от золы и мельчайших частиц топлива, уносимых из топочных устройств. Для этого в коллекторах устанавливают специальные люки, закрываемые герметическими дверцами.

При чистке коллекторов дутье под колосниковые решетки необходимо выключать и соблюдать осторожность, так как через открытые люки полугаз или генераторный газ может поступить наружу и вспыхнуть, причинив ожоги работающим.

Те же меры необходимо предпринять при чистке газовых окон через гляделки в газовом коллекторе. Вообще для предохранения от ожогов, рекомендуется при открывании дверец, люков, гляделок и т. д. становиться не против них, а сбоку.

4. При образовании зависания обжигаемого материала в шахте печи нельзя производить какие-либо наблюдения через открытые при этом гляделки, расположенные ниже образовавшегося зависания, так как при обрушении последнего из гляделок с большой силой вырываются горячие газы, которые могут причинить весьма тяжелые ожоги лица и головы.

5. Инструменты, которыми пользуются для шуровки содер- жимого шахты и топочных устройств, нельзя разбрасывать по всему помещению, так как, будучи сильно нагретыми после употребления, они также могут причинить ожоги рабочим.

Следует отметить, что вышеизложенным, конечно, не могут быть исчерпаны все указания и правила для предупреждения могущих иметь место на практике несчастных случаев.

Лучшей гарантией против таковых являются всемерное и всестороннее владение своей специальностью, а также сознательный подход и добросовестное отношение к работе.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

В к  
техник  
(ограж  
дач, о  
мест и  
сам, ко

1. 1  
извест  
соблю  
более

Оп  
изводи  
Еш  
свали

2.  
извест  
ном п  
на слу  
нетка

вана  
печей  
должн  
тами,  
троса

3.  
ника  
подъе

4.  
извес  
ный 1  
сторс

5.  
случа  
извес  
углер  
ствуе

К  
завис  
Соде  
к гиб  
на из

1.  
камеј  
вниз.  
садка  
на ра

<p><b>Предисловие . . . . .</b></p> <p><b>Раздел I. Сырье для производства извести . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Химический состав известняков . . . . .</li> <li>Физические свойства известняков . . . . .</li> </ul> <p><b>Раздел II. Обжиг известняка . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Разложение углекислого кальция и углекислого магния . . . . .</li> <li>Температура и расход тепла на разложение . . . . .</li> <li>Длительность обжига и ее зависимость от химического состава и величины кусков обжигаемого материала . . . . .</li> </ul> <p><b>Раздел III. Топливо для обжига известняка и способы его использования для целей обжига . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Виды топлива и его состав . . . . .</li> <li>Горючая масса топлива . . . . .</li> <li>Рабочее топливо . . . . .</li> <li>Горение топлива и его теплотворная способность . . . . .</li> <li>Условное топливо . . . . .</li> <li>Процесс полного сгорания топлива . . . . .</li> <li>Полугазовый процесс . . . . .</li> <li>Генераторный процесс . . . . .</li> </ul> <p><b>Раздел IV. Известеобжигательные печи . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Классификация печей . . . . .</li> </ul> <p><b>Глава 1. Напольные печи . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Общие понятия . . . . .</li> <li>Преимущества и недостатки печей . . . . .</li> <li>Типы печей . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Напольная печь-куча для длиннопламенного топлива . . . . .</li> <li>2) Напольная печь-куча для короткопламенного топлива . . . . .</li> <li>3) Напольная печь-яма . . . . .</li> <li>4) Напольная печь с постоянными стенами . . . . .</li> </ul> <li>Оборот напольной печи . . . . .</li> <li>Потери тепла и расход топлива в напольных печах . . . . .</li> </ul> <p><b>Глава 2. Кольцевые печи . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Конструкция печей . . . . .</li> <li>Преимущества и недостатки печей . . . . .</li> <li>Размеры и производительность печей . . . . .</li> <li>Расход топлива . . . . .</li> </ul> <p><b>Глава 3. Шахтные печи . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Общие понятия . . . . .</li> <li>Основные типы печей . . . . .</li> <li>Процесс обжига и зоны в шахтных печах . . . . .</li> <li>Объемное напряжение . . . . .</li> <li>Особенности конструкции и области применения пересыпных и газовых печей . . . . .</li> <li>Потери тепла в печах . . . . .</li> <li>Распределение тепла топлива в печах . . . . .</li> <li>Коэффициент полезного действия . . . . .</li> </ul> <p><b>A. Пересыпные печи . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Печи старой конструкции . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Описание печей . . . . .</li> <li>Объемное напряжение и расход топлива . . . . .</li> </ul> <li>2) Печи современной конструкции . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Характерные особенности печей . . . . .</li> <li>Объемное напряжение и расход топлива . . . . .</li> <li>Описание конструкций . . . . .</li> </ul> </ul>	<p>Стр.</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>6</p> <p>8</p> <p>8</p> <p>8</p> <p>9</p> <p>11</p> <p>11</p> <p>12</p> <p>12</p> <p>13</p> <p>15</p> <p>17</p> <p>18</p> <p>19</p> <p>22</p> <p>22</p> <p>22</p> <p>22</p> <p>23</p> <p>23</p> <p>26</p> <p>28</p> <p>29</p> <p>31</p> <p>32</p> <p>33</p> <p>33</p> <p>35</p> <p>35</p> <p>36</p> <p>36</p> <p>36</p> <p>36</p> <p>37</p> <p>38</p> <p>39</p> <p>39</p> <p>40</p> <p>42</p> <p>43</p> <p>43</p> <p>43</p> <p>44</p> <p>44</p> <p>44</p> <p>45</p>
--	---

<p><b>Б. Газовые печи . . . . .</b></p> <p><b>Конструктивные особенности печей . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Печи с выносными топками полного сгорания . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Особенности и недостатки обжига продуктами полного сгорания топлива . . . . .</li> <li>Объемное напряжение . . . . .</li> <li>Описание конструкций . . . . .</li> <li>Напряжение и площадь колосниковой решетки в выносных топках полного сгорания . . . . .</li> <li>Толщина слоя топлива на колосниковой решетке . . . . .</li> <li>Расход топлива в печах . . . . .</li> </ul> <li>2) Печи с полугазовыми топками . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Общие понятия. Принципиальная конструкция печей . . . . .</li> <li>Тяга в печах . . . . .</li> <li>Устройство и принцип работы полугазовых топок . . . . .</li> <li>Толщина слоя топлива на колосниковой решетке . . . . .</li> <li>Зеркало горения и газификации и его напряжение . . . . .</li> <li>Объемное напряжение и расход топлива в печах . . . . .</li> <li>Описание конструкций печей . . . . .</li> </ul> <li>3) Печи с газогенераторами . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Общие понятия и описание конструкций . . . . .</li> </ul> </ul> <p><b>В. Механизация шахтных печей . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Подача и загрузка известняка в печи . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Скиповые подъемники . . . . .</li> <li>Загрузочные устройства печей . . . . .</li> </ul> <li>2) Выгрузка извести из печей . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Автоматический выгрузной механизм системы Антонова . . . . .</li> <li>Выгрузной механизм системы Иссерлиса . . . . .</li> </ul> </ul> <p><b>Вращающиеся печи . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Устройство конструкции и принцип работы . . . . .</li> <li>2) Временное напряжение и расход топлива . . . . .</li> <li>3) Универсальные и недостатки печей . . . . .</li> </ul> <p><b>V. Эксплоатация известеобжигательных печей . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Обжиг известняка в напольных печах . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Печь для длиннопламенного топлива . . . . .</li> <li>2) Печь для короткопламенного топлива . . . . .</li> </ul> <li>2. Обжиг известняка в кольцевых печах . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Устройство временных топок для розжига печи . . . . .</li> <li>2) Садка известняка в печь . . . . .</li> <li>3) Розжиг печи . . . . .</li> <li>4) Некоторые указания по эксплуатации печи . . . . .</li> </ul> <li>3. Обжиг известняка в шахтных печах . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Просушка печи . . . . .</li> </ul> </ul> <p><b>A. Пересыпные печи . . . . .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Первоначальная загрузка печи . . . . .</li> <li>2) Розжиг печи . . . . .</li> <li>3) Эксплоатация печи . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Сортировка известняка . . . . .</li> <li>Загрузка известняка в печь . . . . .</li> <li>Ручная выгрузка извести из печи . . . . .</li> <li>Автоматическая выгрузка извести из печи . . . . .</li> <li>Сортировка топлива . . . . .</li> <li>Загрузка топлива в печь . . . . .</li> </ul> <li>4) Неполадки в работе печи, причины и способы их устранения . . . . .</li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Перемещение зоны обжига вверх по шахте . . . . .</li> </ul> </ul>	<p>47</p> <p>49</p> <p>49</p> <p>50</p> <p>50</p> <p>51</p> <p>52</p> <p>52</p> <p>52</p> <p>52</p> <p>53</p> <p>53</p> <p>54</p> <p>56</p> <p>56</p> <p>57</p> <p>58</p> <p>63</p> <p>63</p> <p>66</p> <p>66</p> <p>67</p> <p>68</p> <p>68</p> <p>69</p> <p>71</p> <p>71</p> <p>72</p> <p>73</p> <p>74</p> <p>74</p> <p>74</p> <p>76</p> <p>76</p> <p>76</p> <p>76</p> <p>76</p> <p>76</p> <p>77</p> <p>78</p> <p>79</p> <p>82</p> <p>82</p> <p>83</p> <p>84</p> <p>85</p> <p>85</p> <p>86</p> <p>87</p> <p>87</p> <p>87</p> <p>88</p> <p>90</p> <p>91</p>
--	---

В  
техн  
(огр  
дач,  
мест  
сам,

1  
изве  
собл  
боле  
С  
изво  
Е  
свал

2.  
изве  
ном  
на с.  
нетк  
вана  
пече  
доля  
тами  
трос:

3.  
ника  
подъ

4.

изве

ный

стор

5.

случа

извес

углер

ствуе

К

завис

Соде

к гиб

на из

1.  
камер  
вниз.  
садка  
на ра

116

Перемещение зоны обжига вниз по шахте . . . . .	91
Перекос зоны обжига . . . . .	91
Сильное удлинение вверх зоны обжига . . . . .	92
Плохая осадка содержимого шахты . . . . .	92
Зависание материала в шахте . . . . .	92

#### Б. Газовые печи

1) Первоначальная загрузка печи . . . . .	93
2) Розжиг печи . . . . .	93
3) Эксплоатация печи . . . . .	94
Сортировка известняка . . . . .	94
Загрузка известняка в печь и выгрузка из нее извести . . . . .	94
Сортировка топлива . . . . .	94
Загрузка топлива в топки и обслуживание колосниковой решетки . . . . .	96
4) Неполадки в работе печи, причины и способы их устранения . . . . .	97
Недостаточный накал известняка в зоне обжига . . . . .	97
Чрезмерный накал известняка в шахте . . . . .	97
Выбивание полугаза из топок и гляделок в коллекторе . . . . .	99
Плохое горение полугаза в шахте . . . . .	99
Увеличение температуры отходящих газов . . . . .	100
Увеличение температуры выгружаемой из печи извести . . . . .	101
Недожог . . . . .	101

#### Глава 4. Контроль процесса обжига . . . . .

Объекты контроля . . . . .	22
1) Приборы для измерения температуры . . . . .	22
Технические ртутные термометры . . . . .	23
Термо-электрические пирометры . . . . .	23
2) Приборы для измерения тяги . . . . .	26
U-образный тягомер . . . . .	28
Тягомер Креля . . . . .	29
3) Контроль отходящих газов . . . . .	31
Температура . . . . .	32
Состав . . . . .	33
4) Контроль тяги . . . . .	33
Сопротивление обжигаемого материала в шахте . . . . .	112
Сопротивление слоя топлива в топочных устройствах . . . . .	112
5) Контроль температуры выгружаемой из печи извести . . . . .	112
6) Учет известняка, топлива и извести . . . . .	112

Глава 5. Техника безопасности при обжиге известняка . . . . .	13
1) Подача и загрузка известняка в печи . . . . .	14
2) Выгрузка извести из печей . . . . .	14
3) Обслуживание топочных устройств . . . . .	14

Редактор Н. Б. Лунц

Л 44359 Под. к печ. 23/VI 1948 г. Тираж 2000. Изд. №  
Объем 7,5 п. л. 7,6 авт. л. 8 уч.-изд. л., форм. бум. 60 × 92 1/16 Зак. №

2-я типография Трансжелдориздата им. Лоханкова, Ленинград

# Гардаика

## ное радио в Санкт-П



2,4 МГц  
,05 МГц (4,34 м)

ел. 110-00-10

274-48-48

для рекламы:

110-02-47

Фирма "Экспод  
в малых и огромных  
тематических з  
Широкий диапазон  
профессиональной  
развитие выставочн  
Мы выполним л  
Наш адрес: Россия  
E-mail: exp@mail.net

