

# СЛОЕВОЕ СЖИГАНИЕ ТОПЛИВА

## Лекция № 8

### Классификация слоевых топок

Слоевые топки предназначены для сжигания твердого кускового топлива. Они просты в эксплуатации, пригодны для различных сортов топлива, не требуют больших объемов топки, могут работать при значительных колебаниях тепловой нагрузки, отличаются относительно небольшим расходом энергии на собственные нужды и, главное, не требуют дорогих пылеприготовительных устройств.

Для сжигания твердого топлива в плотном слое применяют разнообразные топочные устройства, различающиеся как теплотехническими характеристиками (способами подвода топлива и воздуха, организацией смесеобразования, тепловой подготовкой), так и конструктивным исполнением. Обслуживание топки, в которой топливо сжигается в слое, сводится к следующим основным операциям: подача топлива в топку; шурование слоя, т.е. перемещение кусочков топлива относительно один другого и колосниковой решетки, на которой топливо сжигается, для улучшения условий подвода окислителя и удаления из топки шлака.

В зависимости от степени механизации указанных операций топочные устройства можно разделить на немеханизированные (все три операции выполняются вручную); полумеханические (механизированы одна или две операции); механические (механизированы все три операции).

По режиму подачи топлива в плотный слой различают топочные устройства с периодической и непрерывной загрузкой топлива.

По организации тепловой подготовки и воспламенения топлива в слое различают топки с нижним, верхним и смешанным воспламенением.

### Характеристики процесса горения твердого топлива в плотном слое

Структура горящего слоя твердого топлива, неподвижно лежащего на колосниковой решетке, при верхней загрузке топлива приведена на рис. 6.1, а. В верхней части слоя после загрузки находится свежее топливо, ниже располагается горящий кокс, а непосредственно над решеткой – шлак. По мере движения при горении топливо и продукты его горения постепенно проходят все зоны. После загрузки на слой горящего кокса свежей порции

топлива она постепенно нагревается, при этом происходит испарение влаги, выделение летучих веществ. На рис. 6.1, б показано примерное распределение температуры по высоте слоя. Область наиболее высокой температуры соответствует зоне горения кокса, т.е. здесь и выделяется основное количество теплоты.

Образующийся при горении топлива шлак в виде жидких капель стекает с раскаленных кусочков кокса навстречу потоку воздуха. Оказавшись в слоях более низких температур, шлак охлаждается и колосниковой решетки он достигает уже в твердом состоянии. Его периодически удаляют с решетки, хотя он служит защитой от перегрева и, кроме того, служит источником теплоты для подогрева воздуха, способствует распределению воздуха по слою.

Воздух, поступающий в слой топлива через решетку, называют первичным. Если первичного воздуха не хватает для полного сгорания топлива и над слоем имеются продукты неполного сгорания, то организуют дополнительную подачу воздуха в надслойное пространство. Такой воздух называют вторичным.

При верхней загрузке топлива на решетку осуществляются нижнее воспламенение топлива и встречное движение газозоудного и топливного потоков. Этим достигаются эффективное зажигание топлива и благоприятные условия его горения.

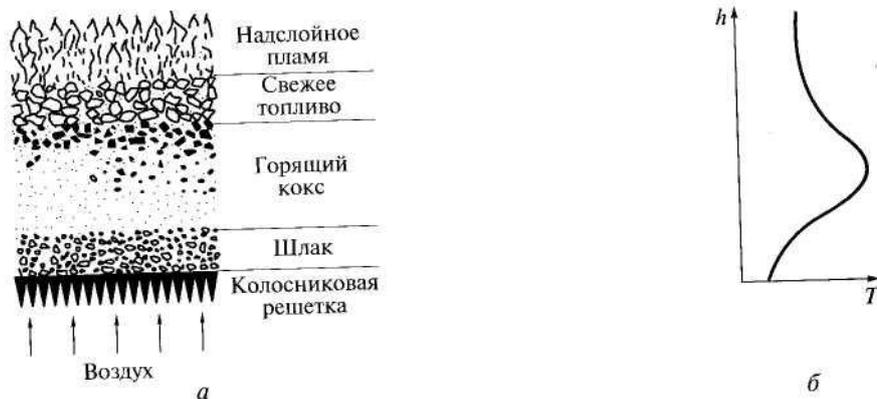


Рис. 6.1. Структура (а) горящего слоя твердого топлива и график (б) распределения температуры  $T$  по его высоте  $h$

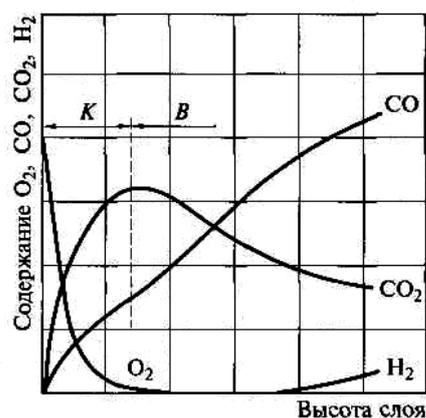
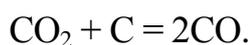


Рис. 6.2. Газообразование в слое горящего топлива: К – кислородная зона; В – восстановительная зона; O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> – кривые изменения содержания кислорода и продуктов горения топлива в слое.

Первичные химические реакции между топливом и окислителем O<sub>2</sub> происходят в зоне раскаленного кокса. Характер газообразования в слое горящего топлива показан на рис. 6.2. У основания слоя, в кислородной зоне К, в которой происходит интенсивное расходование кислорода, одновременно образуются CO<sub>2</sub> и CO. К концу кислородной зоны содержание O<sub>2</sub> снижается до 1...2 %, а концентрация CO<sub>2</sub> достигает своего максимума. Температура слоя в кислородной зоне резко возрастает, имея максимум там, где устанавливается наибольшая концентрация CO<sub>2</sub>.

В восстановительной зоне В кислород практически отсутствует. В этой зоне происходит восстановление CO<sub>2</sub> на раскаленном углероде по реакции



По высоте восстановительной зоны содержание CO<sub>2</sub> в газе уменьшается, тогда как содержание CO соответственно увеличивается.

Толщины кислородной и восстановительной зон зависят, в основном, от типа и размеров кусков горящего топлива и температурного режима. С увеличением крупности топлива толщины зон увеличиваются. Установлено, что толщина кислородной зоны составляет примерно 3-4 диаметра горящих частиц. Восстановительная зона толще кислородной в 4-6 раз.

### Топки для сжигания твердого топлива в слое

**Слоевые топки с неподвижной колосниковой решеткой и неподвижным слоем топлива.** Топки слоевого сжигания с неподвижным

слоем на неподвижной колосниковой решетке (рис. 6.3) применяются в котлах малой мощности, как правило, с ручным обслуживанием и периодической загрузкой топлива. Они содержат решетку из чугунных колосников 2, опирающихся на балки 4, заделанные в ее кирпичные стены 3. Под решетку подают специальным воздухопроводом 6 (с помощью вентилятора или за счет естественной тяги) воздух, используемый для горения топлива. В колосниках имеются отверстия круглого или щелевидного сечения, расширяющиеся вниз, чтобы исключить застревание в них шлака, проваливающегося в бункер 5. Свежие порции топлива забрасывают равномерным слоем на решетку через загрузочное окно 1, закрываемое дверцей.

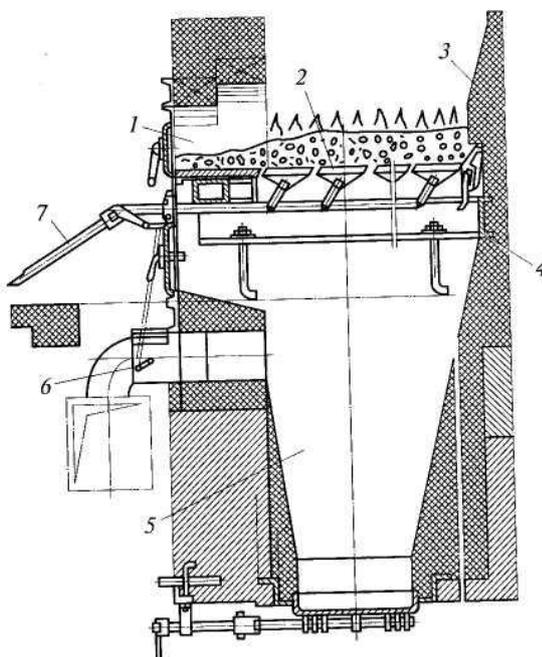


Рис. 6.3. Топка с колосниковой решеткой с ручным обслуживанием: 1 – загрузочное окно; 2 – колосник; 3 – стена топки; 4 – опорная балка; 5 – бункер; 6 – воздуховод; 7 – привод решетки

Обслуживание ручных слоевых топок связано со значительными интенсивными затратами тяжелого физического труда. Частичная механизация ручной топки может быть достигнута установкой поворотных или качающихся колосников (рис. 6.4). Этим облегчается одна их наиболее трудоемких печных операций – очистка решетки от шлака.

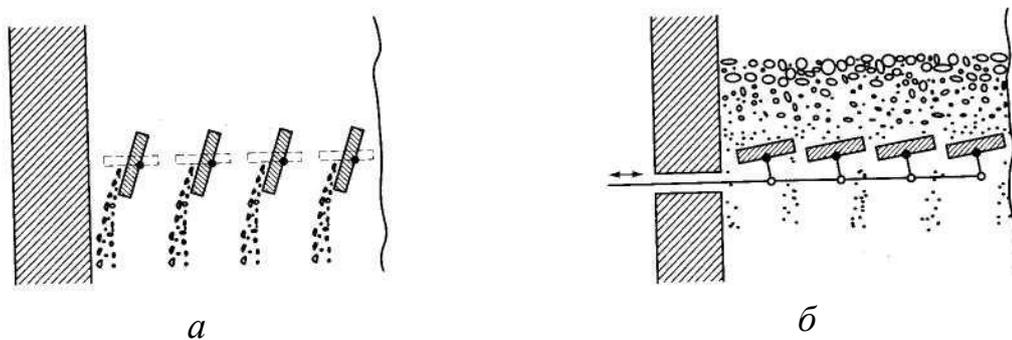


Рис. 6.4. Схема действия поворотных (а) и качающихся (б) колосников

При установке поворотных колосников колосниковая решетка составляется из 3-4 отдельных секций, каждая из которых состоит из поворотных колосников, закрепленных на общем валу. Для очистки топки от шлака секции поочередно включаются на выжиг топлива, после чего поворотом колосников шлак со всей секции сбрасывается в шлаковый бункер, установленный под решеткой.

В отличие от поворотных колосников, где с решетки после выжига удаляется весь шлак, при работе с качающимися колосниками при периодическом их покачивании достигаются разрыхление шлака и удаление лишь низлежащего наиболее выгоревшего слоя. Процесс горения слоя топлива, находящегося выше, при этом не нарушается.

Полную очистку топки от шлака при наличии качающихся колосников проводят через 1...3 суток, а не 1-2 раза в смену, как это имеет место при неподвижных колосниках. Для поворотных и качающихся колосников применяют как ручной, так и механизированный приводы.

Облегчение труда машиниста, а также улучшение условий работы слоя достигаются механизацией загрузки топлива на решетку с применением различных забрасывателей. В этом случае перед фронтом топки устанавливают бункер, из которого топливо поступает к забрасывателю, который подает его на слой. Используемые на практике забрасыватели топлива подразделяют на механические, пневматические и пневмомеханические. Схемы забрасывателей показаны на рис. 6.5. Обычно по ширине топки устанавливают несколько забрасывателей топлива.

При использовании механического забрасывателя (рис. 6.5, а) подача топлива на решетку осуществляется непрерывно вращающимся со скоростью  $550...800 \text{ мин}^{-1}$  лопастным метателем 2, к которому топливо поступает с помощью дозирующего устройства 1.

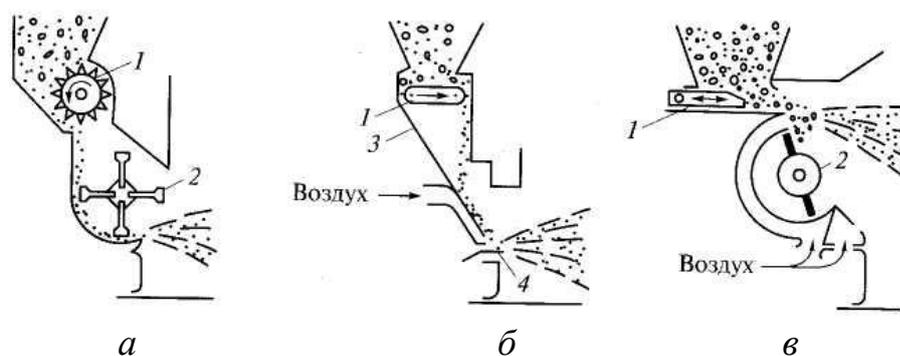


Рис. 6.5. Забрасыватели топлива:

а – механический; б – пневматический; в – пневмомеханический: 1 – дозирующее устройство; 2 – метатель; 3 – разгонная плита; 4 – распределительная плита

В пневматическом забрасывателе (рис. 6.5, б) топливо с разгонной плиты 3 сдувается на решетку воздухом, потоки которого устремляются из сопел круглой или щелевидной формы.

Расход воздуха составляет  $0,2...0,25 \text{ м}^3/\text{кг}$  топлива, скорость истечения воздуха –  $30...80 \text{ м/с}$ . В паровых пневматических забрасывателях используют пар, выходящий из сопел со скоростью около  $400 \text{ м/с}$ .

Забрасыватели дают неравномерное по фракционному составу распределение топлива по длине решетки, что нежелательно. Механические забрасыватели подают более крупные куски топлива на заднюю часть решетки, а мелкие – на переднюю. Пневматические (паровые) забрасыватели, наоборот, загружают более крупные куски топлива ближе к фронту топки, а более мелкие куски – в заднюю часть топки.

По принципу действия пневмомеханический забрасыватель (рис. 6.5, в) сочетает в себе механическое и пневматическое воздействие на кусочки топлива, в результате чего достигается более равномерное распределение топлива разных фракций по длине решетки.

### **Топки с неподвижной колосниковой решеткой и перемещающимся слоем топлива**

Для сжигания твердого кускового топлива используют топки с неподвижными наклонными решетками с перемещающимся слоем топлива (рис. 6.6, а). Топливо из бункера 1 сползает или подается дозатором в вертикальную шахту 9 и далее – на наклонно установленные колосниковые решетки 8. Для горения под решетки вводится по каналам 7 воздух, который пронизывает слой лежащего топлива.

По мере выгорания топливо перемещается на подпирющие (горизонтальные или слабонаклонные) дожигательные решетки 6, под которыми располагается золовой бункер 5. Для дожигания топлива в объеме топки 4 на ее стенах 2 предусмотрены сопла 3 для подачи вторичного воздуха.

На рис. 6.6, б приведена топка скоростного горения с вертикально перемещающимся зажатым слоем топлива, предназначенная для сжигания древесных отходов. Вертикальную шахту 9 образуют фронтальная кирпичная стена и зажимающая стена 11 с отверстиями, отделяющая топливо от топочной камеры 4. Окна 10 в верхней части до шахты обеспечивают проникновение в слой движущегося топлива топочных газов, интенсифицирующих протекание начальных фаз горения (нагрева топлива и выделения летучих). Подаваемый по воздушным каналам 7 воздух проходит через вертикальный слой топлива в сторону зажимающей стены и участвует в горении летучих и частично кокса. Продукты горения выводятся через отверстия в зажимающей стене. Часть воздуха подается на наклонную дожигательную решетку 6 и в объем топки через сопла 13.

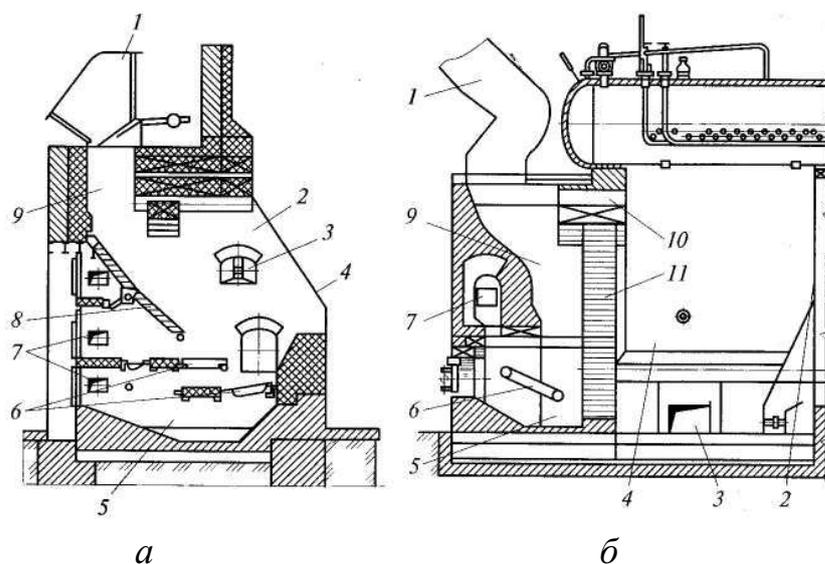


Рис. 6.6. Топки с неподвижными наклонными решетками с перемещающимся (а) и зажатым (б) слоями топлива:

- 1 – угольный бункер; 2 – стена топки; 3 – воздушное сопло; 4 – топочная камера (топка); 5 – золовой бункер; 6 – дожигательная решетка; 7 – воздушные каналы; 8 – колосниковая решетка; 9 – шахта; 10 – окно; 11 – зажимающая стена шахты.

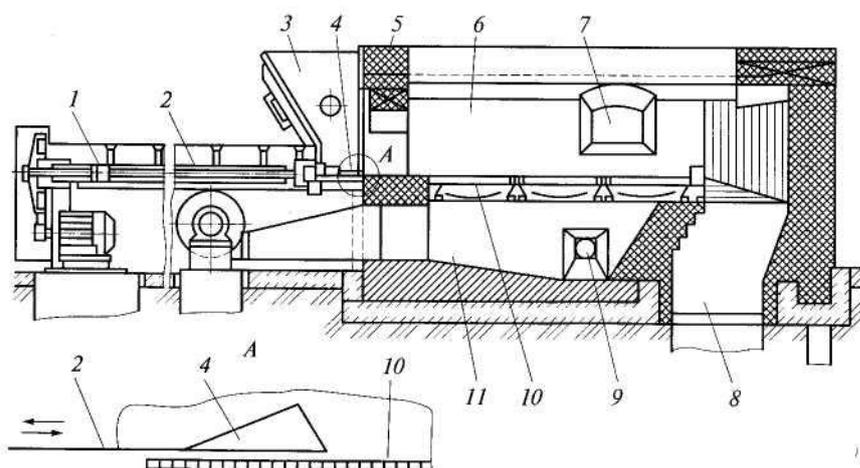


Рис. 6.7. Топка с шурующей планкой:

1 – привод планки; 2 – штанга; 3 – бункер топлива; 4 – шурующая планка; 5 – стена топки; 6 – топка; 7 – рабочее окно; 8 – шлаковый бункер; 9 – воздушный короб; 10 – колосниковая решетка; 11 – подина; стрелками показано направление движения шурующей планки

Принцип слоевого сжигания в периодически перемешиваемом и перемещаемом слое реализуется в топках с шурующей планкой (рис. 6.7), в которой механизированы все три операции: подачи топлива в топку, шуровки слоя и удаления шлака. Топливо из бункера 3 поступает на горизонтальную неподвижную колосниковую решетку 10 с помощью шурующей планки 4, связанной штангой 2 с приводом 1.

Специфическая форма планки 4 с более крутым подъемом в сторону топки и пологая в обратном направлении (см. узел А на рис. 6.7) позволяет осуществлять переталкивание свежих порций топлива к противоположной стене топки 6 по колосниковой решетке 10 с подпорным уступом перед шлаковым бункером 8. Частичное перемещение раскаленного топлива в сторону свежего при обратном ходе планки способствует более раннему его зажиганию. Периодическое перемещение и перемешивание топлива при движении шурующей планки благоприятствует более равномерному его распределению по решетке, интенсификации горения, разрушению образующейся на колосниках шлаковой корки и более равномерному распределению воздуха, поступающего под полотно решетки из коробов 9. При шуровке наиболее мелкая зола может просыпаться через колосниковую решетку на подину 11, с которой она периодически удаляется.

### **Топки с движущейся колосниковой решеткой**

В механизированных топках с движущимися колосниковыми решетками горение происходит в плотном слое топлива, неподвижном относительно движущейся решетки. Свежие порции топлива либо подаются непосредственно на поступающую в топку часть полотна, либо разбрасываются сверху по полотну решетки с помощью специальных разбрасывателей.

В настоящее время применяются механические топки (рис. 6.8) с колосниковыми решетками прямого и обратного хода. В топке с решеткой прямого хода полотно с топливом перемещается от фронта топки к задней стенке (рис. 6.8, а), а в топке с решеткой обратного хода – от задней стенки к фронту (рис. 6.8, б).

В механических топках с цепными решетками полотно решетки 3 состоит из отдельных колосников, укрепленных на шарнирных цепях, надетых на две пары звездочек 6. Ведущая пара приводится во вращение электродвигателем через редуктор. Скорость движения решетки можно изменять от 1 до 18 м/ч.

Топливо из загрузочного ящика 1 поступает на движущуюся решетку. Желаемую толщину слоя топлива устанавливают шибером 2, который может перемещаться по вертикали. Необходимый для горения воздух подводится под решетку (между полотнами) и поступает в слой через зазоры в колосниках. По мере продвижения решетки топливо выгорает. Образующийся шлак сбрасывается с решетки шлакоснимателем 4 в шлаковый бункер 5.

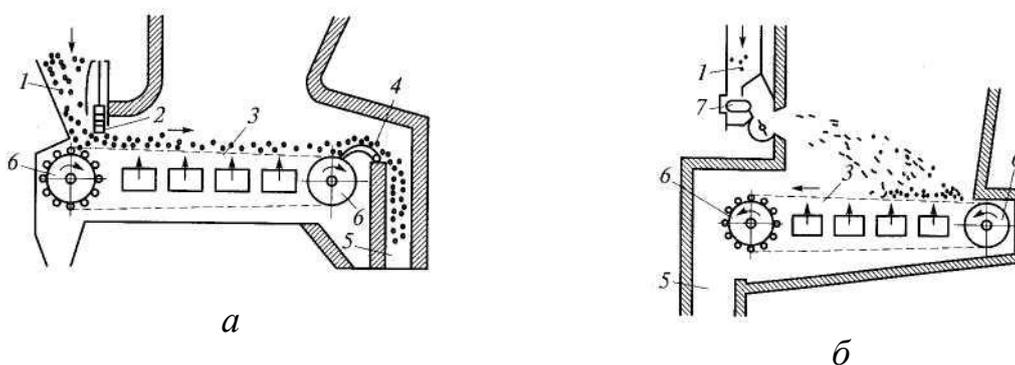


Рис. 6.8. Механические топки с колосниковыми решетками: а – прямого хода; б – обратного хода; 1 – загрузочный ящик; 2 – шибер; 3 – полотно решетки; 4 – шлакосниматель; 5 – шлаковый бункер; 6 – звездочки; 7 – пневмомеханический забрасыватель топлива.

Чешуйчатая цепная решетка (рис. 6.9) состоит из полотна 1, набранного из наклонно расположенных беспровальных колосников.

Кусочки провала (несгоревшие кусочки топлива) собираются в карманах 6 нижней части колосников. При ходе полотна вниз колосники опрокидываются и уловленный провал сбрасывается в бункер. Воздух проходит в слой через узкие щели в местах прилегания колосников одного к другому.

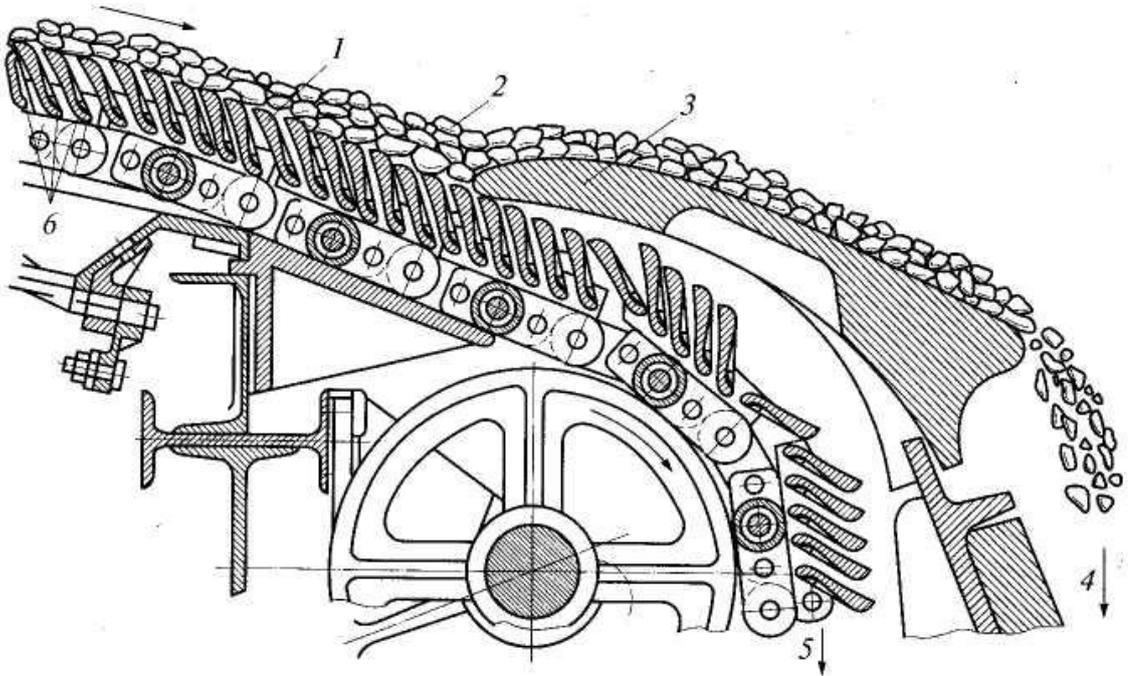


Рис. 6.9. Чешуйчатые беспровальные колосники и шлакосниматель: 1 – полотно решетки; 2 – шлак; 3 – шлакосниматели; 4 – сброс шлака в шлаковый бункер; 5 – сброс провала; 6 – карманы для сбора провала

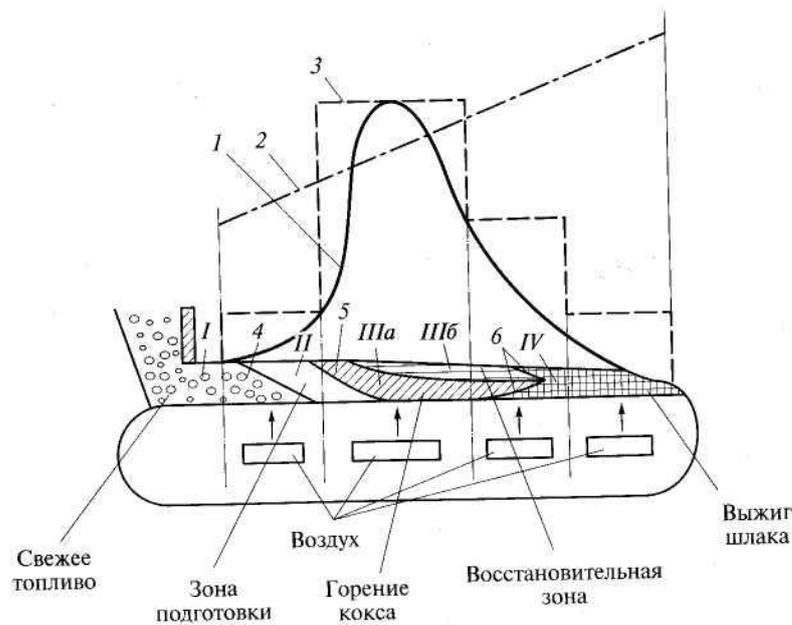


Рис. 6.10. Схема организации процесса горения на решетке прямого хода и графики распределения расхода воздуха по ее длине:

1 – потребный для горения расход воздуха; 2 – распределение воздуха по длине решетки без регулирования; 3 – расход воздуха при регулируемой его подаче; 4, 5 – границы, соответственно, начала и завершения выделения летучих; 6 – граница завершения горения топлива; I – зона сушки; II – зона выделения летучих; III а – окислительная зона горения кокса; III б – то же, восстановительная; IV – зона шлака.

В топках с решетками обратного хода (см. рис. 6.8, б) применяют цепные решетки типа ТЧЗ (чешуйчатые с забрасывателем топлива), а также ТЛЗМ (ленчатые моноблочные с забрасывателем топлива).

Топливо поступает на решетку прямого хода на относительно холодные колосники. Прогрев его происходит в основном за счет теплоты излучения надслойно горящих газов, разогретой обмуровки топки и лишь частично от впереди расположенного на решетке горящего топлива. Таким образом, в топках прямого хода имеется и верхнее зажигание, при котором первоначально прогреваются и начинают гореть верхние слои топлива, а затем происходит разогрев и горение нижерасположенных слоев, переместившихся за время задержки горения на некоторое расстояние. Поэтому границы отдельных зон (рис. 6.10) на начальном участке расположены в виде наклонных плоскостей: 4 – граница начала зоны II выделения летучих и 5 – граница конца выделения летучих и начала зоны III горения кокса.

По мере выгорания топлива (кокса) расход воздуха начинает превышать количество воздуха, потребное для горения, температура в слое устанавливается достаточно высокая и процесс горения начинает распространяться из середины слоя как вниз (окислительная зона III а), так и вверх (восстановительная зона III б). Кривая 6 – граница зоны завершения горения основной массы топлива, далее находится зона IV шлака с небольшим количеством несгоревшего топлива.

При горении топлива потребность в воздухе по длине меняется (см. кривую 1): в процессе сушки в зоне I и в конце зоны IV она минимальна, а в зонах выделения летучих и горения кокса (II, III а, III б) наибольшая.

При общем подводе воздуха под решетку, вследствие уменьшения сопротивления слоя топлива на решетке его расход по мере выгорания топлива возрастал бы в соответствии с кривой 2 на рис. 6.10, т.е. использовался бы неэффективно. Поэтому для сжигания топлива воздух под решетку подают по зонам, через секции, что позволяет контролировать соответствие его расхода степени развития процесса горения по кривой 3.

Топка с цепной решеткой обратного хода (см. рис. 6.8, б) оснащена пневмомеханическими забрасывателями 7, установленными перед фронтальной стеной и разбрасывающими топливо по полотну 1 решетки. Для горения топлива подается воздух, распределяемый по длине решетки в соответствии с интенсивностью горения топлива в отдельных зонах. Так как новые порции топлива подаются на слой уже горящего топлива, они поджигаются как снизу (нижнее зажигание), так и сверху (верхнее зажигание). Интенсивность горения топлива в этих топках выше, чем в топках с прямым ходом решетки.

Газы, выходящие из горящего на цепной решетке слоя топлива, наряду с продуктами полного сгорания содержат горючие составляющие и кислород. Для снижения потерь теплоты от химической неполноты сгорания необходимо горючие компоненты и кислород, имеющиеся в топке, хорошо перемешать для завершения горения.

Весьма эффективным способом интенсификации перемешивания газов в топке является применение «острого» дутья, т.е. вдувание воздуха в топочную камеру с большой (50...80 м/с) скоростью в виде относительно тонких струй. Расход воздуха на «острое» (вторичное) дутье составляет 5...10 % общего его расхода.

Для уменьшения потерь теплоты от механической неполноты сгорания необходимо всемерно интенсифицировать выжиг топлива на шлаковом участке решетки. Эффективными в этом отношении являются низко расположенные в этой зоне горячие кирпичные своды. При налаженном процессе горение на решетке должно полностью заканчиваться примерно на расстоянии 0,3...0,5 м от места сброса шлака с решетки. В месте схода шлака устанавливают шлакосниматель (см. рис. 6.9), который несколько замедляет движение шлака, способствуя его выжигу, а также защищает решетку от оголения.

Чтобы избежать образования наростов шлака на боковых стенах топочной камеры, на уровне верхнего полотна цепной решетки с боковых ее сторон устанавливают водоохлаждаемые панели, представляющие собой коллекторы, включенные в систему циркуляции котла.

Применение горячего дутьевого воздуха способствует интенсификации горения топлива в слое. Предел подогрева воздуха лимитируется условиями работы решетки. Так, при сжигании на решетке антрацита – угольного топлива с малым выходом летучих, для которого тепловыделение происходит в основном в слое, – применяют подогрев воздуха до 150...170 °С. При сжигании топлив с высоким выходом летучих (бурые, каменные угли), для которых тепловыделение в значительной степени переносится в топочный объем, применяют воздух, подогретый до 200...250 °С.

## Топки с кипящим слоем

Эффективное сжигание твердого мелкозернистого (0...20 мм) топлива может быть достигнуто при использовании принципа кипящего слоя. При подаче воздуха под решетку плотный фильтруемый слой при определенных скоростях воздуха начинает расширяться, и при некотором дальнейшем увеличении скорости воздуха частицы приходят в движение.

Объем слоя в результате этого увеличивается в 1,2-1,8 раза в зависимости от интенсивности дутья и размера частиц топлива. Частицы топлива совершают возвратно-поступательное движение по высоте слоя, превращая слой топлива в подобие кипящей жидкости (рис. 6.11, а). По мере выгорания мелкие частицы выносятся в объем топки и там сгорают.

В кипящем слое в отличие от плотного слоя температура горения ниже (до 1000...1200 °С). Температуру кипящего слоя поддерживают на уровне, исключающем плавление золы, во избежание шлакования слоя. Это может быть достигнуто установкой в слое охлаждающих поверхностей, рециркуляцией дымовых газов. Кусочки топлива в кипящем слое интенсивно обдуваются воздухом, что способствует высокой скорости их сжигания.

На рис. 6.11, б показана схема топки с кипящим слоем, в которой топливо из бункера 4 подается в топку 3 на решетку 1. Под решетку вентилятором 8 нагнетается воздух. Из бункера 5 в топливо добавляется размолотый доломит для связывания образующихся при сжигании оксидов серы. Крупные частицы топлива, уносимые из топки в газоход, улавливаются в высокотемпературном циклоне и возвращаются на дожигание в топку.

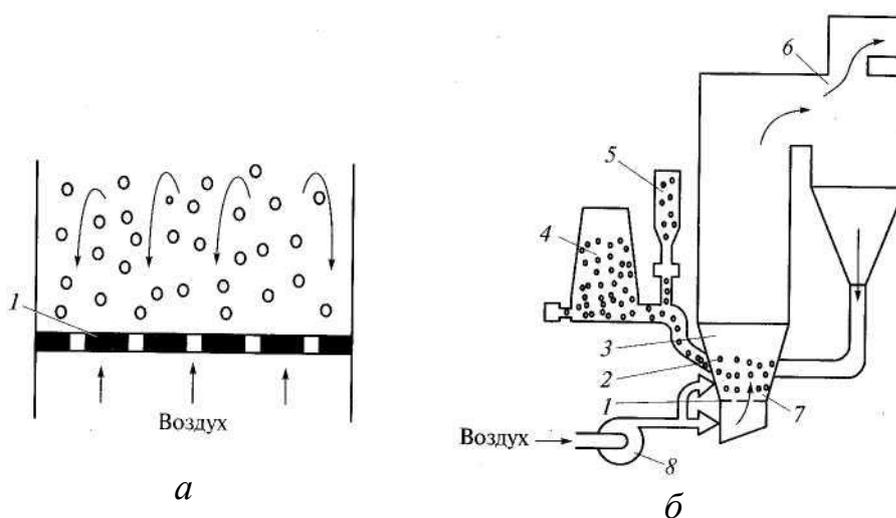


Рис. 6.11. Топки для сжигания топлива в кипящем слое:

а – схема сжигания топлива; б – конструкция с высокотемпературным циклоном; 1 – решетка; 2 – топливо; 3 – топка; 4 – бункер угля; 5 – бункер присадки; 6 – высокотемпературный циклон; 7 – погруженная поверхность нагрева; 8 – вентилятор.

Особый интерес к организации сжигания топлив в кипящем слое вызван следующим. Во-первых, для сжигания в кипящем слое пригодны различные твердые топлива, включая низкосортные, крупностью 0...20 мм. При этом значительно сокращаются расходы на топливоприготовление. Расположение погруженной поверхности нагрева 7 в кипящем слое, где коэффициент теплоотдачи составляет 200...300 Вт/(м<sup>2</sup>·К), обеспечивает существенное снижение металлоемкости установки. Работа с относительно низкотемпературным слоем приводит к значительному уменьшению загрязнения атмосферы, так как большая часть серы, содержащейся в топливе, остается в слое и удаляется вместе с золой. Благодаря более низкой температуре процесса отходящие из кипящего слоя газы практически не содержат токсичных оксидов азота.