

Секция 3

Производство тепловой и электрической энергии

МЕРЫ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА В ТОПКАХ КОТЛОВ С ЦИРКУЛИРУЮЩИМ КИПЯЩИМ СЛОЕМ

С.А. Пузырёв

*Томский политехнический университет,
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, гр. 5ВМ31*

Научный руководитель: А.В. Гиль, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

Широкое распространение технологии циркулирующего кипящего слоя (ЦКС) в мировой энергетике обусловлено возможностью сжигания различных топлив, в том числе низкосортных с низкой теплотой сгорания, при малых выбросах вредных веществ за счёт особенностей организации внутритопочных процессов и при минимальной подготовке топлива посредством дробления.

Освоение технологии в России осложнено отсутствием промышленных установок, низким финансированием исследований, а также отсутствием кооперации с зарубежными научными и исследовательскими организациями. Проводимые исследования в основном посвящены изучению теплообмена и гидродинамических процессов в двухфазном потоке в топочной камере и в контуре циркуляции частиц.

Внедрение технологии может затруднить высокий эрозионный и абразивный износ поверхностей нагрева. Теплообмен в топках котлов с ЦКС совершается в условиях периодического контакта экранных поверхностей со снисходящим вдоль стен потоком частиц [1]. Контактный способ передачи тепла обеспечивает высокие коэффициенты теплоотдачи при высокой частоте контактов, однако приводит к износу и повреждению труб, особенно в нижней части топки, т. е. в зоне высокой концентрации частиц. В том числе, при эксплуатации единственного в отечественной энергетике котла с ЦКС, происходили частые остановки, вызванные разрывами труб экранных панелей. По причине эрозионного износа возникали многочисленные дефекты футеровки [2].

В Китае разработан комплексный подход к решению данной проблемы. На этапе внедрения технологии ЦКС в 90-х годах прошлого века, эксплуатация оборудования при высоких скоростях псевдоожижения приводила к частым аварийным остановам по причине эрозионного износа труб [3]. Средняя продолжительность работы оборудования без аварийных остановов составляла 74 дня [4]. Организация плотного сотрудничества высших учебных заведений с котлостроительными компаниями в 2000-х гг. позволила сформировать собственную методику конструкторского теплового расчёта [4]. Основополагающими параметрами при

конструировании топочной камеры являются скорость псевдоожижения u_f и расход циркулирующих частиц на выходе из топки G_s . Скорость псевдоожижения выше 6 м/с является нежелательной [1, 3]. Выбор параметров определяется по номограмме, представленной на рис. 1. Указанные рекомендации используются при разработке нового и эксплуатации действующего оборудования в Китае [3].

Дополнительный эффект снижения износа поверхностей нагрева достигается при внедрении в топочный контур новых элементов – футеровочных поясов. Размещение нескольких по высоте футеровочных поясов позволяет разрушить непрерывность нисходящего потока частиц вдоль стен, рис. 2, что снижает скорость падения с 8 до менее 3 м/с [4]. Количество поясов и высота между ними определяются конструктивно, из условия ликвидации высокого разгона частиц вдоль стен. Чрезмерная установка поясов приведет к заметному снижению коэффициента теплопередачи и росту температур в топке.

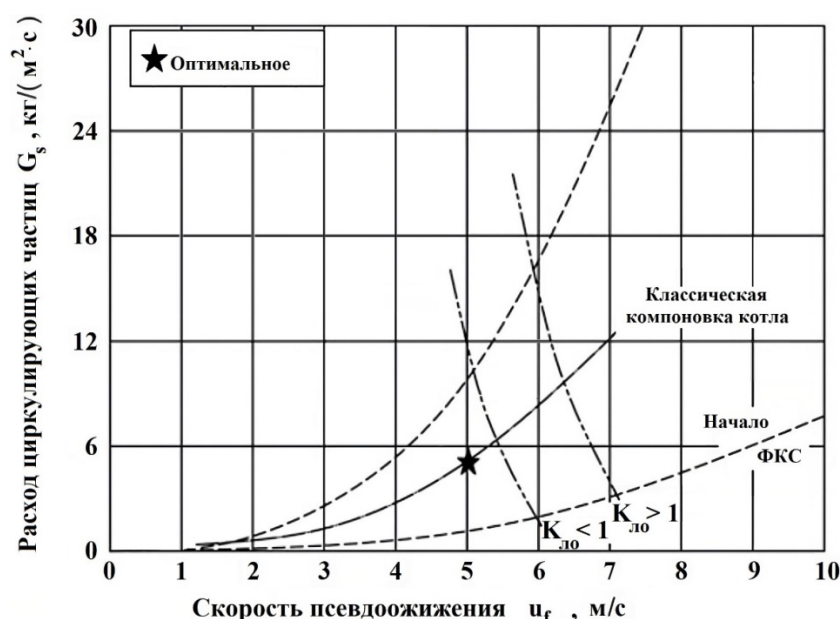


Рис. 1. К определению параметров псевдоожижения (изменено)

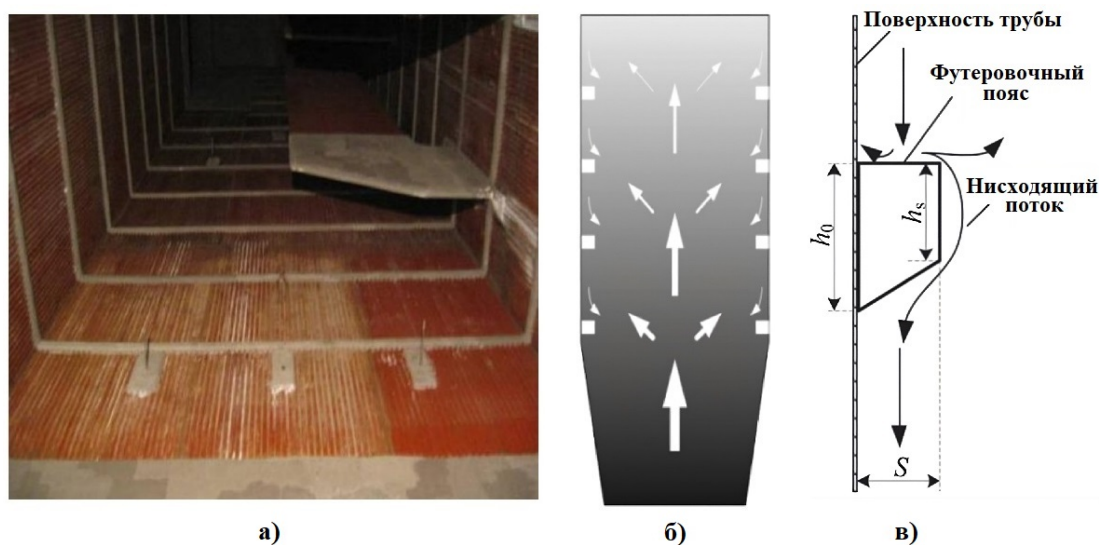


Рис. 2. Футеровочные пояса:
а) на действующем котле; б) влияние на формирование нисходящих потоков;
в) схематическое изображение

Технология минимизирует эрозионный износ в нижней части топки и на участке под поясами. Для повышения надежности необходимо предусмотреть нанесение на трубы слоя износостойкого материала на небольшом по высоте участке прямо над выступами, ввиду отскоков от них частиц в сторону поверхностей нагрева. Рекомендуемые размеры футеровочных поясов по сечению, рис. 2: ширина $S = 6$ мм, меньшее основание трапеции $h_s = 14$ мм, большее основание трапеции $h_0 = 20$ мм [5].

Внедрение в топочный контур футеровочных поясов снижает средний коэффициент теплопередачи от двухфазного потока к трубам примерно на 2,3 % и повышает температуру на выходе из топки, примерно на 30 °С [6]. Технология используется на более чем 200 котлах с ЦКС китайского производства [4].

Минимизация коррозионно-эрозионного воздействия на экранные трубы в нижней части топки, в зоне придонного слоя, достигается путём нанесения на экраны слоя футеровки. Высота футерованной части определяется конструктивно, из условия размещения в ней течек подвода топлива, золы и известняка, а также сопел вторичного воздуха. Рекомендуемая высота 3–10 м [7]. Толщина слоя обычно составляет от 114 до 127 мм [8]. При кирпичной кладке, граница между защитным слоем и самими экранами может представлять собой перпендикулярный вертикальным панелям выступ, рис. 3. В таком случае, возникает отскок частиц нисходящего потока от выступа в сторону труб, что приводит к их повреждению [9]. Недостатком конструкции также является низкая устойчивость к абразивному износу.



Рис. 3. Выступ слоя футеровки: а) на действующем котле; б) схематическое изображение

Ликвидация выступающего участка позволяет избежать износа труб при отскоке частиц от выступа и минимизировать разрушение слоя защитного материала при прямом контакте с частицами возвратных потоков. В связи с этим, применение находят конструкции, где граница футеровки расположена в одной плоскости с экранными трубами [9]. В патенте [10] представлены два варианта выполнения футерованной нижней части, без образования выступов. Запатентованные конфигурации проиллюстрированы рис. 4.

Ввод в эксплуатацию котлов с ЦКС связан как с высокой стоимостью самих установок, так и с высокой стоимостью их обслуживания. Приведённые выше меры, в своей совокупности, позволяют предотвратить интенсивный износ поверхностей нагрева при контакте с частицами нисходящих потоков, продлить срок службы оборудования и сократить необходимость в аварийных остановах. Рассмотренные методы подавления износа могут быть использованы и у нас, например, при реконструкции котлов с форсированным кипящим слоем (ФКС), либо при разработке и проектировании новых котлов с ЦКС.

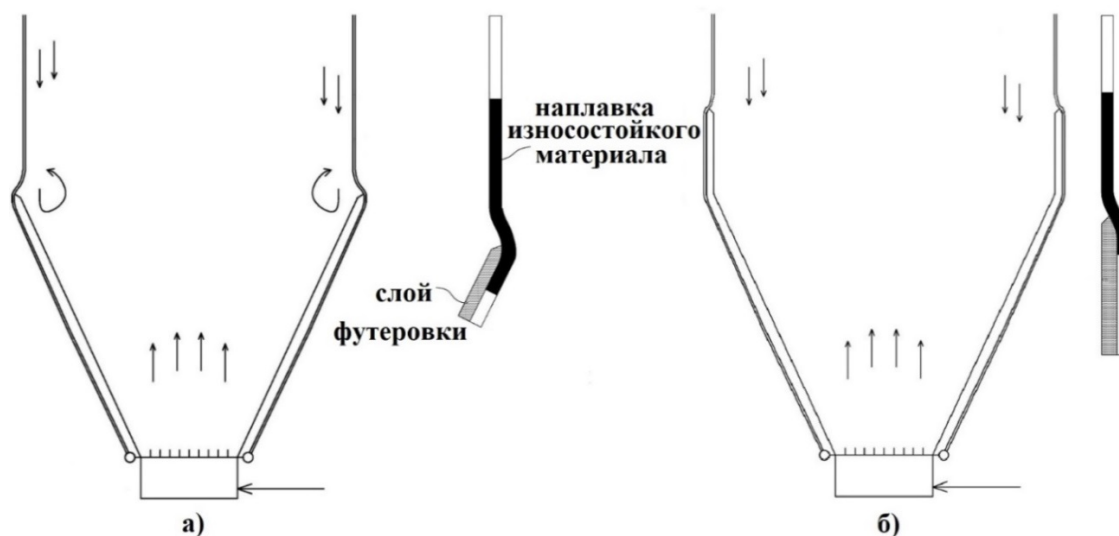


Рис. 4. Конфигурация ската нижней части топки без образования выступа:
а) первый вариант; б) второй вариант

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Basu P. Circulating Fluidized Bed Boilers: Design, Operation and Maintenance. – Berlin: Springer International Publishing, 2015. – 366 p.
2. Опыт пуска и начальной эксплуатации блока № 9 с котлом с ЦКС Новочеркасской ГРЭС / Г.А. Рябов, О.М. Фоломеев, Е.В. Антоненко, И.В. Крутицкий // Использование твёрдых топлив для эффективного и экологически чистого производства электроэнергии и тепла. – М.: ОАО «ВТИ», 2018. – С. 73–82.
3. Development and application of the design principle of fluidization state specification in CFB coal combustion / G. Yue, J. Lyu, H. Yang, M. Zhang, H. Zhang, R. Cai // Fuel Processing Technology. – 2018. – V. 174. – P. 41–52.
4. Development and technical progress in large-scale circulating fluidized bed boiler in China / Z. Huang, L. Deng, D. Che // Frontiers in Energy. – 2020. – V. 14. – P. 699–714.
5. Anti-wear beam effects on water wall wear in a CFB boiler / Z. Luo, Q. Wang, L. Xu, R. Huang, L. Cheng, Y. Xia // Fuel. – 2016. – V. 181. – P. 1179–1183.
6. Effect of anti-wear beams on waterwall heat transfer in a CFB boiler / Q. Wang, J. Ji, L. Cheng, L. Xu // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2017. – V. 115. – P. 1092–1098.
7. Рябов Г.А. Научное обоснование использования технологии сжигания твёрдых топлив в циркулирующем кипящем слое: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. – М., 2016. – 291 с.
8. Grace J.R., Avidan A.A., Knowlton T.M. Circulating Fluidized Beds. – Dordrecht: Springer Dordrecht, 1997. – 608 p.
9. A review of some operation and maintenance issues of CFBC boilers / B. Acharya, P. Basu, A. Arjunwadkar // Applied Thermal Engineering. – 2016. – V. 102. – P. 672–694.
10. Часть водотрубной панели и способ изготовления части водотрубной панели в реакторе с псевдоожиженным слоем: пат. Рос. Федерация, No 2745849, заявл. 22.02.2018; опубл. 01.04.2021. Бюл. No 10. – 21 с.