

УДК 621.181

Применение оребренных поверхностей теплообмена при реконструкции котельного оборудования

Адинцова Я.П., Стрежик А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Одним из путей ускорения темпов развития энергетической техники является модернизация действующих технологий и оборудования. Это позволяет не только повысить их эффективность в процессе эксплуатации, но и быстрее получить необходимые знания для успешного внедрения в практику новых разработок.

В [1] приведены результаты разработок, которые длительное время ведутся в Саратовском государственном техническом университете (СГТУ) в области котельной техники и теплообменного оборудования тепловых электростанций (ТЭС). Часть работ выполняется совместно с известными академическими и научно-исследовательскими институтами, с ведущими котлостроительными заводами, крупными энергосистемами, а также с отдельными электростанциями. Работы основаны на применении пассивного метода интенсификации конвективного теплообмена путем воздействия на форму теплообменной поверхности, в частности с помощью оребрения труб.

Примененные виды оребренных труб – это трубы с металлургическим и приварным плавниковым оребрением, с мембранным оребрением, с поперечно-спиральным оребрением (рисунок 1).



Рисунок 1 – Трубы с плавниковым (а) и поперечно-спиральным (б) оребрением

Две из исследованных оребренных поверхностей нагрева разработаны в СГТУ и применены в практике впервые. Они защищены авторскими свидетельствами на изобретение.

Одна поверхность нагрева представляет собой трубы с металлургическим плавниковым оребрением (рисунок 1,а), расположенные в шахматном порядке. Поперечное сечение поверхности нагрева изображено на рисунке 2,а [2].

Из рисунка 2 видно, что основной особенностью этой поверхности является смещение четных рядов труб относительно нечетных навстречу движущемуся потоку продуктов сгорания топлива приводит к изменению направления и величины диагональных скоростей продуктов сгорания в межтрубном пространстве, что в свою очередь вызывает уменьшение отложений на трубах. Кроме того, предложенное смещение продольных шагов приводит к неравномерной плотности рядов труб по глубине поверхности нагрева, которая создает поочередное ускорение и замедление движущегося потока. В результате движение продуктов сгорания становится пульсирующим. Следует заметить, что наложение пульсаций на движущийся поток среды является одним из методов интенсификации конвективного теплообмена. Таким образом, смещение продольных шагов труб в шахматном трубном пучке создает одновременно два эффекта – уменьшения загрязнений на наружной поверхности труб и интенсификации теплообмена.

Разработанное техническое решение является чисто компоновочным и поэтому не требует изменений в технологии изготовления, а соответственно и дополнительных затрат.

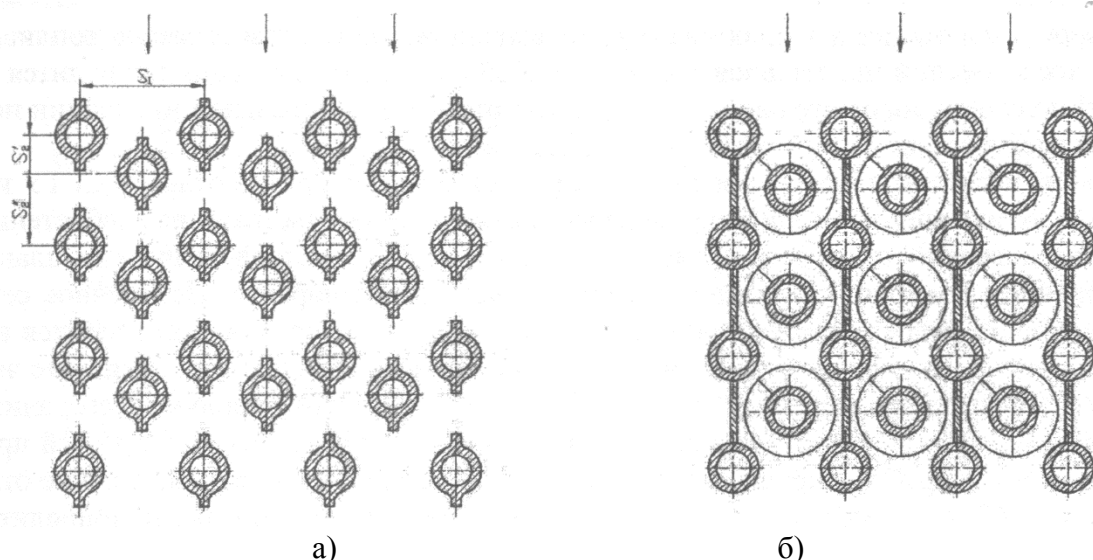


Рисунок 2 – Разработанные в СГТУ новые теплообменные поверхности:

- а) плавниковые из металлургических плавниковых труб со смещенными продольными шагами S_2 и S'_2 ; б) комбинированная из чередующихся труб с мембранным и поперечно-спиральным оребрением

Другая поверхность нагрева (рисунок 2,б) является разработкой, открывшей новый класс так называемых комбинированных теплообменных поверхностей из оребренных труб [3]. В годы появления этого технического решения перед ведущими котлостроительными заводами и отраслевыми научно-исследовательскими институтами стояла задача совмещения в одной теплообменной поверхности достоинств мембранного и поперечно-спирального оребрений с одновременным устранением присущих им недостатков.

В СГТУ был выбран инновационный путь решения задачи. Отказавшись от строгого следования правилу конструктивной тождественности, было предложено комбинировать (чередовать) пакеты змеевиков, или просто трубы, с разными типами оребрения. Такое решение так же, как и рассмотренное выше смещение продольных шагов труб, является компоновочным и основано на известных, освоенных технологиях изготовления оребренных труб. Это позволяет добиться положительного эффекта без увеличения трудоемкости изготовления. Простота технического решения способствовала его быстрому развитию и внедрению в практику.

Углубление в задачи интенсификации конвективного теплообмена и обобщение известных знаний в этой области показывает, что для котельной техники и теплообменного оборудования разнообразные оребренные трубы являются основной частью новой, инновационной, элементной базы, которая имеет преимущества перед состоящей только из гладкостенных труб. Такие выводы позволили СГТУ начать работы по комплексной модернизации котлов с применением в них оребренных и других интенсифицированных теплообменных поверхностей.

Примером внедрения разработок является модернизация водогрейных котлов ПТВМ-100. Целью модернизации является повышение эксплуатационной надежности.

Многолетней практикой установлено, что наибольшее число отказов в их работе приходится на конвективную часть. Заводское техническое решение относится к 60-м годам XX века и представляет собой две поверхности нагрева из гладкостенных труб диаметром 28 мм с очень плотной шахматной компоновкой. Они установлены в газоходе котла последовательно по ходу продуктов сгорания.

Разработанный в КБ ПРП «Свердловэнергоремонт» совместно с СГТУ проект модернизации предусматривает увеличение диаметра и относительных поперечных шагов труб в обеих поверхностях нагрева. В первой по ходу продуктов сгорания поверхности применены гладкостенные трубы диаметром 38 мм, а во второй – оребренные трубы с

поперечно-спиральным оребрением того же диаметра. Конструктивные характеристики оребрения приняты 13,5x1x6,5 мм (соответственно высота, толщина и шаг оребрения) [4].

Всего по этому проекту к настоящему времени модернизировано 6 котлов. Востребованность данного проекта объясняет значительный эффект модернизации – увеличение ресурса работы конвективной части котла в 2–3 раза. Кроме этого, резко увеличивается коэффициент готовности водогрейного котла, так как, с точки зрения надежности, конвективная часть является существенно более слабым звеном в сравнении с остальными элементами котла.

Часть разработанных СГТУ проектов и технических предложений по комплексной модернизации котлов с применением оребренных поверхностей нагрева еще не нашли практического применения. Наиболее интересным среди них является проект модернизации парового котла БКЗ-75-39ГМ с целью повышения его паропроизводительности с 75 до 100 т/ч.

Разработка вариантов технических решений, их анализ и выбор наилучшего выполнялись в тесном сотрудничестве СГТУ и ОАО ТКЗ «Красный котельщик». Выбранное техническое решение реализовано специальным конструкторско-технологическим бюро завода в рабочем проекте. Оно представлено на рисунке 3 в виде структурной схемы конвективной части котла. Для сравнения на этом же рисунке показана структурная схема котла до модернизации.

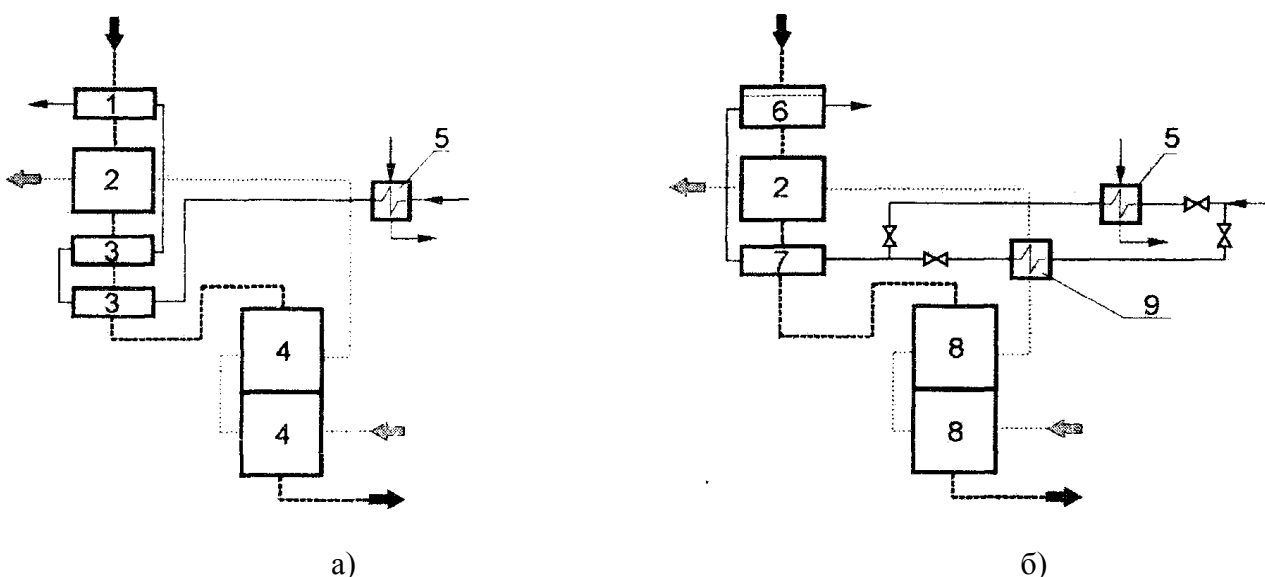


Рисунок 3 – Структурная схема конвективной части котла БКЗ-75-39ГМ: а) до модернизации; б) после модернизации; 1, 3 – ЭЖ второй и первой ступени соответственно; 2, 4 – ТВП второй и первой ступени соответственно; 5 – ПВД; 6, 7 – РЭК второй и первой ступени соответственно; 8 – модернизированный ТВП первой ступени; 9 – ВВТО

Из сравнения рисунков видно, что существующий гладкотрубный экономайзер (ЭЖ) полностью заменен на оребренный. Поскольку в котле кроме природного газа сжигается мазут, то оребрение принято приварное плавниковое. Перераспределение тепловосприятости между 1-й и 2-й ступенями ребристый экономайзер (РЭК) из труб с поперечно-спиральным оребрением в данном проекте выполнено с целью частичного предотвращения роста температуры горячего воздуха на выходе из 2-й ступени трубчатого воздухоподогревателя (ТВП). Это позволяет на нагрузках 90–100 т/ч несколько уменьшить образование в топке NOx.

Вторая ступень ТВП остается без изменений, а поверхность нагрева первой ступени увеличена на 11,7% при сохранении габаритов. Для этого использован проверенный в практике модернизации котлов НТ-200 и ПК-14 способ – переход на меньший диаметр и более плотную компоновку труб.

Определяющим техническим решением является установка воздухоохладителя в перепускном воздуховоде между 1-й и 2-й ступенями ТВП. Воздухоохладитель представляет

собой воздушно-водяной теплообменник (ВВТО) из труб с комбинированным оребрением. Он решает сразу несколько задач: сдерживает рост температуры горячего воздуха на больших нагрузках котла с соответствующим экологическим эффектом; вытесняет подогреватель высокого давления (ПВД) (рисунок 3,6) в тепловой схеме паровой турбины, что приводит к увеличению ее электрической мощности; повышает экономичность работы котла за счет увеличения тепловой эффективности существующей 2-й ступени ТВП.

В отличие от турбинного экономайзера ВВТО включен не в газовый тракт котла, а в воздушный, и этим принципиально от него отличается. При сжигании в котле мазута такое включение воздухоохладителя дает значительно больший экологический эффект, чем он получается от турбинного экономайзера.

В рассматриваемом проекте модернизации котла БКЗ-75-39ГМ для достижения нормативных выбросов NOx в окружающую среду при нагрузках 90... 100 т/ч предусмотрены следующие мероприятия: перераспределение тепловосприятия в РЭК между 1-й и 2-й ступенями; установка воздухоохладителя (ВВТО); ступенчатое сжигание топлива и рециркуляция продуктов сгорания.

При работе на природном газе воздухоохладитель и рециркуляция отключаются, так как для достижения необходимого экологического эффекта в данном случае достаточно перераспределения тепловосприятия в РЭК и ступенчатого сжигания топлива.

При работе же котла на мазуте нормативные выбросы оксидов азота обеспечиваются только при использовании всех четырех мероприятий.

Проведенный в [1] технико-экономический анализ предлагаемой модернизации двух котлов БКЗ-75-39ГМ Саратовской ТЭЦ-1 показал следующее. В сравнении с вариантом расширения котельного цеха и установкой нового парового котла производительностью 50 т/ч с такими же параметрами пара модернизация сокращает объем инвестиций более чем в 6 раз. Срок окупаемости не превышает 1,5 года [1].

В заключение отметим, что разработанные СГТУ основные положения модернизации котлов тепловых электростанций с применением оребренных поверхностей нагрева позволяют: повышать КПД котлов на 1,5-5%; повышать производительность паровых котлов на 15–35%; продлевать ресурс работы конвективной части паровых котлов на 10–15 лет, а водотрубных водогрейных котлов в 2–3 раза; повышать эксплуатационную надежность котлов и эффективность работы энергоблоков электростанций в целом; адаптировать паровые котлы под работу в режиме сброса отходящих газов от ГТУ.

Литература

1. Модернизация котлов тепловых электростанций с применением оребренных теплообменных поверхностей / В.А. Медведев, А.В. Кузьмин, Ю.И. Акимов, Н.В. Пономарева, В.А. Сизов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2004. – № 3(4). – С. 57 – 80.
2. А.с. 1285264 (СССР). Конвективная поверхность нагрева / В.А. Медведев, А.В. Кузьмин, Ю.И. Акимов и др. Оpubл. в Б.И. 1987. № 3.
3. А.с. 846982 (СССР). Поверхность теплообмена / Ю.И. Акимов, В.А. Медведев, А.Г. Губанов. Оpubл. в Б.И. 1981. № 26.
4. Патент на полезную модель 33998 (РФ). Конвективная поверхность нагрева водогрейного котла / А.А. Шаталов, В.А. Щеголев, В.А.Медведев, А.В. Кузьмин. Оpubл. 21.11.2003. Бюл. № 32.