

НАПРАВЛЕНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ТЭС

Овчинников Е.Э.,

научный руководитель канд. техн. наук Цыганок А.П.

Сибирский федеральный университет, политехнический институт

Введение

Обобщение опытных и расчетных данных авторов с данными других исследований по эффективности теплообменных аппаратов ТЭС [1] показало, что процесс теплопередачи в конденсаторах, подогревателях сетевой воды и аппаратах системы регенерации паротурбинных установок в большинстве случаев лимитируется теплоотдачей с паровой стороны. Разница в уровнях коэффициента теплоотдачи с паровой и водяной сторон достигает 100% в зависимости от типа аппарата и его места в схеме ТЭС. Повышение эффективности работы энергетического теплообменного оборудования может быть достигнуто прежде всего за счет интенсификации теплообмена с паровой стороны аппаратов.

Интенсификация теплообмена

Одно из направлений интенсификации теплообмена в ТА связано с применением различно профилированных трубок. По мнению специалистов [1—7], реальное применение в конденсирующих ТА могут найти трубки, у которых искусственная шероховатость имеет место как с наружной, так и с внутренней стороны. Интенсификация теплообмена с паровой стороны при этом определяется изменением гидродинамики пленки конденсата на профилированной поверхности трубки — уменьшением за счет действия сил поверхностного натяжения средней толщины пленки конденсата, изменением траектории ее движения и турбулизацией. Интенсификация с водяной стороны также определяется гидродинамикой потока — нарушением упорядоченного течения жидкости в вязком подслое за счет его турбулизации и закрутки. Однако необходимо учитывать, что использование таких трубок приводит к увеличению гидравлического сопротивления ТА, а значит, требует проведения исследований для обоснования целесообразности использования профилированных трубок и выбора оптимальных параметров их профилирования применительно к конкретным ТА и условиям эксплуатации ПТУ. Анализ состояния вопроса [1-7] показал, что для обоснования целесообразности применения различно профилированных трубок в ТА ПТУ необходимо накопление и обобщение данных стендовых исследований и натурных испытаний с целью уточнения методик расчета аппаратов.

Исследование гидродинамики и теплообмена при конденсации пара на различно профилированных трубках проводилось на: профильных витых трубках (ПВТ), продольно-профилированных трубках (ППТ), трубках двойного профиля (ТДП) и встречно-винтовых трубках (ВВТ) [1,2].

Опытами установлено, что гидродинамика пленки конденсата на вертикальной ПВТ существенно отличается от гидродинамики пленки на гладкой трубке. На профильной трубке наблюдается процесс стягивания пленки в канавку и закрутки. При уменьшении шага между канавками S угол отклонения траектории движения пленки от

вертикального направления увеличивается и происходит стягивание пленки конденсата в канавки за счет сил поверхностного натяжения.

Относительный эффект интенсификации теплоотдачи при конденсации неподвижного пара на вертикальной ПВТ зависит в основном от режима течения пленки конденсата и параметров профилирования трубок. Интенсивность теплообмена при конденсации пара на поперечно обтекаемой вертикальной ПВТ в зависимости от параметров процесса и параметров профилирования до 2,5 раз выше, чем при конденсации неподвижного пара на гладкой трубке.

Известно, что применение вертикальных ППТ [1,2] позволяет существенно (до 3,5 раз) повысить коэффициент теплоотдачи со стороны конденсирующегося пара. Это объясняется действием на пленку конденсата сил поверхностного натяжения на профилированной криволинейной поверхности трубки. На выступах трубки происходит более интенсивная конденсация пара, т.е. теплообмен фактически лимитируется толщиной пленки конденсата, стекающей по канавкам.

Было предложено дополнительно профилировать ППТ винтовой накаткой, аналогичной ПВТ. При этом предполагалось, что эффект интенсификации будет реализовываться как на наружной поверхности трубки (за счет изменения гидродинамики пленки конденсата), так и внутри нее (за счет турбулизации пристенного слоя теплоносителя). Опытами установлено, что ППТ позволяет повысить уровень теплоотдачи при конденсации водяного пара в среднем в два раза по сравнению с гладкой трубкой. Теплоотдача со стороны конденсирующегося пара на ТДП в зависимости от разности температур «пар-стенка» увеличивается в 1,8—2,2 раза по сравнению с ППТ. В данном случае, по-нашему мнению, проявляются два эффекта: винтовая канавка, заполняясь конденсатом из области продольных канавок, частично отводит его по нисходящей спирали; при этом за счет поворотов часть конденсата с поверхности трубки сбрасывается; винтовая выдавка металла продольных выступов, внедряясь в область течения конденсата в продольных канавках, образует в них чередующиеся локальные сужения, что вносит возмущение в «толстую» ламинарную пленку конденсата, стекающую по продольным канавкам. Первый эффект приводит к уменьшению средней толщины пленки конденсата, а второй — к ее дополнительной турбулизации. Сумма этих эффектов и вызывает интенсификацию теплообмена со стороны конденсирующегося пара.

Одной из перспективных поверхностей для теплообменных аппаратов ПТУ является трубка со встречной винтовой накаткой (ВВТ). Исследования теплообмена при конденсации неподвижного пара показали, что коэффициент теплопередачи ВВТ на 20—30% выше, чем близких по параметрам накатки ПВТ.

Результатами сравнительных испытаний более 100 различных конденсирующих ТА с ПВТ установлено, что интенсификация теплообмена в зависимости от параметров профилирования трубок и режима течения в них воды (при оптимально выбранных параметрах ПВТ) составила от 10 до 80%. Гидравлическое сопротивление ТА при этом возрастает примерно на такую же величину.

Известно [8], что организация режима капельной конденсации пара является самым перспективным направлением интенсификации теплообмена при конденсации пара.

Результаты исследований применения нового гидрофобизатора (полифторалкилдисульфид) для трубок из материалов МНЖ5—1 и Л68 показали, что уровень коэффициента теплоотдачи со стороны пара в три-четыре раза превышает теплоотдачу при пленочной конденсации. Опытами установлено, что при попадании в пар воздуха (в момент отключения установки) эффект интенсификации теплообмена резко уменьшается и наблюдается режим смешанной конденсации пара. При

возобновлении опыта режим капельной конденсации восстанавливался через 15—20 часов работы установки. После возобновления капельной конденсации уровень теплообмена восстанавливался практически до первоначальной величины. Этот очень важный для практики результат может быть объяснен с учетом современных представлений по динамике биологических систем на основе проведенных спектрометрических исследований гидрофобного покрытия трубок после серии опытов по капельной конденсации. Используемый в опытах стимулятор капельной конденсации имеет в своей структуре как гидрофобный, так и гидрофильный фрагменты. Это увеличивает число степеней свободы конформационного расположения цепи. При резком снижении температуры и отключении подачи в установку пара реализуется более компактная конформация с обнажением гидрофильного фрагмента молекулы. Все это приводит к реализации режима пленочной (смешанной) конденсации в первоначальный момент после повторного включения пара. В дальнейшем водородные связи вызывают самоорганизацию мономолекулярного покрытия с обнажением только гидрофобных участков молекул, что и обеспечивает возобновление режима капельной конденсации. Фактически наблюдается новый тип самоорганизующейся мономолекулярной пленки, которая в зависимости от внешних условий может находиться в различных конформационных состояниях. Коэффициент теплопередачи при капельной конденсации пара на гладкой горизонтальной трубке (МНЖ5—1) в 1,5—2,0 раза выше, чем при пленочной конденсации.

Результаты стендовых испытаний по применению гидрофобизатора на ПВТ (гидрофобизатор наносился на выступы ПВТ) показали, что на вертикальных ПВТ наблюдался отрыв и сброс стекающей пленки конденсата с поверхности трубки в зонах капельной конденсации, что, по-нашему мнению, вызывало уменьшение количества стекающего конденсата по поверхности вертикальной ПВТ и приводило к повышению уровня теплопередачи на 15—25%,

Результаты полупромышленных испытаний опытного модуля (56 горизонтальных трубок, материал — МНЖ5—1), включенного параллельно конденсатору турбины К—300—240 на Рефтинской ГРЭС, проведенных совместно с НПО ЦКТИ, показали, что гидрофобизатор при однократном нанесении на поверхность теплообмена обеспечил поддержание режима капельной конденсации течение более 4500 часов; при этом коэффициент теплопередачи за счет организации режима капельной конденсации увеличился на 35—70%.

Вибрация трубок теплообменных аппаратов отражается на характере течения пленки конденсата и, следовательно, на теплоотдаче от конденсирующегося пара.

Обобщение экспериментальных данных показало, что в зависимости от удельной паровой нагрузки и параметров вибрации коэффициент теплоотдачи при конденсации пара на вибрирующей горизонтальной трубке может увеличиваться или уменьшаться по сравнению с коэффициентом теплоотдачи при конденсации пара на неподвижной трубке.

Результаты экспериментального исследования обобщены зависимостями, которые дают возможность рассчитать величину поправки к коэффициенту теплоотдачи с паровой стороны для горизонтальных и вертикальных ТА.

Как показывают расчеты, влияние вибрации трубок горизонтальных сетевых подогревателей на теплоотдачу со стороны конденсирующегося пара при характерном для ПСГ уровне удельных паровых нагрузок выражается в увеличении коэффициента теплоотдачи с паровой стороны на величину от 1,6 до 6,7%.

По результатам проведенных стендовых исследований и промышленных испытаний можно предложить ряд практических рекомендаций по повышению эффективности теплообменных аппаратов ПТУ:

Выбор наиболее эффективных параметров профилирования трубок необходимо производить на основе оптимизации параметров профилирования и технико-экономического анализа всей ПТУ;

При использовании в ТА продольно-профилированных трубок и трубок двойного профилирования можно принять, что теплопередача при конденсации пара увеличивается на 40—150% в зависимости от плотности теплового потока;

При использовании в теплообменных аппаратах профилированных трубок с целью повышения надежности соединения трубок с трубными досками концы трубок должны предусматриваться гладкими в пределах 150—200 мм;

Применение нового перспективного гидрофобизатора в конденсирующих ТА ПТУ позволяет увеличивать коэффициент теплоотдачи до 3 раз по сравнению с пленочной конденсацией пара. Однако с течением времени идет некоторое понижение коэффициента теплопередачи.

Считаем, что решение вопроса о целесообразности применения любой разработки по повышению эффективности ТА ПТУ должно производиться на основе комплексного технико-экономического анализа для всей энергоустановки. При этом любой ТА необходимо рассматривать не изолированно, а как органичный элемент ПТУ. Основы такой комплексной технико-экономической методики для конкретных ТА ПТУ и конкретных условий эксплуатации на ТЭС представлены в работах

Список литератур:

1. Разработка, исследование и комплексное обоснование оптимальных решений совершенствования энергетических теплообменных аппаратов./ Бродов Ю.М., Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э. и др. / Тепломассообмен, ММФ-2000. Минск: ИТМО АНБ, 2000. Т.10. С. 132-141.
2. Повышение эффективности и надежности теплообменных аппаратов паротурбинных установок. / Бродов Ю. М., Аронсон К. Э., Рябчиков А. Ю. и др. Екатеринбург: УГТУ, 1996. 298с.
3. Мигай В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980. 144 с.
4. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990. 208 с.
5. Пермяков В.А. Основные направления технического совершенствования теплообменного оборудования паротурбинных установок // Тяжелое машиностроение, № 1. 1990. С. 9-15.