

Повышение энергоэффективности эксплуатирующихся энергоблоков электростанций на основе интенсификации теплообменных процессов при конденсации рабочего тела

Работа проведена в 2011-2012 гг. в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2013 г.г.»

государственный контракт № 16.516.12.6001.

Научный руководитель проекта: к.т.н. Погорелов С.И.

Ответственный исполнитель: к.т.н., с.н.с. Куршаков А.В.

Цель исследования, разработки

Разработка способа и технологических основ его реализации для повышения энергоэффективности энергоблоков электростанций и оборудования промышленных предприятий (теплообменное оборудование тяжелой, легкой, нефтехимической и пищевой промышленности, малой и средней энергетики) в результате интенсификации теплообмена в пароводяных теплообменных аппаратах посредством перевода пленочной конденсации в капельную.

Основные результаты проекта

Проведенный анализ состояния проблемы, связанной с повышением энергоэффективности энергоблоков ТЭС свидетельствует о том, что одним из существенных факторов, влияющих на ограничение их мощности (снижение КПД), является низкопотенциальный комплекс (НПК). Первостепенным в составе НПК элементом с точки зрения удельного влияния и возможности повышения эффективности является конденсатор паротурбинной установки. Интенсификацию теплообмена в конденсаторах паровых турбин путем гидрофобизации трубной системы по паровой стороне с помощью ОДА следует считать наиболее перспективным и эффективным направлением из всех известных на сегодняшний день способов.

Изготовлен экспериментальный стенд для проведения исследований по определению влияния различных способов перевода пленочной конденсации в капельную на интенсивность теплообмена с моделированием эксплуатационных условий полностью соответствующий техническому заданию и представляющий собой полноценную экспериментальную базу.

Проведены режимные испытания стенда, подтверждающие как работоспособность отдельных его узлов, так и всего стенда в целом. Стенд позволяет моделировать эксплуатационные условия работы конденсаторов паровых турбин, работать в широких диапазонах значений давлений, в том числе и при значительном вакууме.

Проведены экспериментальные исследования и комплексная оценка влияния поверхностно-активных веществ на теплообменные процессы в натурном оборудовании на примере эксплуатации систем теплоснабжения свидетельствующие об интенсификации теплообменных процессов в присутствии ПАВ не только в период непосредственного их использования, но и в течение последующего периода эксплуатации оборудования. При переводе пленочной конденсации в капельную посредством гидрофобизации теплообменных поверхностей в зависимости от теплогидравлического режима работы конденсатора происходит увеличение коэффициента теплопередачи в $1,75 \div 3,0$ раза, коэффициента теплоотдачи в $8 \div 11$ раз.

Разработан и изготовлен экспериментальный образец установки для интенсификации теплообмена при конденсации, состоящий из двух автономных модулей: модуля приготовления порошка ПАВ с размером гранул от 200 до 500 мкм и модуля приготовления и дозирования суспензии ПАВ.

С использованием специально разработанных программы и методики проведены

исследовательские испытания экспериментального образца установки, результаты которых полностью соответствуют требованиям технического задания.

Осуществлена корректировка эскизной конструкторской документации экспериментального образца установки по результатам испытаний. На базе теплотехнического расчета процесса остывания расплавленной капли октадециламина заданного размера в канале-холодильнике вплоть до затвердевания произведена коррекция геометрических характеристик модуля приготовления и дозирования суспензии ПАВ.

Разработан способ и технологические основы перевода пленочной конденсации в капельную за счет гидрофобизации трубной системы конденсаторов по паровой стороне с использованием ПАВ в стационарных условиях. Определены режимные параметры технологического процесса (временные характеристики обработки с помощью водной эмульсии ПАВ, диапазон необходимых концентраций, температур и значений pH).

Разработаны предложения и рекомендации по внедрению способа перевода пленочной конденсации в капельную в условиях действующего оборудования ТЭС, путем периодического инжектирования ПАВ с учетом процесса теплообмена в конденсаторе при переходе с пленочной конденсации в капельную. Для энергоблоков с БОУ при дозировании ПАВ разработан способ предотвращения снижения обменной емкости фильтров.

Проведены дополнительные патентные исследования, которые показали, что исследуемый объект обладает патентной чистотой и новизной.

Разработан проект ТЗ на ОКР по теме «Разработка опытно-промышленной установки для реализации процесса перевода пленочной конденсации в капельную на реальных объектах энергетики». Технологический комплекс должен включать в себя опытные образцы оборудования для первичной обработки ПАВ конденсатора, инjections ПАВ в проточную часть ЦНД паровой турбины, измерительно-диагностический комплекс для определения характеристик качества формирования гидрофобизационного слоя ПАВ, а также систему автоматического управления технологическими процессами.

Разработан проект методического документа, регламентирующего применение разработанного способа интенсификации теплообмена в теплообменных аппаратах, входящих в состав ТЭС и АЭС с учетом особенностей тепловой схемы станции (на примере паротурбинной установки Т-100-130 с конденсатором КГ-6200). Определены параметры и периодичность химконтроля, а также указаны способы контроля качества при реализации данного способа. приводятся сведения о реагенте (ПАВ), а также о выполнении требований по технике безопасности и охране окружающей среды.

Проведена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов, которая показала их приемлемую эффективность и подтвердила целесообразность внедрения разработанной технологии при проведении модернизации существующих и проектировании новых электростанций.

Основные характеристики созданной научной (научно-технической, инновационной) продукции:

Разработанная методика и изготовленные конструкторская документация и экспериментальный стенд, основу которого составляют два независимых, идентичных пароводяных контура, позволят максимально корректно сравнивать экспериментальные данные о процессах конденсации пара в различных режимах. Каждый контур состоит из парогенератора, сепаратора пара, конденсатора, системы автоматики и сбора данных. Конденсатор по водяной стороне подключен к специально созданной системе оборотного водоснабжения, замкнутой на градирню. В качестве источника тепла в парогенераторе служат трубчатые электронагреватели с возможностью регулировки их мощности, что позволяет с требуемой степенью точности варьировать величинами расходов генерируемого пара. Система диспетчеризации позволяет отображать режимные параметры работы стенда в реальном времени и сохранять их в архив с частотой 1,5-2 секунды, что позволит более точно в дальнейшем обработать полученные

экспериментальные данные.

Созданный экспериментальный образец установки для интенсификации теплообмена за счет перевода пленочной конденсации в капельную в пароводяном контуре ТЭС и АЭС обеспечивает:

- гарантированный процесс капельной конденсации во всех режимах работы конденсатора;
- повышение коэффициента теплопередачи в пароводяных теплообменниках на $74\% \div 106\%$;
- снижение эксергетических потерь в теплообменных пароводяных аппаратах до 48% ;
- повышение коррозионной стойкости конструкционных материалов не менее чем в 5 раз;
- уменьшение скорости образования отложений на теплообменных поверхностях не менее чем в 6 раз.

Проведенная модернизация экспериментального образца установки позволяет обеспечить бесперебойное приготовление холодной высокодиспергированной водной суспензии ПАВ, что принципиально упрощает технологию реализации перевода пленочной конденсации в капельную в теплообменных аппаратах.

Сочетание обработки трубной системы конденсатора как на остановленном оборудовании, так и в режиме эксплуатации позволяет обеспечить гарантированное поддержание режима капельной конденсации в течение всего срока эксплуатации паротурбинной установки ТЭС и АЭС.

При этом достигаются дополнительные положительные эффекты:

- снижается скорость эрозии рабочих лопаток последних ступеней ЦНД паровых турбин до 30% ;
- повышается КПД влажнопаровых ступеней турбин на $1 \div 2\%$;
- снижается концентрация коррозионно-активных элементов в первичной влаге в турбине.

Разработанные проекты методического документа, регламентирующего применение разработанного способа в конденсаторах ТЭС и АЭС, а также технического задания на ОКР по разработке опытно-промышленной установки для реализации этого способа будут способствовать широкому его внедрению на тепловых электростанциях, работающих на органическом и ядерном топливе.

Оценка элементов новизны научных (конструкторских, технологических) решений:

Основной особенностью разработанной методики и экспериментального стенда является проведение синхронных исследований с использованием двух независимых идентичных контуров, моделирующих процесс теплообмена при конденсации в эксплуатационных условиях и отличающихся только наличием или отсутствием гидрофобности на наружных поверхностях трубок конденсатора. Отличительной особенностью разработанного экспериментального стенда является возможность его работы как при достаточно глубоких значениях вакуума ($3\text{--}4\text{ кПа}$), что соответствует давлению в реальных конденсаторах, так и параметрах близких к атмосферным (100 кПа).

Основной особенностью изготовленного образца установки для интенсификации теплообмена за счет перевода пленочной конденсации в капельную является использование для гидрофобизации поверхностей теплообмена суспензии ПАВ, а не растворов или эмульсий.

Сопоставление с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень.

В мировой практике отсутствуют экспериментальные установки, позволяющие проведение синхронных экспериментов по изучению конденсации пара в условиях значительного разрежения ($3\text{--}4\text{ кПа}$) с применением гидрофобизаторов. Полученные в ходе ис-

следовательских испытаний результаты являются уникальными и не имеют на сегодняшний день аналогов.

Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках исследования, разработки

В ходе выполнения работ были поданы заявки на получение патентов РФ:

1) изобретение – заявка № 2012122875 от 04.06.2012 г. «Способ интенсификации конденсации пара в конденсаторе паротурбинной установки», РФ.

2) программа ЭВМ – заявка № 2012614371 от 31.05.2012г. «Расчет оценки эффективности технологии перевода пленочной конденсации в капельную», РФ.

Назначение и область применения результатов проекта

Потенциальными потребителями разрабатываемой технологии в настоящий момент на территории России являются все находящиеся в эксплуатации энергоблоки КЭС, ТЭЦ и АЭС с суммарной установленной мощностью более 200 млн. кВт. Разрабатываемая технология также сможет быть рекомендована для применения и в других сферах – тяжелая, легкая, нефтехимическая и пищевая промышленность, малая и средняя энергетика - везде, где присутствует пароводяное теплообменное оборудование.

Эффекты от внедрения результатов проекта

Полученные результаты позволят, для новых энергоблоков на этапе проектирования, внести корректировки и значительно уменьшить металлоемкость пароводяного теплообменного оборудования. В результате применения разработанных решений будет повышена энергоэффективность эксплуатирующихся энергоблоков, снижены эксергетические потери в пароводяных теплообменных аппаратах не менее чем на 20%, повышен коэффициент теплопередачи в пароводяных теплообменниках на 70-80%. Основным социально-экономическим эффектом будет являться совершенствование процесса производства электричества и тепла на тепловых и атомных электрических станциях с точки зрения издержек производства и также повышение уровня экологической безопасности.

Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Результаты проведенных НИР будут использованы для проведения опытно-конструкторских работ, направленных на создание опытного промышленного образца установки для реализации технологии перевода пленочной конденсации в капельную.