

Создание научно-технического задела для разработки угольных энергоблоков с ультрасверхкритическими параметрами пара

Работа проведена в 2015 году в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 г.г.» в период с 01 января 2015 г. по 30 июня 2015 г.

Соглашение о предоставлении субсидии № 14.574.21.0098 от 22.08.2014г. (Этап 2).

Научный руководитель проекта: зав. кафедрой ТЭС, д.т.н., профессор, Рогалев Николай Дмитриевич

Ответственный исполнитель: старший преподаватель каф. ЭПП, к.т.н., Рогалев Андрей Николаевич

1. Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Создание научно-технического задела в области разработки энергоблоков с ультрасверхкритическими параметрами пара, обеспечивающих КПД выработки электроэнергии 50-51%.

2. Основные результаты ПНИ

Полученные на первом этапе реализации проекта результаты исследования, в том числе результаты моделирования и оптимизации тепловой схемы энергоблока и ее параметров позволили перейти к конструктивной проработке основного оборудования блока. Работы второго этапа охватывают разработку технических решений, обеспечивающих создание высокоэкономичной паровой турбины для энергоблока с ультрасверхкритическими параметрами пара. Для обеспечения КПД энергоблока на уровне 51% внутренний относительный КПД проточных частей цилиндров паровой турбины должен быть не менее 89% для цилиндра высокого давления, 91% для цилиндра среднего давления и 88% для цилиндра низкого давления. Наряду с этим, должны быть хорошо отработаны такие элементы как стопорные и регулирующие клапана, перепускные патрубки и др. элементы, которые также в большой степени влияют на экономичность турбоустановки, надежность ее работы и характеристики, определяющие маневренность.

В 2015 году в рамках 2 этапа были получены следующие результаты:

- Разработан конструктивный профиль высокотемпературной паровой турбины для энергоблока с УСКП. Турбоагрегат четырехцилиндровый, состоящий из высокотемпературного цилиндра высокого давления с петлевой схемой движения пара, двухпоточного цилиндра среднего давления и двух двухпоточных цилиндров низкого давления с суммарной площадью выхлопа 45,2 м². Выбранная компоновочная схема обеспечит минимальный расход дорогостоящих жаропрочных материалов и высокий уровень маневренности турбомашин.
- Проведены тепловые расчеты проточной части и определены ее аэродинамические характеристики.
- Проведен прочностной анализ наиболее нагруженных элементов турбины, а также расчет статических и динамических напряжений в элементах валопровода машины. Выполненные, на основе отработанных хорошо зарекомендовавших себя методик, расчетные исследования показали возможность достижения заданного уровня КПД проточных частей цилиндров и подтвердили надежность работы основных конструктивных элементов.
- Опираясь на полученные результаты, была разработана эскизная конструкторская документация проточной части паровой турбины с ультрасверхкритическими параметрами пара.

- Выполнен расчет статических и динамических напряжений в элементах валопровода паровой турбины.
- Одним из основных конструктивных решений, позволивших достичь высокого КПД проточной части цилиндра высокого давления, является разработанная новая конструкция турбинных решеток профилей с системой оребрения обводов межлопаточных каналов. Разработка и исследование новых решеток проводилась с использованием программных комплексов для моделирования аэродинамики Ansys CFX и Fluent, широко используемых в подобного рода исследованиях и доказавших высокую степень достоверности получаемых результатов.
- Наряду с отработкой проточной части была проведена проработка системы парораспределения турбины, принципов ее устройства и основных элементов, которым относятся стопорные и регулирующие клапаны. Проведенные исследования показали, что применение дроссельного парораспределения для энергоблоков с ультрасверхкритическими параметрами пара большой мощности является наиболее оптимальным вариантом. Наиболее важным органом системы парораспределения являются стопорный и регулирующий клапаны, конструкция которых в большой степени определяет экономичность и надежность работы всей турбины. Именно на этот элемент было обращено пристальное внимание при проработке конструкции системы парораспределения.
- Был разработан блок стопорно-регулирующих клапанов, обеспечивающий низкое гидравлическое сопротивление (потери давления составляют порядка 2,5% от начального давления), что способствует поддержанию КПД энергоблока на высоком уровне. Разработанная конструкция клапана должна обеспечить уровень динамических нагрузок на штоке не более 10% от величины статических усилий, что обеспечит высокую надежность работы системы парораспределения. Подтверждение заявленных характеристик клапана планируется провести на последующих этапах проведения ПНИ посредством экспериментальных испытаний образца блока клапанов на специально разработанном для этого экспериментальном стенде. Испытания будут проводиться в соответствии с разработанной на рассматриваемом этапе программой и методикой проведения экспериментальных исследований экспериментального образца блока стопорно-регулирующих клапанов.
- Разработан экспериментальный стенд для исследования экспериментального образца блока стопорно-регулирующих клапанов паровой турбины с ультрасверхкритическими параметрами пара.
- Разработан экспериментальный образец блока стопорно-регулирующих клапанов.
- Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований экспериментального образца блока стопорно-регулирующих клапанов.
- На основании полученных результатов была также разработана модель турбинной решетки, экспериментальное исследование которой запланировано на дальнейших этапах ПНИ.
- Для проведения экспериментальных исследований указанной решетки был специально разработан экспериментальный стенд для исследования моделей турбинных решеток.
- Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований на стенде для исследования моделей турбинных решеток.
- Разработана модель новой турбинной решетки.

- Выполнена подготовка к экспериментальным исследованиям процессов коррозии при ультравысоких параметрах рабочей среды:
 - ✓ Проведены тепломеханические расчеты экспериментального стенда. Выбраны теплотехнические параметры, характеризующие поток теплоносителя.
 - ✓ Проведены гидродинамические расчеты экспериментального стенда с принудительным движением теплоносителя.
 - ✓ Разработана программа и методика проведения экспериментов по исследованию влияния различных водных режимов на скорость образования отложений и процессов коррозии.
 - ✓ Разработана программа и методика проведения экспериментов по исследованию влияния различных корректирующих реагентов на различные образцы сталей.
 - ✓ Разработана программа и методика проведения исследований по определению качества теплоносителя, используемого при ультравысоких параметрах рабочей среды.
- Как уже было неоднократно отмечено, переход к столь высокому уровню начальных параметров пара требует решения целого ряда задач, связанных с подбором материалов и разработкой новых материалов, способных работать при таких параметрах. В этой связи, на основании требований к оборудованию и сведений об условиях работы основных конструктивных элементов оборудования блока УСКП сформулированы технические требования к уровню свойств конструкционных материалов для котельного, турбинного и паропроводного оборудования с рабочей температурой пара более 700°C и давлением свыше 35 МПа.
- На основании накопленного опыта разработки и исследования жаропрочных никелевых сплавов предложены системы легирования новых материалов для поверхностей нагрева, пароперегревателей, паропроводного и турбинного оборудования. Полученные данные будут использованы на последующих этапах работы при разработке химических составов никелевых сплавов для основного высоконагруженного оборудования блока УСКП.

Переход на новые параметры рабочей среды требует проведения большого объема исследования в области поведения конструкционных материалов в новых условиях, в частности исследование процессов коррозии используемых материалов со стороны водяного теплоносителя.

В этой связи была проведена подготовка к последующим экспериментальным исследованиям процессов коррозии конструкционных материалов при ультравысоких параметрах пара

За счет финансирования из внебюджетных источников:

- Проведен анализ существующих технологических схем блочных обессоливающих установок и определение направления их совершенствования.
- Разработана технологическая схема экспериментальной установки для отработки систем и режимов работы фильтров смешанного действия для удаления солей и общего органического углерода из конденсата котлов УСКП.
- Разработана эскизная конструкторская документация экспериментальной установки для отработки систем и режимов работы фильтров смешанного действия для удаления солей и общего органического углерода из конденсата котлов УСКП.

- Разработана система автоматического регулирования экспериментальной установки для отработки вариантов систем и режимов работы фильтров смешанного действия для удаления солей и общего органического углерода из конденсата котлов УСКП.
- Изготовлена экспериментальная установка для отработки вариантов систем и режимов работы фильтров смешанного действия для удаления солей и общего органического углерода из конденсата котлов УСКП.
- Разработана эскизная конструкторская документация на экспериментальный образец фильтра смешанного действия.
- Проведены пуско-наладочные работы установки для отработки систем и режимов работы фильтров смешанного действия для удаления солей и общего органического углерода из конденсата котлов УСКП.
- Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований систем и режимов работы фильтров смешанного действия для удаления солей и общего органического углерода из конденсата котлов УСКП.
- Проведены экспериментальные исследования систем и режимов работы фильтров смешанного действия для удаления солей и общего органического углерода из конденсата котлов УСКП.

Полученные на этапе 2 результаты полностью соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту.

3. Научная новизна ПНИ

В ходе проведения работ были разработаны новые конструктивные решения, в том числе новые решетки профилей, конструктивное исполнение блока стопорно-регулирующих клапанов, позволяющие достигнуть более высоких показателей экономичности и надежности работы оборудования

Полученные результаты соответствуют мировому уровню разработок, проводимых в Евросоюзе, США, Японии и Китае, где планируется создание энергоблоков УСКП с КПД 45-50%. Целевой индикатор – КПД по выработке 50-51% соответствует мировому уровню.

4. Область применения результатов ПНИ

Использование полученных в результате реализации проекта решений позволит существенно сократить сроки и стоимость проектирования нового оборудования. Энергоблоки с ультрасверхкритическими параметрами найдут широкое распространение как при замене отработавшего свой ресурс оборудования, так и при дальнейшем наращивании генерирующих мощностей, позволят увеличить долю выработки электроэнергии на базе твердого топлива, как это предполагает Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Наряду с этим, внедрение таких высокоэкономичных установок позволит сократить удельные выбросы вредных веществ и парниковых газов в атмосферу на 25-30%.

5. Оценка перспектив продолжения работ по проекту.

Полученные на втором этапе реализации проекта результаты создали задел для дальнейших исследований в рамках ПНИ: экспериментальных исследований турбинных решеток профилей новой конструкции, блока стопорно-регулирующих клапанов, коррозионных процессов в поверхностях нагрева котельного агрегата при ультрасверхкритических параметрах пара. Данные результаты дают основание полагать, что продолжение работы позволит выполнить все поставленные задачи и результаты ПНИ найдут применение в энергетической отрасли и промышленности.