

Разработка и исследование нового цилиндра низкого давления (ЦНД) повышенной пропускной способности для мощных конденсационных паровых турбин

Работа проведена в 2015 г. 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 № 14.577.21.0072 от 05 июня 2014г. (Этап 2)

Научный руководитель проекта: профессор, д.т.н., Зарянкин Аркадий Ефимович

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

1. Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Целью реализуемого проекта является разработка технических решений, обеспечивающих возможность создания цилиндра низкого давления повышенной пропускной способности. Создание ЦНД нового поколения, позволит сократить их число на уже существующих мощных паровых турбинах (уменьшить удельную металлоемкость и общую длину), а также обеспечить возможность дальнейшего увеличения единичной мощности паровых турбин до 2000–2500 МВт без увеличения их линейных габаритов при сохранении существующих в России предельных длин лопаток последних ступеней турбин.

2. Основные результаты ПНИ

На первом этапе работы были проведены теоретические исследования, которые показали, что двухъярусный ЦНД является наиболее перспективным методом повышения пропускной способности ЦНД. На втором этапе, используя теоретические методы, а также численные эксперименты, проводится дальнейшая проработка выбранного концептуального решения.

Работа на втором этапе выполнения проекта проводится различными методами, в том числе: одномерные аэродинамические и тепловые расчеты, трехмерное численное моделирование гидродинамики (CFD), трехмерное моделирование прочностного состояния. Использование такого подхода позволяет с высокой степенью точности проработать проточную часть цилиндра, выполнить эскизный проект нового двухъярусного ЦНД и провести эскизное проектирование двухъярусной рабочей лопатки предпоследней ступени.

Эскизному проектированию предшествовало обоснование выбора параметров пара на входе в цилиндр. Для выбранных параметров на базе 1-D расчетов, проведенных в программном комплексе AXIAL, было реализовано сравнение аэродинамических характеристик ряда вариантов двухъярусных цилиндров и на этом основании уточнена конструкция прорабатываемого ЦНД.

На основе расчета проточной части нового ЦНД произведено профилирование лопаточных аппаратов всех ступеней цилиндра. Разработанные профили служат базой для выполнения трехмерных моделей лопаточных каналов. Построенные трехмерные модели были проверены численным экспериментом. Все полученные профили показали высокую степень эффективности.

Особое внимание было уделено проработке предпоследней ступени цилиндра и для нее произведены детальные трехмерные прочностные и аэродинамические расчёты.

На основе проведенных, на втором этапе расчетных исследований сформированы эскизные конструкторские проекты проточной части нового ЦНД и его предпоследней лопатки. Согласно расчетам разработанный цилиндр обеспечивает высокий КПД – 87,1 %. Полученные результаты послужат базой для дальнейшей проработки ряда узлов – модели регенеративного отбора, соплового аппарата последней ступени и выхлопного патрубка. Полученные результаты полностью соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту.

3. Новизна результатов работы

Новизна проведенной на втором этапе работы заключается в разработке нового цилиндра низкого давления повышенной пропускной способности. В результате конструктивной проработки было разработано и обоснованно оптимальное исполнение проточной части двухъярусного ЦНД обеспечивающего увеличение пропускной способности на 50% при сохранении предельных длин лопаток последних ступеней. Особое внимание было уделено новым вильчатым двухъярусным лопаткам. Проведенные трехмерные прочностные и аэродинамические расчеты позволили рассмотреть большое количество вариантов исполнения двухъярусных лопаток и выбрать вариант сочетающий как высокие показатели эффективности, так и надежное прочностное и вибрационное состояние. По результатам проработки был сформирован эскизный проект новой двухъярусной лопатки.

4. Область применения результатов ПНИ

Предполагается, что разработанные цилиндры низкого давления повышенной пропускной, обеспечивающие эффективный способ повышения единичной мощности паротурбинных блоков, найдут широкое применение при создании конденсационных паровых турбин сверхвысокой мощности. Новый цилиндр может найти применение и для модернизации существующих турбоагрегатов, так как позволяет сократить число цилиндров низкого давления. Например, для блоков мощностью 800 МВт применение нового ЦНД позволяет сократить число ЦНД с трех до двух, что приведет к снижению металлоёмкости турбоагрегата (более чем на 10 %) и, следовательно, обеспечит существенное сокращение капитальных затрат.

5. Оценка перспектив продолжения работ по проекту

Полученные результаты послужат базой для дальнейшей экспериментальной проработки ряда узлов ЦНД – модели регенеративного отбора, соплового аппарата последней ступени и выхлопного патрубка.