

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

Работа проведена в 2014 г. в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 г.г.» в период с 05 июня 2014 г. по 31 декабря 2014 г.

Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0072 от 05 июня 2014г. (Этап 1).

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

Задача повышения единичной мощности энергоблоков представляет большой практический интерес, так как в этом случае существенно снижается удельная металлоёмкость, и как следствие удельные капиталовложения. Повышение мощности энергоблоков, как правило, осуществляется посредством увеличения расхода пара через проточную часть турбины. Фактором, ограничивающим расход пара, является пропускная способность последних ступеней цилиндров низкого давления (ЦНД).

Целью реализуемого проекта является разработка технических решений, обеспечивающих возможность создания цилиндра низкого давления повышенной пропускной способности.

2. Основные результаты ПНИ

На первом этапе выполнения работ были выбраны и обоснованы направления дальнейшего исследования.

Был проведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, относящийся к проблеме повышения пропускной способности ЦНД. По результатам обзора были выявлены три перспективных концепции цилиндра низкого давления на повышенный расход пара. Среди них: ЦНД с лопаткой последней ступени 1400 мм, цилиндр низкого давления с поворотом потока после предпоследней ступени, а также двухъярусный ЦНД.

Кроме того, на первом этапе были проведены патентные исследования согласно ГОСТ Р 15.011-96 «Система разработки и поставки продукции на производство». Содержание исследования охватывают широкую область технических решений, касающихся современных конструкций ЦНД паровых турбин. Основной акцент сделан на технические решения, повышающие пропускную способность, надёжность работы выходного патрубка и последней ступени ЦНД. Так же рассматривались вопросы, связанные с конструкцией лопаточного аппарата и систем организации регенеративных отборов. Всего было отобрано 79 технических решений, которые отражены в 164 охранном документе затрагивающих рассматриваемую тематику.

Для каждой выбранной, по результатам аналитического обзора литературы, концепции была проведена предварительная конструктивная проработка. Проведенные одномерные тепловые, аэродинамические, а также прочностные расчеты для различных концепций ЦНД с повышенной пропускной способностью наглядно показывают, что ЦНД в двухъярусном исполнении является наиболее перспективным решением поставленной задачи.

Выбор двухъярусного ЦНД обусловлен более высокими показателями эффективности (внутренний относительный КПД 84%) по сравнению с другими рассмотренными вариантами (79% для ЦНД с лопаткой последней ступени 1400мм и 82% для ЦНД с поворотом потока после предпоследней ступени). Дальнейшее совершенствование проточной части двухъярусного цилиндра с применением 3-D моделирования позволит достичь внутреннего относительного КПД 87%. Так же двухъярусное исполнение позволяет избежать ряда недостатков аналогов. Например, применение длинной (1400 мм) лопатки приводит к значительным аэродинамическим потерям из-за высокой веерности и угла раскрытия проточной части. Более того, по

проведенным расчетам, прочностное состояние такой ступени находится на критическом уровне. Говоря об иной организации полуторного выхода – с поворотом потока, следует заметить, что необходимость организации поворотной камеры удлиняет ротор, создает потери с выходной скоростью после предпоследней ступени, а также приводит к появлению аэродинамических потерь при развороте потока. Выше перечисленные особенности приводят к тому что КПД цилиндра с поворотом (при равном теплоперепаде) меньше чем двухъярусного ЦНД почти на 2 %.

Полученные результаты полностью соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту.

В настоящее время ведутся интенсивные работы по созданию лопаток, длиной в 1400÷1500 мм. Однако, здесь возникают очень большие проблемы не только с обеспечением их надежной работы, но и с решением чисто аэродинамических проблем. В этой связи представляется более перспективной разработка двухъярусных цилиндров с учетом современных технологий и опыта проектирования ступеней с длинными лопатками.

3. Область применения результатов ПНИ

Разработанные технические решения послужат базой для дальнейших ОКР. Использование нового ЦНД с увеличенной пропускной способностью в энергетике позволит перейти на новый уровень мощности быстроходных паровых турбин (до 1800-2000 МВт), что в свою очередь даст возможность освоения блоков сверхвысокой мощности. Применение новых ЦНД в уже освоенном мощностном ряде (300-1200 МВт) сократит количество ЦНД, что приведет к снижению металлоемкости и, следовательно, стоимости турбоагрегата, что в свою очередь повысит экономическую эффективность такого оборудования.

4. Оценка перспектив продолжения работ по проекту.

Результаты, полученные на первом этапе выполнения Соглашения, позволяют перейти на этап более глубокого теоретического исследования выбранного конструктивного решения с использованием подробных пространственных 3-D моделей.