

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

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.577.21.0072 от 05 июня 2014г. с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» на этапе № 5 в период с 01 июля 2016 г. по 31 декабря 2016 г. выполнены следующие работы:

- 1 Произведена обработка и анализ результатов экспериментальных исследований, проведенных в четвертом этапе реализации проекта.
- 2 Разработана система организации регенеративного отбора с отсекателем потока и ступенчатым изменением меридионального обвода проточной части верхнего яруса на участке осуществления отбора на основе трехмерного моделирования.
- 3 Скорректирована документация эскизного проекта проточной части двухъярусного цилиндра с учетом результатов модельных экспериментальных исследований его конструктивных узлов.
- 4 Разработан эскизный проект экспериментального образца «вильчатой» рабочей лопатки.
- 5 Разработана технологическая инструкция для изготовления «вильчатой» рабочей лопатки.
- 6 Изготовлен экспериментальный образец «вильчатой» рабочей лопатки ЦНД.
- 7 Проведены аэродинамические расчеты течения рабочей среды в проточной части двухъярусного ЦНД в различных режимах работы в пределах регулировочного диапазона (от технологического минимума до максимального режима работы).
- 8 Выработаны предложения и рекомендации по внедрению разработанных конструкций в энергетике и энергомашиностроении, в частности, при проектировании турбин энергоблоков мощностью 330, 500, 660, 800, 1200 МВт, а также перспективных энергоблоков мощностью 1500, 2000, 2500 МВт.
- 9 Проведена технико-экономическая оценка эффективности применения ЦНД новой конструкции (анализ и сопоставление затрат и экономического результата от применения разработки, расчет показателей экономической эффективности инвестиций).
- 10 Разработано техническое задание на проведение ОКР по теме «Разработка нового цилиндра низкого давления повышенной пропускной способности».
- 11 Разработаны технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических

возможностей, и особенностей индустриального партнера – организации реального сектора экономики.

- 12 Проведена оценка результатов исследований, выполненных в процессе реализации всего проекта.

При этом были получены следующие результаты:

1) Проведенные экспериментальные исследования моделей разработанных конструктивных узлов двухъярусного ЦНД подтвердили их эффективность. Следует отметить, что многие из разработанных методов, а именно применение аэродинамического отсекаателя для снижения неравномерности потока из-за отбора пара, установка диффузора с отрицательной перекрышей, установка противовихревых решеток в корпусах выхлопных патрубков с целью гашения парных вихрей, установка аэродинамического дефлектора с целью предотвращения отрыва потока в области меридионального обвода на входе в сопловой аппарат последней ступени паровой турбины, можно успешно применять и для традиционных (одноярусных) машин. Как показали экспериментальные исследования новой системы регенеративного отбора через осерадиальный канал, образованным аэродинамическим отсекаателем, имеется дополнительный потенциал повышения эффективности послеотборной ступени, реализовать который удастся если ликвидировать диффузорное течение в межступенчатом зазоре отборного отсека ступеней.

2) Проведенные расчеты системы регенеративного отбора с отсекаателем потока и ступенчатым изменением меридионального обвода проточной части (рисунок 1) показали большую перспективность предлагаемого решения.

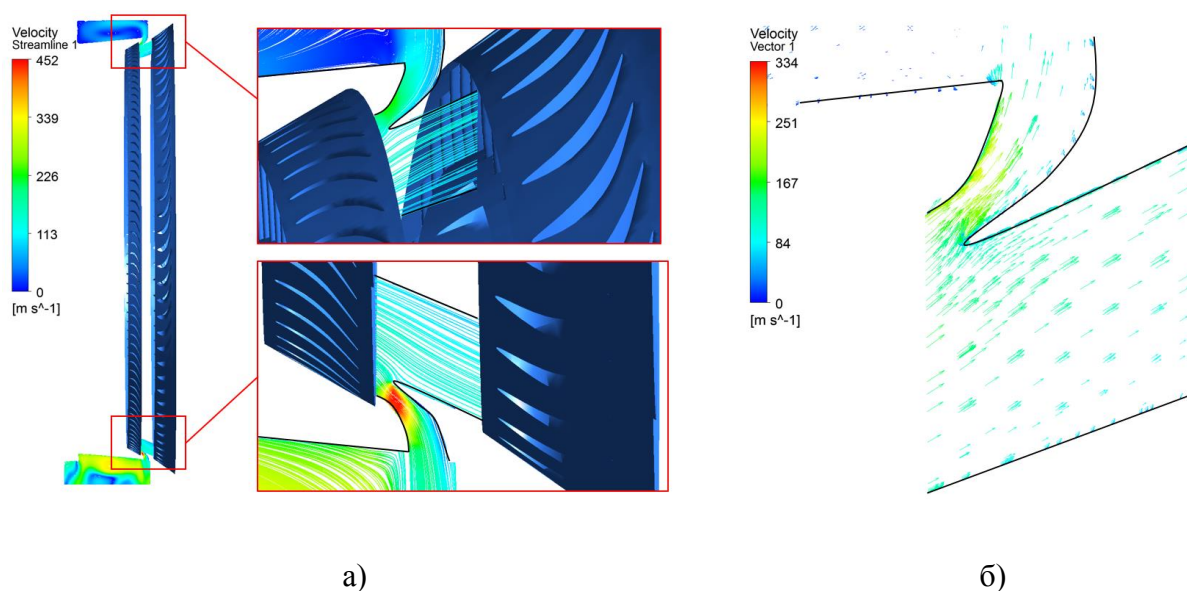


Рисунок 1 - Линии тока и векторное поле скоростей на меридиональном сечении межступенчатого зазора

а) Линии тока; б) Векторное поле скоростей

Изменение формы аэродинамического отсека и смещение периферийного обвода послеотборной ступени в сторону ее корневой зоны, позволили избавиться от диффузорного течения в межступенчатом зазоре отборного отсека ступеней и соответственно от деформации поля скорости в радиальном направлении, что привело к увеличению КПД послеотборной ступени на 5,2%, по сравнению с КПД послеотборной ступени при традиционной системе регенеративного отбора. Так же была снижена окружная неравномерность более чем в три раза, что превосходит требования ТЗ (п. 4.2.2), где ставится цель достигнуть двукратного снижения.

Стоит отметить что разработанную систему регенеративного отбора с отсекающим потоком и ступенчатым изменением меридионального обвода проточной части целесообразно применять только на этапе проектирования новых паровых турбин, поскольку при модернизации паровых турбин на уже действующих энергоблоках внедрение этого решения приведет к замене всей послеотборной ступени, что является трудоемким процессом и требующим больших капиталовложений. Усовершенствование системы организации регенеративных отборов на действующих паровых турбинах возможно реализовать путем установки на ободе диафрагмы послеотборной ступени периферийного аэродинамического отсека, что приведет к уменьшению асимметрии поля скоростей на входе в послеотборный сопловой аппарат и увеличению эффективности ступени на 1%.

3) Разработана технологическая инструкция для изготовления новой не имеющей аналогов в мире «вилочной» рабочей лопатки для двухъярусного ЦНД и на базе этой инструкции изготовлен ее экспериментальный образец, демонстрирующий технологическую возможность промышленного производства рабочих лопаток разработанного типа (п.4.1.2 ТЗ).

4) Проведенные аэродинамические расчеты течения рабочей среды в проточной части разработанного двухъярусного ЦНД в различных режимах работы показали (рисунок 2), что переход на частичный пропуск пара в проточную часть очень сильно нарушает структуру течения в межлопаточных каналах с малой величиной обратной веерности приводя к появлению дополнительных потерь энергии, и соответственно к снижению КПД всей проточной части.

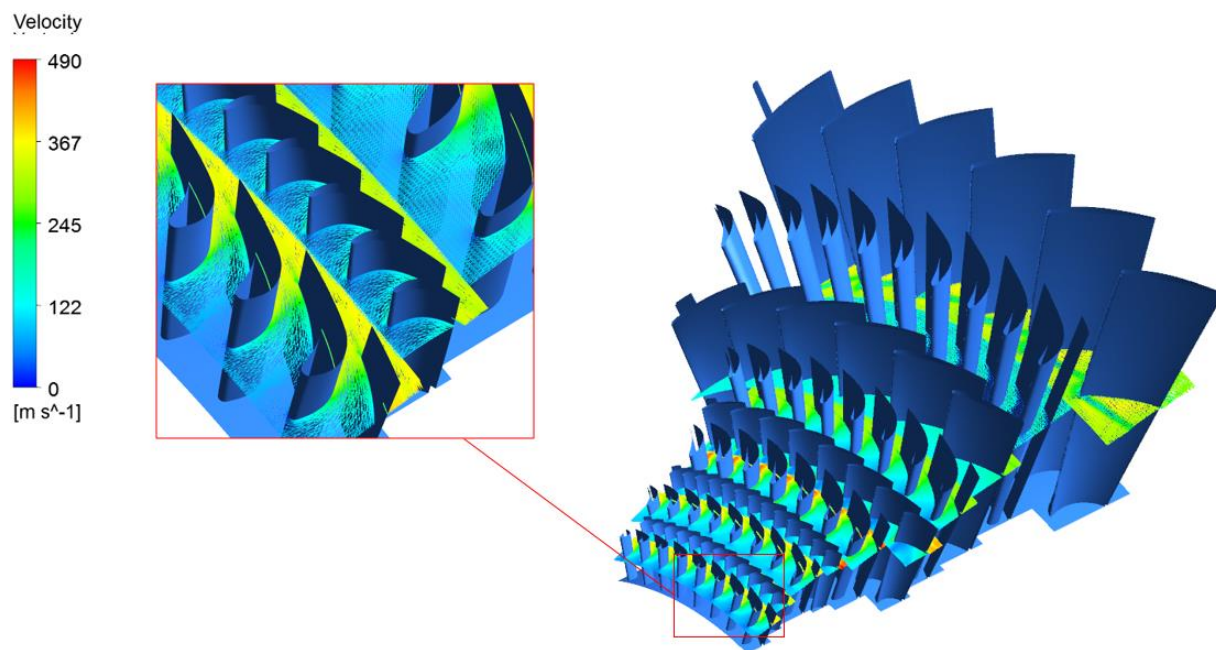


Рисунок 2 - Векторное поле скоростей на среднем сечении проточной части ЦНД

Результаты численного исследования влияния переменных режимов работы на обтекание потоком лопаток малой обратной веерности являются уникальными в своем роде, в связи с отсутствием результатов подобных расчетов в научно-технической литературе. Полученные векторные поля скоростей позволяют наглядно понять причину снижения эффективности ЦНД при переходе на переменные режимы работы, связанной с рассогласованием угла натекания потока на лопатку и конструктивного угла входной кромки.

5) Результаты технико-экономической оценки эффективности применения в паровой турбине К-800-240 двухъярусного ЦНД показали, что строительство энергоблоков на базе этой турбины окупиться на два года раньше, а чистый дисконтированный доход от этого проекта будет больше на 4,68 млрд. руб., чем для проекта по строительству энергоблока с традиционной паровой турбиной К-800-240.

6) Техническое задание на проведение ОКР по теме: «Разработка нового цилиндра низкого давления повышенной пропускной способности» рассматривает полный спектр необходимых технических и конструктивных требований, необходимых для создания и отработки пилотной паровой турбины с двухъярусным цилиндром низкого давления.

7) Обобщение и оценка результатов исследований полученных при поэтапной реализации проекта «Разработка и исследование нового цилиндра низкого давления (ЦНД) повышенной пропускной способности для мощных конденсационных паровых турбин» показали, что разработанные технические решения, обеспечивают возможность создания ЦНД повышенной пропускной способности, позволяющего сократить количество ЦНД на турбинах освоенного класса мощности, и позволяющего конструировать перспективные паровые турбины сверхвысочайшей мощности 1500-2500 МВт. Полученные на всех пяти этапах научно-технические

результаты соответствуют всем требованиям ТЗ, соответственно все поставленные перед ПНИ задачи решены полностью.

Оценка элементов новизны результатов работ по V Этапу

Новизна проведенной в пятом этапе работы заключается прежде всего в экспериментальном образце не имеющей аналогов в мире «вилочатой» рабочей лопатки, являющейся основой для создания двухъярусного ЦНД повышенной пропускной способности, а также в разработанной новой системе организации регенеративных отборов пара, исключаяющей возникновение окружной неравномерности параметров потока и поля скоростей перед сопловым аппаратом послеотборной ступени, что позволяет на 5,2% увеличить КПД послеотборной ступени, стоит отметить отсутствие в доступной научно-технической литературе аналогичных конструкторских решений.

Оценка соответствия полученных результатов работы техническим требованиям к выполнению проекта, и оценка перспектив продолжения проекта

Все обозначенные в Плане-графике работы выполнены в полном объеме. Полученные результаты полностью соответствуют требованиям технического задания. Пятый этап являлся заключительным для всего проекта. Перспектива продолжения проекта, связанного с созданием двухъярусного ЦНД повышенной пропускной способности заключается в проведении опытно-конструкторских работ, план которых подробно описан в проекте технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка нового цилиндра низкого давления повышенной пропускной способности».

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.