

## ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертационной работе Култышева Алексея Юрьевича на тему «Научное обоснование, разработка и реализация модульного принципа создания паровых турбин», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» и 2.4.7 «Турбомашины и поршневые двигатели».

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Актуальность темы диссертационного исследования Култышева Алексея Юрьевича обусловлена необходимостью обеспечения на рынке высоких требований к паротурбинному оборудованию, которое должно иметь высокие технико-экономические и эксплуатационные показатели, позволяющие добиваться высокого уровня конкурентоспособности производителей и оборудования, в короткий период реализовать строительство или реконструкцию объектов, надёжно эксплуатировать оборудование. Актуальность работы связана с несомненно важной для энергомашиностроительной и энергетической отраслей темой по разработке четко отлаженных принципов и методологий конструкторско-технологической подготовки производства паровых турбин, позволяющих применять глубоко проработанный модульный подход с разносторонне и многофакторно оптимизированной архитектурой конструкции и компоновки оборудования.

**Научная новизна** диссертационной работы основывается на результатах теоретических и опытно-промышленных работ, которые позволяют разрабатывать и совершенствовать конструкции паровых турбин для использования их в строительстве новых объектов и при реконструкции электростанций.

Установлено, что в диссертации рассматриваются вопросы, соответствующие паспорту научной специальности 2.4.7. «Турбомашины и поршневые двигатели» в части направления исследований по разработке «научных основ и экспериментальных исследований термодинамических, механических, тепло- и массообменных, физико-химических,

гидрогазодинамических процессов в турбомашинах, исследования общих свойств и принципов функционирования отдельных систем, элементов, вспомогательного оборудования турбомашин», по выполнению «теоретических и экспериментальных исследований с целью повышения эффективности, надежности и экологичности рабочих процессов турбомашин», а также «физико-математического моделирования динамики, напряженно-деформированного состояния, прочности и разрушения материалов, узлов и механизмов, их надежности, режимов работы турбомашин» и «совершенствования систем управления, регулирования, мониторинга технического состояния, диагностирования и контроля показателей функционирования турбомашин».

Также установлено, что в работе рассматриваются вопросы, соответствующие паспорту научной специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы» в части направления исследований по разработке «научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования и методов расчета, алгоритмов и программы выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы энергетических систем, комплексов, энергетических установок», а также по разработке «научных подходов, методов, алгоритмов, технологий конструирования и проектирования, контроля и диагностики, оценки надежности основного и вспомогательного оборудования энергетических систем».

В исследованиях работы получены следующие новые научные результаты:

- на основе комплекса междисциплинарных расчетно-аналитических исследований разработаны конструкции модульных паровых турбин и отдельных модулей, позволившие при оптимизации номенклатурного ряда турбин Уральского турбинного завода добиться высоких уровней технико-экономических показателей и надежности турбоустановок в целом, снизить трудоемкость, длительность разработки и стоимость изготовления оборудования, повысив привлекательность и конкурентоспособность продукции турбинного предприятия (соответствует паспорту специальности 2.4.7);

- впервые системным образом разработан, обоснован и реализован комплекс принципов, методов и критериев модульного проектирования паровых турбин (соответствует паспорту специальности 2.4.5);

- разработаны специальные шкалы комплексной оценки уровней модульности конструкций паровых турбин и цифровой зрелости турбинных предприятий; сформулированы целевые уровни унификации паровых турбин (соответствует паспорту специальности 2.4.7);

- показано, что внедрение модульных принципов создания паротурбинного оборудования позволяет повысить качество, технико-экономические показатели и конкурентоспособность паровых турбин и ПТУ при снижении затрат на их ЖЦ, а также сократить трудоемкость и длительность изготовления оборудования с получением дополнительных возможностей и инструментов для модернизации и сервиса такого оборудования (соответствует паспортам двух специальностей – 2.4.5 и 2.4.7);

- разработаны и изготовлены новые конструкции паровых турбин с оригинальными конструкторскими решениями, использующими модульный принцип (соответствует паспортам двух специальностей – 2.4.5 и 2.4.7).

При этом, безусловно, значительный научный практический интерес составляет разработка одноцилиндровой теплофикационной паровой турбины ПТУ с двумя отопительными отборами и одним производственным с возможностью достижения в одноцилиндровой турбине с активным облопачиванием мощности до 120 МВт и разработка и внедрение цилиндра турбины с унифицированным «квазидроссельным» парораспределением.

Также необходимо отметить новые научные результаты, которые заключаются в разработке и внедрении подходов, методик и инструментов совершенствования эксплуатации ПТУ (соответствует паспортам двух специальностей – 2.4.5 и 2.4.7), в том числе которыми являются: методика «ведения» операционных параметров по критериям работы энергоблока; диаграмма режимов теплофикационной турбины для ПТУ.

**Практическая и теоретическая значимости результатов работы.**  
Впервые разработанная модульная концепция позволили заложить

фундаментальную базу знаний для решения практических конструкторских и технологических задач, решаемых при создании паровых турбин.

По результатам работы определено влияние подходов и инструментов конструкторско-технологической подготовки производства на облик и конструкцию разрабатываемого паротурбинного оборудования. Полученные автором результаты работы использованы Уральским турбинным заводом при разработке паровых турбин и реализованы в конструкциях и принципиальных схемах действующих энергоблоков с турбинами Т-63/76-8,8; Т-40/50-8,8; Тп-35/40-8,8, Т-50/60-8,8; К-63-8,8; К-65-12,8; Тп-100/110-8,8; Т-113/145-12,4; Т-125/150-12,8; Т-295/335-23,5. С использованием результатов работы созданы и внедрены в энергомашиностроение и энергетику новые образцы паротурбинного оборудования, что позволило достигнуть повышения технико-экономических показателей и конкурентоспособности разработанных паровых турбин и ПТУ при снижении затрат на жизненный цикл оборудования. Результаты работы защищены патентами.

Диссертация без сомнения имеет практическую ценность для паротурбостроения и энергетики.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 77, из них в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по научным специальностям 2.4.5 и 2.4.7 – 36, в том числе в изданиях, индексируемых международной базой данных Scopus – 17. Получено 3 патента РФ на изобретение, а также результаты вошли в монографии, учебные пособия.

**Во введении** обозначена общая характеристика диссертационной работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, степень разработанности темы, научная новизна, теоретическая значимость, практическая значимость полученных результатов и обозначены выносимые на защиту положения. Приведены сведения о публикациях по теме, объеме и структуре диссертации.

**В первой главе** приведено состояние вопросов по теме и выполнен обзор публикаций. Показана и обоснована важность и эффективность использования системного научного подхода к исследованиям и совершенствованию процессов

жизненного цикла турбинного оборудования. Представлены результаты разработки специальных шкал для оценки уровней модульности конструкций паровых турбин и цифровой зрелости турбинных предприятий. С использованием шкал показаны и проанализированы результаты комплексной оценки уровней модульности конструкций паровых турбин и цифровой зрелости различных мировых производителей турбинного оборудования.

В главе сформулированы целевые уровни унификации паровых турбин.

Сформулирована и охарактеризована современная концепция развития турбинного предприятия.

На основании результатов работ, представленных в главе сформулированы задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** представлены подходы к сокращению номенклатурного ряда производимых на предприятии паровых турбин. Аргументирована важность формирования номенклатурного ряда несерийной наукоемкой продукции турбинных предприятий и сформулированы правила формирования и модифицирования рядов и профилей оборудования.

В главе исследованы, разобраны и описаны различные подходы и особенности всех стадий ЖЦ паротурбинного оборудования от создания до эксплуатации и сервиса.

Установлены и описаны особенности модульного проектирования как неотъемлемой составляющей части развития жизненного цикла паротурбинного оборудования.

Обозначено, что применение модульного принципа для теплофикационных турбин является крайне востребованным в связи с необходимостью обеспечения многовариантных индивидуальных проектных требований к схемно-компоновочным решениям, которые в значительной степени влияют на большую вариативность конструкций собственно турбины.

**В третьей главе** представлены исследования и описание разработки модульной концепции создания и сопровождения жизненного цикла паровых турбин как основного направления развития турбинного завода и его продукции.

Расчетными исследованиями показано, что оценочные коэффициенты унификации паровых турбин УТЗ без применения модульных принципов (разработки до 2012 года) достигли своих предельных значений.

Сформулированы и предложены основные положения и принципы построения модульных конструкций паротурбинного оборудования, требования к модулям, порядок работ по модульному проектированию, а также разработан алгоритм модульного подхода.

На основании опыта создания паровых турбин сформулированы основные и дополнительные принципы выделения и разработки модулей.

Продолжение расчетных исследований показало, что оценочные коэффициенты унификации паровых турбин УТЗ с применением модульных принципов (разработки после 2012 года) достигли повышенных значений.

Автор отмечает, что за счет введения модульной концепции достигнутый уровень унификации обеспечил сокращение трудоемкости и длительности разработки и производства паровых турбин УТЗ на 25-30% и позволил изготавливать образцы из номенклатурного ряда в течение 10-14 месяцев против 14-20 месяцев в период до внедрения.

**В четвертой главе** предложены и разобраны конструкторские и технологические решения, позволяющие совершенствовать модули, конструкцию, сборку паровых турбин и турбинного оборудования для достижения максимального эффекта от использования концепции и высоких технико-экономических показателей ПГУ при эксплуатации на энергетических объектах.

Показаны примеры расчетно-аналитических исследований и совершенствования модулей.

Представлена разработка и внедрение «квазидроссельного» парораспределения в паровой турбине типа Т-125/150-12,8.

В работе разобран вопрос разработки и совершенствования паровой турбины Т-63/76-8,8 и КТ-63-7,7 для ПГУ мощностью 230 МВт с доказательством целесообразности использования повышенного давления пара контура низкого давления. Применение новой конструкции одноцилиндровой теплофикационной

паровой турбины для ПГУ решает задачу по организации в одноцилиндровой турбине мощностью свыше 60 МВт более чем двух регулируемых отборов пара.

В главе показан опыт повышения технико-экономических показателей паровых турбин и турбинного оборудования ПГУ за счет решения задач технологической подготовки производства и совершенствования производственных процессов, а также показан новый опыт повышения технико-экономических показателей паровых турбин и турбинного оборудования ПГУ за счет решения задач модернизации и реновации такого оборудования, а также сервисного обслуживания.

**Пятая глава** представляет описание внедрения и использования концепции модульного создания паровых турбин, примеров реализации цифровой трансформации и эффекта от разработки модульных конструкций на предприятии с реализованной трансформацией.

Пилотным проектом по внедрению модульных подходов стал проект создания турбины Т-63/76-8,8 для ПГУ.

**В заключении** диссертации представлены основные выводы по работе.

Работа написана грамотным техническим языком. Содержание диссертации, также как научные результаты, соответствуют паспортам научных специальностей 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» и 2.4.7 «Турбомашины и поршневые двигатели». Отдельно стоит отметить высокое качество иллюстрированного материала.

Автореферат соответствует работе по всем научно-квалификационным требованиям: цель, задачи, основные положения, актуальность темы, научная новизна и научные результаты ее определяющие, практическая и теоретическая значимости, достоверность и обоснованность, публикации, личный вклад и др.

По представленным материалам диссертации и автореферата имеются следующие **вопросы и замечания**:

1. Несмотря на достаточно подробный обзор современных зарубежных практик библиографический список содержит небольшое количество ссылок на зарубежные источники.

2. В таблице 1.1 представлены результаты оценки цифровой зрелости мировых производителей паротурбинного оборудования и уровня унификации/модульности при этом отсутствует вывод о том, какое машиностроительное предприятие самое «зрелое» и обладает наибольшим уровнем унификации.

3. В главе 1 показано, что на ряде машиностроительных предприятий используются элементы концепции модульного проектирования. Существует ли на этих предприятиях локальная нормативная база, устанавливающая требования и правила для использования модульного проектирования?

4. В таблице 3.1 на странице 246 диссертационной работы представлен сравнительный анализ ключевых формулировок создания модульных конструкций и нормативного акта Р 50-54-103-88. Разработаны основные положения модульной концепции. Целесообразно составить обращение в соответствующий государственный орган с предложением по разработке современного актуального нормативного документа для энергомашиностроительных предприятий и для турбиностроительных заводов, в частности.

5. На странице 271 диссертации в таблице 3.3. представлен рост коэффициентов унификации паровых турбин производства УТЗ с внедрением модульных конструкций. Как автор оценивает дальнейший потенциал роста коэффициентов унификации и его предельно достижимые значения?

6. В параграфе 3.7 не достаточно раскрыто взаимодействие PLM систем с другими системами предприятия (MES, ERP) и возможное повышение производительности от данного взаимодействия.

Сделанные замечания не снижают ценность и не ставят под сомнение достоверность результатов и выводов исследований диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа Култышева Алексея Юрьевича на тему «Научное обоснование, разработка и реализация модульного принципа создания паровых турбин» полностью соответствует требованиям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора технических наук, а ее автор



заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы» и 2.4.7. «Турбомашины и поршневые двигатели».

Официальный оппонент,  
генеральный директор ОАО «Научно-  
производственное объединение по  
исследованию и проектированию  
энергетического оборудования  
им. И.И. Ползунова», д.т.н., профессор



Михайлов  
Владимир Евгеньевич

« 31 » октября 2023 г.

Сведения:

Почтовый адрес: 191167, Санкт-Петербург, ул. Атаманская, д. 3/6

Тел.: +7 (812) 717-23-79

E-mail: [general@ckti.ru](mailto:general@ckti.ru)

Сайт: <http://ckti.ru>

Подпись Михайлова Владимира Евгеньевича заверяю

Д.т.н., Доцент, Ученый секретарь НТС ОАО «НПО ЦКТИ»



« 31 » октября 2023 г.