

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Култышева Алексея Юрьевича «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», 2.4.7. «Турбомашины и поршневые двигатели».

Диссертационная работа посвящена вопросам повышения эффективности разработки, изготовления, монтажа и пуско-наладки оборудования, а также улучшению технико-экономических и эксплуатационных показателей паротурбинного оборудования путем внедрения модульного принципа создания паровых турбин.

Научное направление всех основных разработок и исследований, представленных в диссертационной работе, соответствует паспортам научных специальностей 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы», 2.4.7 «Турбомашины и поршневые двигатели»

### **Актуальность темы диссертации**

Реализация проектов по обновлению оборудования существующих электростанций в рамках проектов ДПМ, строительство новых электростанций обеспечило высокую загрузку энергомашиностроительных заводов на ближайшую перспективу. При этом в большинстве случаев требуются турбины, имеющие параметры, отвечающие потребностям конкретного энергообъекта. В большинстве случаев реализация проектов осуществляется в сжатые сроки, с высокими требованиями к технико-экономическим и эксплуатационным показателям поставляемого оборудования. Снижение трудоемкости работ по созданию и производству современного оборудования и соответственно производство его в короткие сроки возможно только за счет унификации применяемых узлов оборудования и применения модульного подхода с оптимизированной и отработанной конструкцией используемых модулей.

Именно поэтому работа Култышева А.Ю., посвященная разработке модульного принципа создания паровых турбин, является своевременной и актуальной.

Работа соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ (энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика), а также критическим технологиям РФ (технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе) из перечня, утвержденного Указом Президента РФ № 899 от 07.07.2011.

### **Научная новизна и значимость работы**

Научная новизна и значимость диссертационной работы заключается в разработке, апробации и внедрении в производство комплекса методических и практических рекомендаций, позволяющих совершенствовать процессы производства и эксплуатации турбин, путем одновременной реализации модульного подхода и цифровой трансформацией энергомашиностроительных предприятий:

- впервые системным образом разработан, обоснован и реализован комплекс принципов, методов и критериев модульного проектирования паровых турбин;

- показано, что внедрение модульных принципов создания паротурбинного оборудования позволяет повысить качество, технико-экономические показатели паровых турбин и ПТУ при снижении затрат на их жизненный цикл, а также сократить трудоемкость и длительность изготовления оборудования с получением дополнительных возможностей для модернизации и сервиса такого оборудования;

- разработаны и изготовлены новые конструкции паровых турбин с оригинальными конструкторскими решениями, использующими модульный принцип;

- разработаны и внедрены подходы, методики и инструменты совершенствования режимов эксплуатации паровых турбин и ПТУ.



### **Практическая значимость полученных результатов**

В диссертационной работе разработан комплекс принципов, внедрение которого в процесс создания новых паровых турбин и модернизации существующих турбин, позволяет значительно повысить эффективность разработки, изготовления, монтажа и пуско-наладки оборудования, а также повысить технико-экономические и эксплуатационные показатели паротурбинного оборудования.

На основе результатов исследования созданы новые образцы паротурбинного оборудования с высокими технико-экономическими показателями.

Технические решения защищены патентами на изобретения.

### **Обоснованность и достоверность результатов работы**

При выполнении исследований и решении поставленных в работе задач корректно использовались современные вычислительные методы численного САЕ-анализа, проводимого на сертифицированном программном обеспечении; использовались современные методы конструирования, проводимого на сертифицированном программном обеспечении твердотельного моделирования.

Также обоснованность и достоверность результатов работы подтверждается положительными результатами пуско-наладочных работ, гарантийных испытаний и успешной эксплуатацией созданного оборудования.

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа изложена на 435 страницах и состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка из 159 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, определены цель и задачи исследований, показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, обоснована их достоверность.

**В первой главе** представлены результаты анализа публикаций по вопросам исследования в том числе систематизации подходов к конструкторско-технологической подготовке производства, производству энергетического оборудования ТЭС, а также особенностям и возможностям реконструкции,

модернизации, эксплуатации и сервисного обслуживания оборудования с разными конструкциями с учетом влияния принципов, заложенных при формировании профиля и конструкции оборудования, систем, узлов и деталей.

Показана и обоснована важность и эффективность использования системного научного подхода к исследованиям и совершенствованию процессов всего ЖЦ турбинного оборудования.

Для решения задач комплексной оценки существующих конструкций турбин и уровней заводов производителей ПТУ диссертантом разработаны специальные шкалы оценки уровней модульности конструкций паровых турбин и цифровой зрелости турбинных предприятий, оценки цифровой трансформации турбинного предприятия. Критическая оценка проведена на основе этих разработок.

На основании выполненного критического обзора литературы и специализированных источников определены направления дополнительных исследований и разработок, сформулированы задачи диссертационной работы.

Интересным и важным представляется предложенное автором положение об осуществлении модернизации оборудования по опыту эксплуатации или сервисного обслуживания данного оборудования. В настоящее время производителями оборудования в большинстве случаев это не реализуется; несмотря на выявленные и устраненные в условиях эксплуатации недостатки новое оборудование выпускается старой конструкции.

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

Исследованы различные подходы и особенности всех стадий ЖЦ паротурбинного оборудования от создания до эксплуатации и сервиса. Установлено, что максимальный эффект от внедрения модульной конструкции оборудования будет достигнут только в случае, если будет внедрена комплексная



модульная концепция, которая, помимо развития модульных конструкций и повышения уровня цифровой зрелости, будет учитывать одновременность и равномерность их развития на всех этапах ЖЦ.

Показано, что внедрение в АО «УТЗ» модульных принципов создания паротурбинного оборудования позволило повысить качество, технико-экономические показатели и конкурентоспособность паровых турбин и снизить затраты на их жизненный цикл, а также сократить трудоемкость и длительность изготовления оборудования с получением дополнительных возможностей и инструментов модернизации и сервиса такого оборудования.

**В третьей главе** представлены результаты разработки модульной концепции создания и сопровождения жизненного цикла паровых турбин.

В рамках разработки концепции сформулировано целевое состояние ее внедрения – достижение «инновационного уровня» по разработанной укрупненной шкале оценки уровня модульности.

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.

Показана уточненная методология управления составами изделия, которая учитывает опыт внедрения ее на УТЗ.

Очень важными представляются, предлагаемые автором, механизмы сбора информации по оборудованию в процессе его наладки и эксплуатации.

Также представляется принципиально важным, что в диссертации автор предлагает разработчикам оборудования также разрабатывать системы мониторинга, прогностики и диагностики оборудования и в процессе жизненного цикла оборудования использовать для наблюдения за оборудованием. В настоящее время большинство предлагаемых систем диагностики создаются без участия разработчика оборудования, что малоуспешно.

**В четвертой главе** представлены конструкторские и технологические решения, позволяющие совершенствовать модули, конструкцию, сборку паровых турбин и турбинного оборудования для достижения максимального эффекта от использования концепции.

Показаны примеры расчетно-аналитических исследований и совершенствования модулей, которые позволяют использовать такие модули в максимальном количестве модульных конструкций паротурбинного оборудования.

Предложено и обосновано выполнять инженерные исследования конструкций модулей с глубокой интеграцией CAE-расчетов в CAD-системы.

Показан опыт повышения технико-экономических показателей паровых турбин и турбинного оборудования ПТУ за счет решения задач технологической подготовки производства и совершенствования производственных процессов.

Представлены предложения по расчетному и экспериментальному определению максимальных технико-экономических показателей с поддержанием их на установленном оптимальном уровне. Показан опыт повышения технико-экономических показателей паровых турбин и турбинного оборудования ПТУ за счет решения задач модернизации и реновации такого оборудования, а также сервисного обслуживания.

Большой интерес вызывает представленная в работе эволюция, на основе модульного подхода, паровой турбины из 2-х цилиндровой в одноцилиндровую с петлевой схемой, применяемую сегодня для многих ПГУ.

В пятой главе показаны результаты внедрения и прикладного использования методологии модульного проектирования оборудования ПТУ, реализации цифровой трансформации. Показан эффект от реализации возможностей инструментов изменений по внедрению в модульные конструкции паровых турбин новых конструктивных решений.

По представленной диссертационной работе имеется ряд замечаний и вопросов:



1. На стр. 275 представлено понятие модуля для общепромышленного оборудования, показана проблематика выделения модуля в турбине. Сформулированы требования к модулю с точки зрения разработки и технологичности. При этом в работе отсутствует детальное описание разделения турбинного оборудования на модули и описание критериев (параметров) модуля, который бы позволил сформулировать принципы взаимозаменяемости узлов (модулей) для задач ремонта и эксплуатации.

2. При формировании концепции модульного создания паротурбинных установок, автор говорит о единых подходах на протяжении всего жизненного цикла оборудования. Тем не менее в основных положениях концепции рассмотрены в основном этапы, связанные с проектированием и производством оборудования. Следовало бы добавить принципы отражающие техническое сопровождение на этапах монтажа, наладки, эксплуатации и ремонта. Представляется правильным, чтобы уже на этапе разработки модулей оборудования разрабатывались для них элементы мониторинга и диагностики, которые позднее будут объединены в общую систему. При этом уже на этапе производства можно заносить в информационную базу конкретного элемента те технологические отклонения, которые в дальнейшем могут вызвать отклонения в состоянии оборудования при эксплуатации.

3. На стр. 371 предложено решение по повышению экономичности работы ПТУ на режимах с давлением пара в конденсаторе ниже предельной величины путем определения величины предельного давления пара в конденсаторе, расчете необходимого расхода охлаждающей воды и автоматического удержания такой величины при работе посредством запорной арматуры в соответствии с замером по расходомерному устройству. Заявлено, что внедрение такого технического решения позволяет повысить экономичность за счет уменьшения мощности на прокачку охлаждающей воды путем уменьшения ее количества.

Регулирование арматурой не снизит затраты э/э на прокачку воды, а только перераспределит потоки воды на другие агрегаты. Для снижения затрат

э/э было бы целесообразно управлять мощностью насоса через частотно-регулируемый привод или гидромолфу.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы Култышева А.Ю.

Содержание диссертации соответствует паспортам специальностей 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы» и 2.4.7. «Турбомашины и поршневые двигатели».

Автореферат полностью соответствует диссертации. Результаты диссертации опубликованы в 77 публикациях, в т.ч. 33 статьях в научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, 3-х монографиях; представленные разработки защищены патентами на изобретения.

Считаю, что диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ по критерию «новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны», а диссертант Култышев Алексей Юрьевич заслуживает присвоения ему ученой степени доктора технических наук специальностям 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы» и 2.4.7. «Турбомашины и поршневые двигатели».

Официальный оппонент:

начальник Производственно-технического управления Свердловского филиала ПАО «Т Плюс», доктор технических наук, доцент

\_\_\_\_\_

Мурманский Борис Ефимович

10 ноября 2023

620075 г. Екатеринбург пр. Ленина, 38.  
Boris.Murmanskiy@tplusgroup.ru

Подпись Мурманского Б.Е. заверяю – ведущий специалист управления по работе с персоналом Ильиных И.А. 

