



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ивановский государственный энергетиче-
ский университет
имени В.И. Ленина»
(ИГЭУ)

ул. Рабфаковская, 34, г. Иваново, 153003
тел.(4932) 32-72-43, факс (4932) 38-57-01
e-mail: office@ispu.ru <http://игэу.рф> <http://ispu.ru>

№ 17-716/15 от 24.11. 2014 г.

На №

Ученому секретарю
диссертационного совета Д212.285.07
ФГАОУ ВПО «Уральский федераль-
ный университет им. первого Прези-
дента России Б.Н. Ельцина»

Аронсону К.Э.
620002, г. Екатеринбург,
ул. Софьи Ковалевской, 5, ауд. Т-703

В качестве ведущей организации, направляем Вам отзыв на автореферат кандидатской диссертации **Смирнова А.А.** «Численное моделирование термо-напряженного состояния ротора паровой турбины для контроля в темпе процесса при переходных режимах работы турбоустановки».

Отзыв подписали следующие сотрудники ФГБОУ ВПО «Ивановский государственственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ):

заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции», д.т.н., проф. Барочкин Евгений Витальевич;

заведующий кафедрой «Паровые и газовые турбины», к.т.н., доцент Виноградов Андрей Львович

Проректор по НР ИГЭУ

В.В. Тютиков



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Ивановский государственный энергетиче-
ский университет
имени В.И. Ленина»
(ИГЭУ)**

ул. Рабфаковская, 34, г. Иваново, 153003
тел.(4932) 32-72-43, факс (4932) 38-57-01
e-mail: office@ispu.ru <http://игэу.рф> <http://ispu.ru>

№ _____ от _____ 2014 г.

На № _____



В.В. Тютиков

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию
Смирнова Александра Андреевича
на тему **«Численное моделирование термонапряженного состояния ротора паро-
вой турбины для контроля в темпе процесса при переходных режимах работы
турбоустановки»** представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.04.12- Турбомашин и комбинированные турбоустановки

Актуальность исследований. Предмет и объект исследований.

В настоящее время наблюдается тенденция к ужесточению требований, предъявляемых к надежности и маневренным характеристикам энергетических паровых турбин, что относится как к вновь проектируемым, так и находящимся в эксплуатации машинам. Можно выделить несколько причин данного явления.

Большая часть паровых турбин, эксплуатируемых в нашей стране, близка к выработке своего ресурса. Для продления срока эксплуатации турбин и обеспечения их надежности необходимо принимать меры к снижению пусковых напряжений в деталях турбин, а также к снижению влияния человеческого фактора в наиболее ответственных переходных режимах работы турбоустановок.

В условиях нарастающего дефицита электроэнергии, турбоагрегаты, проектировавшиеся ранее как базовые, вовлекаются в покрытие переменной части суточного графика электрической нагрузки. В районах промышленных центров наибольшая часть генерирующих мощностей сосредоточена на крупных ТЭС, что обуславливает повышенные требования к маневренности мощных паровых турбин.

Активное проектирование и ввод в эксплуатацию новых парогазовых установок, выполненных по схеме с котлом-утилизатором, связано с предъявлением высоких требований к маневренности паровых турбин, что обусловлено необходимостью совместной работы с газотурбинной установкой, пуск которой осуществляется на порядок быстрее по сравнению с паротурбинной установкой.

Актуальность темы определяется и все возрастающей потребностью в компьютерных тренажерных системах, которые развиваются на базе математического моделирования сложных динамических систем реального времени с высокой степенью подобия воспроизведения всережимного поведения реального объекта-прототипа. Необходима непрерывная противоаварийная подготовка оперативного персонала энергопредприятий. Ошибки персонала при переходных режимах, нарушения пуско-

вых инструкций ведут к ускоренному накоплению термоусталостной поврежденности металла турбины и при большем числе пусков – к появлению трещин в деталях.

Предметом исследования в диссертационной работе Смирнова А. А. является моделирование термонапряженного состояния роторов паровых турбин в темпе технологического процесса на основе современных информационных технологий и вычислительной техники в условиях эксплуатации.

В качестве объекта исследования Смирновым А. А. выбрано самое распространенное семейство теплофикационных паровых турбин Т-110/120-130, состоящей из восьми модификаций (далее по тексту Т-110), турбины Тп-115-130 и ПТ-90-130, ТР-110-130 созданы на базе широкой унификации с турбиной Т-110. В конструкции турбин этого крупного семейства регулирующая ступень – двухвенечная, поэтому критической зоной является РВД в зоне паровпуска. Так же единственный эксперимент по непосредственному измерению температур в осевых расточках роторов высокого и среднего давлений был поставленный профессором В. В. Куличихиным при исследовании переменных режимов теплофикационной турбины Т-100-130 (эта турбина прототип Т-110). Исследование Куличихина В.В. показало, что непосредственное термометрирование роторов в условиях эксплуатации штатно является очень сложным и следует искать альтернативу в использовании для этих целей различных математических моделей.

Основные научные результаты, обладающие научной новизной:

- использование метода конечных элементов для моделирования нестационарного температурного поля ротора паровой турбины в реальном времени в условиях эксплуатации, что обеспечивает повышение точности моделирования, в сравнении с аналитическими, традиционными моделями теплофизических процессов для примитивного цилиндрического тела.
- обосновано и исследовано влияние наиболее значимых факторов для разработанной методики моделирования температурного поля ротора, среди которых оптимизация модели, оценка погрешности вычислений, а также скорость вычислений в реальном времени;
- для ротора высокого давления паровой турбины Т-110-130 определены характерные разности температур, которые однозначно определяют возникающие в нем максимальные термические напряжения;
- получены регрессионные зависимости, связывающие максимальные термические напряжения, возникающие в зоне регулирующей ступени ротора высокого давления турбины Т-110-130, с характерными разностями температур в нем.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации определяется использованием общепризнанных методик моделирования, математических методов и алгоритмов; применением сертифицированного программного обеспечения ANSYS и MATLAB; использованием для реализации моделей чертежей завода-изготовителя турбин, отраслевых нормативных документов; проведено тестирование, разработанных моделей на задачах, которые имеют точные решения или решения найдены апробированными методами; хорошим совпадением результатов автора с результатами других аналогичных исследований.

Практическая значимость диссертации определяется тем, что полученные выводы позволяют обоснованно применять оптимизированную конечно-элементную модель в темпе переходного процесса работы турбины для контроля ее температурного и термонапряженного состояния. Полученные диссертантом результаты позволяют реализовать автоматическое управление пусками паровых турбин, критическим элементом которых является ротор, по уровню напряжений в нем, а также могут быть использованы в современных энергетических терминальных комплексах; повы-

шают качество и объем получаемой технологической информации при подготовке персонала.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

- недостаточное логическое обоснование при выборе именно метода конечных элементов по сравнению с другими численными или аналитическими методами для решения задач, поставленных в диссертационной работе;

- ротор паровой турбины перед пуском может быть в разных тепловых состояниях. Необходимо пояснить, как определяются начальные условия при моделировании процесса прогрева ротора паровой турбины из различных фактических тепловых состояний по предложенной модели;

- на сегодняшний день единственным фактически измеряемым параметром, характеризующим состояние металла ротора паровой турбины, является относительное расширение ротора (ОРР). ОРР является главной причиной изменения осевых зазоров при пусках, остановах и переходных режимах. Необходимо пояснить, как предложенная диссертантом модель отражает реальное температурное состояние и положение ротора относительно статора;

- необходимо уточнить, если бы в среде MATLAB с помощью МКЭ кроме расчета поля температур решалась бы и задача напряженнодеформированного состояния, то на сколько возросли бы требуемые вычислительные ресурсы и время решения;

- в среде имитационного моделирования MATLAB Simulink разработана библиотека блоков для апробации разработанных моделей температурного поля и термонапряженного состояния. Необходимо оценить насколько трудоемко специалистам инжиниринговых компаний создать реальное устройство по предложенным разработкам для турбины Т-110-130 и для турбин других семейств;

- с учетом перспективы повышения начальных параметров пара для паровых турбин до суперсверхкритических, сохранится ли практика использования двухвечной регулирующей ступени как инструмента снижения температур для ступеней давления высокотемпературного цилиндра?

- по тексту диссертации и автореферата имеются орфографические и синтаксические ошибки правописания.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации Смирнова А.А. Диссертация представляет собой законченную научную работу, в которой решены актуальные задачи для энергетики и энергомашиностроения. Выводы и основные положения диссертации, содержащиеся в заключении, являются в целом обоснованными и их следует признать правильными.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Считаем целесообразным продолжить работу по использованию результатов диссертационной работы Смирнова А. А. в проектировании тренажерных комплексов для современной энергетики, в энергомашиностроении а также на электростанциях в качестве диагностических устройств и средств автоматизации.

Результаты и выводы диссертации будут полезны для организаций, занимающихся расчетами, проектированием паровых турбин: ЗАО «Уральский турбинный завод» (УТЗ), Филиал «Силовые машины» - Ленинградский Металлический завод (ЛМЗ), ОАО "Калужский турбинный завод" (КТЗ); для специализированных исследовательских центров: Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт, ОАО НПО "Центральный котлотурбинный институт", ЗАО «Интеравтоматика»; ВУЗов РФ по направлению: Ивановский государственный энергетический университет, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, ВГБОУ ВПО "Национальный исследовательский университет "МЭИ", Санкт-Петербургский государ-

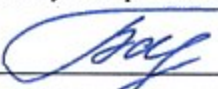
ственный технический университет, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Институт машиностроения (ЛМЗ-ВТУЗ), Казанский государственный энергетический университет, Ульяновский Государственный технический университет; профильные предприятия энергетического комплекса; инжиниринговые компании.

В автореферате полно отражены основные положения, выводы диссертационной работы. Результаты диссертации достаточно полно опубликованы в реферируемых журналах и сборниках (всего 10 печатных работ), в том числе, четыре статьи в ведущих научных рецензируемых журналах, определенных ВАК РФ. Работа докладывалась на отечественных и международных научно-практических семинарах и конференциях. Диссертационная работа и автореферат хорошо оформлены, материал изложен достаточно ясно и четко. Личный вклад автора во все этапы диссертационной работы не вызывает сомнений.


Диссертация Смирнова Александра Андреевича на тему «Численное моделирование термонапряженного состояния ротора паровой турбины для контроля в темпе процесса при переходных режимах работы турбоустановки», представленная к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 - Турбомашин и комбинированные турбоустановки выполнена на современном научно-методическом уровне. Все основные результаты работы соответствуют современным физическим и техническим представлениям, и их следует признать правильными. По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения искомой степени по специальности 05.04.12 - Турбомашин и комбинированные турбоустановки.

Отзыв обсуждён и одобрен на заседании кафедры Паровых и газовых турбин Ивановского Государственного Энергетического университета, протокол заседания №.3. от 14.11.2014 г.

Зав. каф. «Тепловые электрические станции» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ), доктор технических наук, профессор.


Барочкин Евгений Витальевич
Адрес: 153003, г. Иваново ул. Рабфаковская, 34, корпус В, ауд. 419
Тел./факс: +7 (4932) 269934
E-mail: admin@tes.ispu.ru

Зав. каф. «Паровые и газовые турбины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ), кандидат технических наук., доцент


Виноградов Андрей Валерьевич
153003, г. Иваново ул. Рабфаковская, 34, корпус В, ауд. 338
Тел./факс: +7 (4932) 338933
E-mail: val@tren.ispu.ru



Подписи сотрудников заберяю,

Генеральный секретарь совета ИГЭУ  *О.А. Ширяева*