

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Новосёлова Владимира Борисовича

«Разработка методов исследования и совершенствования электрогидравлической системы регулирования и защиты паровых теплофикационных турбин и их элементов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки»

На рецензирование представлена диссертационная работа общим объемом 417 страниц, иллюстрированная 156 рисунками и 16 таблицами, состоящая из введения, 8 глав, заключения и списка литературных источников из 311 наименований.

Диссертационная работа В.Б. Новосёлова посвящена разработке методов исследования и совершенствования электрогидравлической системы регулирования и защиты паровых теплофикационных турбин и их элементов.

Научное направление всех основных разработок и исследований, представленных в диссертационной работе, соответствует паспорту научной специальности 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки».

Актуальность темы диссертации

Эффективность и безопасность работы паротурбинных агрегатов электростанций обеспечивается в значительной мере работой систем регулирования и защиты паровых турбин, позволяющих осуществлять весь технологический цикл управления, начиная от толчка ротора и его разворота на холостом ходу и заканчивая набором нагрузки и включением автоматических регуляторов основных параметров турбины.

Особое значение в этой связи приобретает оснащение паровых турбин современными электрогидравлическими системами регулирования и защиты, позволяющими существенно улучшить качество участия турбин в регулировании частоты и мощности энергосистемы, а для теплофикационных турбин также и качество поддержания регулируемых параметров отопительных и производственных отборов пара.

Работы по переоснащению систем регулирования ведутся всеми ведущими турбостроительными заводами России, однако исследований, посвящённым вопросам эффективности этих работ уделяется недостаточно внимания, особенно при оценке надёжности работы агрегатов в аварийных ситуациях, экспериментальная проверка в которых затруднена, а зачастую и невозможна в силу значительной опасности. Поэтому постановка и решение этих задач автором делает рассматриваемую работу весьма актуальной.

Общая характеристика работы.

Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения и списка использованных источников.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель, основные задачи исследования, выносимые на защиту положения, научная новизна, практическая значимость и реализация результатов работы.

В первой главе представлен обзор публикаций, посвященных разработке и исследованию систем регулирования и защиты теплофикационных паровых турбин. На основе критического анализа и обобщения литературных данных определены направления дополнительных исследований, сформулированы задачи исследования.

Во второй главе представлены результаты исследования и оптимизации параметров системы регулирования частоты вращения (СР ЧВ) паровой теплофикационной турбины семейства Т-100-130 УТЗ, а также методов обобщения моделей СР ЧВ электрогидравлических систем регулирования и защиты паровых турбин с различными динамическими характеристиками. Показана определяющая роль усиления в контуре позиционирования сервомотора регулирующих клапанов турбины на качество системы регулирования частоты вращения. Получены оптимальные значения параметров СР ЧВ, реализующих различные (П-, ПИ-, ПД) законы регулирования.

В третьей главе представлены результаты разработки, исследования и оптимизации системы защиты (СЗ) паровой турбины в составе электрогидравлической системы регулирования и защиты. Выполнен анализ многоканальных СЗ по конструктивным признакам: проточные - отсечные, золотниковые - беззолотниковые. Автором самостоятельно и в соавторстве предложены, исследованы, разработаны и реализованы в ряде проектов новых и модернизируемых паровых турбин многоканальные СЗ, выполненные по всем перечисленным конструктивным схемам.

В четвёртой главе представлены результаты исследования влияния объёмов пара и воды в регенеративных и сетевых подогревателях паровой турбины на разгон турбины при сбросе нагрузки турбоагрегата. Выполнен анализ процесса истечения потока «вскипающего» пара (ВП) и его расширения в проточной части турбины и разработана инженерная методика расчёта работы этого потока и связанного с ней дополнительного повышения частоты вращения ротора. Разработана уточнённая методика расчёта работы «вскипающего» пара, учитывающая переменность количества конденсата и параметров

воды и пара в процессе вскипания. Получены новые расчётные формулы для точного определения работы вскипающего пара с учётом поправочного коэффициента, являющегося функцией начального и конечного давления в процессе падения давления в конденсатосборнике подогревателя.

В пятой главе представлены результаты исследования привода поворотной регулирующей диафрагмы (ПРД) теплофикационной паровой турбины. Показана неэффективность традиционного «линейного» привода ПРД. Предложена и обоснована концепция «нелинейного» привода ПРД, дающего выигрыш до 30% в запасе усилия сервомотора ПРД или аналогичное снижение его объёма, повышающее экономичность турбоагрегата в целом.

В шестой главе представлены результаты исследования кинематической схемы рычажного привода датчика положения сервомотора, реализованного на основе поворотного электрического энкодера. Разработана и реализована методика исследования рычажного привода ДПС на линейность. Найдена оптимальная конфигурация рычажного привода, сочетающая его компактность и линейность передачи прямолинейного движения поршня сервомотора в поворотное движение вала энкодера.

В седьмой главе представлены результаты апробации новых научных результатов и технических решений в серийном производстве паровых турбин УТЗ и при модернизации систем регулирования и защиты, общим результатом которой явилась разработка и внедрение серийной электрогидравлической системы регулирования и защиты (ЭГСРиЗ) в конструкции турбин ЗАО «Уральский турбинный завод», заменившей ранее применявшуюся более 50 лет гидродинамическую САРиЗ.

В восьмой главе представлены результаты реализации в промышленности основных исследований, выполненных в рамках настоящей работы. Разработанные и уточнённые расчётные методики реализованы и используются при проектировании новых и реконструкции паровых турбин, находящихся в эксплуатации. Разработанная серийная ЭГСРиЗ паровой турбины реализована на более чем 50 турбинах различных заводов-изготовителей, работающих на более чем 40 электростанциях России и стран СНГ.

Научная новизна и значимость работы

В диссертационной работе решаются ряд важных задач оптимизации работы паровой турбины с точки зрения качества поддержания частоты вращения ротора и надёж-

ности её защиты от разгона, а также специфические вопросы защиты теплофикационной турбины от обратных потоков пара из теплообменных аппаратов при сбросе нагрузки и разработки методик исследований и расчётов приводов регулирующих поворотных диафрагм турбины и электрических датчиков положения сервомоторов регулирующих органов (обратных связей).

К числу наиболее важных новых научных результатов, полученных в диссертационной работе В.Б. Новосёлова, по мнению оппонента, можно отнести следующие:

- Разработаны математические модели контура регулирования частоты вращения (РЧВ) паровой теплофикационной турбины семейства Т-100-130 для гидродинамических и электрогидравлических систем регулирования; определены области оптимальных параметров РЧВ.
- Разработаны обобщённые математические модели контура ЧВ для турбин с различными динамическими характеристиками роторов. Предложен метод обобщения моделей с базовой постоянной времени сервомотора в качестве базовой. Выполнены исследования контура ЧВ для турбин с различными законами регулирования: П, ПИ, ПД. Получены области оптимальных значений параметров РЧВ, соответствующие наилучшему соотношению быстродействия и устойчивости контура ЧВ.
- Выполнен анализ различных структурных и конструктивных схем многоканальных систем защиты турбины. Разработаны, исследованы, прошли апробацию и практически реализованы различные системы защиты паровых турбин, выполненных по проточной и отсечной схемам в золотниковом и беззолотниковом исполнении.
- Разработана методика расчёта работы «вскипающего» пара подогревателей паровой турбины при сбросе турбоагрегатом электрической нагрузки с отключением генератора от сети; выполнено уточнение методики с учётом изменения количества воды в подогревателе и параметров воды и пара на линии насыщения. Разработана методика точного определения работы «вскипающего» пара с использованием усредняющего коэффициента.
- Выполнено исследование кинематической схемы привода сервомотора поворотной регулирующей диафрагмы (ПРД). Предложена и исследована «нелинейная» кинематическая схема привода ПРД. Разработана математическая модель парового нагружения кольца ПРД и методика расчёта силовых характеристик сервомотора ПРД. Доказано,

что применение «нелинейного» привода ПРД эффективно как при новом проектировании, так и при модернизации привода.

- Разработана математическая модель рычажного привода датчика положения сервомотора (ДПС) регулирующего органа турбины на основе поворотного электрического энкодера. Разработана методика исследования рычажного привода ДПС на линейность. Найдена оптимальная конфигурация рычажного привода ДПС, сочетающая компактность и линейность передачи прямолинейного движения поршня сервомотора в поворотное движение вала энкодера (нелинейность не превышает 0,44 % от величины хода сервомотора) при угле поворота вала датчика $\sim 90^\circ$.

Обоснованность и достоверность результатов работы

Обоснованность и достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Основные научные результаты получены с использованием апробированных методов аналитического исследования устойчивости и качества системы регулирования; использованием известного надёжного прикладного программного обеспечения для выполнения комплексных расчётных исследований; использованием уточнённых расчётных моделей, приближающих математическое описание объектов исследования к их реальному физическому состоянию.

Результаты исследований прошли апробацию и подтверждены в пусконаладочных работах и приёмосдаточных испытаниях турбин на электростанциях, длительным опытом надёжной эксплуатации большого числа новых и модернизированных паровых турбин в различных условиях эксплуатации.

Полученные результаты соответствуют современным физическим представлениям, и их следует признать достоверными.

Практическая ценность полученных результатов

заключается в том, что все результаты исследований реализованы в конструкциях новых паровых теплофикационных турбин ЗАО «Уральский турбинный завод» и их систем регулирования, а также использованы в проектах модернизации паровых турбин УТЗ, находящихся в эксплуатации; результаты исследований могут быть в дальнейшем использоваться для паровых турбин всех типов других заводов-изготовителей; уточнённые методики расчётов позволяют объективно обосновать выбор средств защиты турбоагрегата

в аварийных ситуациях и, тем самым, снизить соответствующие затраты на их реализацию.

Основные результаты диссертационной работы вошли в монографию (2 издания), учебное и учебно-методические пособия для студентов вузов.

Все основные результаты работы прошли многократную апробацию на ряде Международных, Всероссийских и региональных конференций и совещаний; 17 публикаций автора относятся к изданиям, рекомендуемым ВАК для опубликования материалов докторских диссертаций. Получено 12 авторских свидетельств на изобретения, патенты и полезную модель. Содержание автореферата полностью соответствует диссертации. Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в публикациях автора и автореферате.

Замечания и вопросы

1. Возможно, размер диссертации несколько превышен, в частности за счёт главы о влиянии «вскипающего» пара на динамические свойства турбины в аварийной ситуации.
2. Анализ и сравнение различных вариантов многоканальной системы защиты турбины осуществляется только качественно, без использования статистических данных.
3. При анализе эффективности работы регулятора частоты вращения турбины автор рассмотрел только один аспект – усиление в контуре положения сервомотора? Какие возможности оптимизации работы контура могли бы быть дополнительно исследованы?
4. Почему автор делает упор на использование поворотных электрических энкодеров в конструкциях измерителей положения сервомоторов, на рынке много линейных датчиков с любыми видами выходных сигналов?
5. По какой причине ЗАО УТЗ до сих пор не применило в серийном порядке нелинейный привод поворотной регулирующей диафрагмы отопительных отборов? Ведь по данным работы автора это приносит до 30% экономии работы сервомотора отбора.

Приведенные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы в целом.

Выводы и заключение

Представленная диссертационная работа направлена на решение важной народно-хозяйственной и крупной научно-технической проблемы - разработке и совершенство-

ванию энергогидравлической системы регулирования и защиты паровых теплофикационных турбин и их элементов, что позволяет повысить безопасность, надежность и эффективность их эксплуатации, а также качество регулирования частоты и мощности энергосистемы.

Исходя из актуальности диссертационной работы, ее научной и практической значимости, соответствия требованиям ВАК к докторским диссертациям, считаю её автора Новосёлова Владимира Борисовича достойным присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки».

Официальный оппонент,
Заместитель генерального директора –
заведующий отделением турбинных
установок ОАО «Научно-производственное
объединение по исследованию и проектированию
энергетического оборудования им. И. И. Ползунова»
(ОАО «НПО ЦКТИ»),
Россия, 191167, Санкт-Петербург,
ул. Атаманская, д. 3/6
тел. +7 (812) 717 43 81,
доктор технических наук, профессор



Леонид Арсеньевич Хоменок