

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Роголева Андрея Николаевича  
на диссертационную работу Лоншакова Никиты Андреевича

### **«Повышение эффективности питательных насосов с турбинным приводом»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их  
энергетические системы и агрегаты

#### **Актуальность исследования**

Эффективность основного оборудования паросиловых энергоблоков ТЭС и АЭС в настоящее время вплотную приближается к максимальным значениям. В связи с этим большой интерес представляет совершенствование вспомогательного оборудования, повышение эффективности которого в совокупности может обеспечить существенный эффект. Устройствами, оказывающими большое влияние на КПД энергоблоков нетто, являются в частности насосы подачи питательной воды.

Общепринятый в настоящее время подход к определению эффективности питательных насосов с турбинным приводом (ПТН) заключается в использовании инженерных методик, при реализации которых принимается ряд допущений, а некоторые теплофизические параметры определяются по усредненным значениям. Несмотря на то, что такой подход достаточен для достижения большинства практических целей, повышение точности определения эффективности ПТН на основе фактических эксплуатационных данных приведет к улучшению качества диагностики работы питательных турбонасосов в различных условиях их эксплуатации, что позволит разрабатывать новые способы повышения эффективности ПТН. Один из способов повышения точности определения эффективности ПТН связан с применением современных технологий численного моделирования. При этом требуется подбор оптимальной технологии моделирования с последующей разработкой соответствующей методики.

Таким образом, выбранная тема диссертационного исследования, направленного на повышение эффективности питательных насосов с турбинным приводом за счет применения режимных и конструктивных мероприятий, является весьма актуальной.

## Общая характеристика работы

Общий объем диссертационной работы составляет 164 страницы: введение, четыре главы, заключение, список литературы из 122 наименований (включая авторские), два приложения.

*Во введении* обосновывается актуальность темы исследования, представлена краткая характеристика ее разработанности, сформулирована цель и задачи диссертационной работы, отмечены положения соответствия паспорту научной специальности, предмет исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения работы, выносимые на защиту, методология и методы исследований, приведены сведения об апробации работы и о личном вкладе автора.

*В первой главе* автором на основе данных, опубликованных в отечественных и зарубежных источниках, рассмотрены и проанализированы существующие способы повышения эффективности питательных насосов с турбинным приводом, в том числе основанные на режимных и конструктивных мероприятиях для паровых приводных турбин и насосного оборудования.

Проведен краткий анализ существующих методов моделирования, применимых для питательных турбонасосов: регрессионный анализ, детерминированные методы моделирования, физический модельный эксперимент, активный натурный эксперимент, нейросетевое моделирование.

В заключение первой главы на основе проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

*Вторая глава* посвящена разработке методики оценки эффективности питательных насосов с турбинным приводом на основе эксплуатационных данных с применением нейросетевых технологий. В начале главы обосновывается выбор нейронных сетей как инструмента моделирования, лежащего в основе предлагаемой методики. Показано, что нейронные сети позволяют с высокой степенью точности моделировать работу тепломеханического оборудования на основе эксплуатационных параметров, накапливаемых в архивах в течение длительного периода эксплуатации.

Отобраны критерии эффективности питательных турбонасосов для предлагаемой методики, позволяющие в полной мере отразить техническое состояние турбонасосов электрических станций.

Разработана и обоснована методика оценки эффективности ПТН, включающая в себя необходимый объем и перечень исходных данных для

применения предлагаемой технологии в зависимости от типа приводной турбины питательного насоса.

Отработка методики осуществлялась на основе сравнения результатов моделирования и данных, полученных на действующем объекте — группе питательных турбонасосов, подробная информация о котором также представлена в рассматриваемом разделе работы. Приведены паспортные характеристики элементов ПТН, схема включения, перечень и диапазон изменения эксплуатационных параметров, считываемых контрольно-измерительными приборами электростанции. Проведена метрологическая обработка результатов замеров параметров работы питательных турбонасосов.

*Третья глава* посвящена апробации разработанной методики.

Приведены результаты определения коэффициента полезного действия и удельный расход тепловой энергии брутто исследуемых ПТН по паспортным характеристикам оборудования и эксплуатационным данным для дальнейшего сравнения полученных величин с результатом применения разработанной методики.

Отмечена важность разработки новых подходов к решению вопроса повышения эффективности питательных насосов с турбинным приводом на примере анализа параллельной работы двух ПТН одного энергоблока электростанции.

Доказано преимущество применения нейросетевой технологии в разрабатываемой методике для достижения цели диссертационной работы в сравнении с методами регрессионного анализа.

Автором разработаны и исследованы методами статистического анализа восемь нейронных сетей для четырех питательных турбонасосов, показавшие высокую степень точности результатов моделирования работы ПТН в различных эксплуатационных режимах. Отмечена важность определения количественного влияния каждого эксплуатационного параметра на критерии эффективности питательных турбонасосов для решения задач повышения эффективности ПТН.

*В четвертой главе* приведена информация по анализу результатов применения разработанной методики и их практическая значимость для решения прикладных задач. Автором создана вычислительная программа для определения эффективности работы питательных турбонасосов на основе фактических эксплуатационных данных. Показано соответствие полученных

показателей результатам расчета эффективности оборудования по паспортным характеристикам.

Предложен способ повышения эффективности ПТН путем влияния на режимные параметры питательных турбонасосов. Прогнозирование изменения эффективности работы питательных насосов с турбинным приводом в различных эксплуатационных условиях проведено с использованием разработанного метода.

Предложен и научно обоснован способ повышения эффективности питательных насосов с турбинным приводом за счет совершенствования проточной части регулирующего клапана паровой приводной турбины. Применение данного способа проиллюстрировано на примере одного из исследуемых ПТН, для которого составлена цифровая модель регулирующего клапана приводной турбины. Из объема эксплуатационных данных о работе ПТН выбраны значения, в дальнейшем используемые в качестве исходных данных для определения гидравлических параметров регулирующего клапана, рассчитываемых методом конечных элементов. Проведена верификация прототипа регулирующего клапана в различных режимах эксплуатации, в ходе которой установлена погрешность результатов расчета модели, составившая менее 1%.

Автором предложено три варианта совершенствования проточной части регулирующего клапана приводной турбины. Для каждой предложенной формы проточной части проведен расчет гидравлических характеристик, используемых для оценки потенциального изменения эффективности работы питательного турбонасоса в зависимости от вносимых конструктивных изменений.

В заключение обозначены возможные области применения полученных автором результатов.

После ознакомления с диссертационной работой Лоншакова Н.А. можно заключить, что все поставленные задачи выполнены, полученные результаты изложены полно, ключевые аспекты, связанные с разработкой научно обоснованных технических решений, обеспечивающих повышение эффективности питательных турбонасосов, проработаны на высоком научно-техническом уровне.

В качестве достоинств работы отдельно стоит отметить использование и анализ в процессе исследования большого количества реальных данных о

работе ПТН, а также внедрение полученных автором результатов работы в опытную эксплуатацию на промышленном предприятии.

### **Новизна сформулированных научных положений и выводов диссертационной работы**

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1) Разработана новая методика оценки эффективности питательных насосов с турбинным приводом, учитывающая особенности эксплуатации и техническое состояние каждого отдельного питательного турбонасоса.

2) Предложен технически обоснованный способ разработки нормативного удельного расхода тепловой энергии брутто на приводные турбины питательных турбонасосов конденсационного типа.

3) Предложен новый способ установления количественной зависимости показателей эффективности питательных насосов с турбинным приводом от эксплуатационных параметров, позволяющий повысить точность прогнозирования показателей работы турбонасосов в различных режимах.

### **Степень обоснованности и достоверности результатов научных исследований**

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается применением апробированных методов и программных средств моделирования и анализа работы тепломеханического оборудования и систем; проведением экспериментальных исследований в условиях промышленной эксплуатации ряда питательных турбонасосов и с использованием стандартизованных методов и поверенных средств измерения параметров; совпадением в пределах погрешности результатов математического моделирования с фактическими эксплуатационными данными по работе оборудования; согласованностью результатов работы с опубликованными данными других авторов.

### **Вопросы и замечания по диссертационной работе**

1) Основу литературного обзора составляют распространенные в отечественной практике методы. Автору было бы полезно уделить больше внимания зарубежному опыту решения рассматриваемых в работе научных проблем.

2) В предлагаемой методике оценки эффективности питательных насосов с турбинным приводом при получении нейронной сети, не удовлетворяющей критериям точности результатов моделирования, отмечено, что требуется «изменение структуры нейронных сетей, изменение алгоритма обучения». При этом в тексте диссертации автором не приведено рекомендаций по реализации данного пункта разработанной методики.

3) В главе 4 автором представлена программа оценки эффективности питательных турбонасосов, в основе которой лежит разработанная методика. Из представленной информации не вполне ясно, возможно ли отслеживать изменение эффективности работы ПТН в режиме реального времени.

Отмеченные недостатки могут быть рассмотрены в ходе дискуссии и не влияют на общую положительную оценку представленной диссертационной работы.

**Заключение о соответствии диссертации критериям,  
установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты, а также областям ее исследования: п. 1 «Разработка научных основ методов расчета, выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы агрегатов, систем и тепловых электростанций в целом», п. 2 «Исследование и математическое моделирование процессов, протекающих в агрегатах, системах и общем цикле тепловых электростанций», п. 4 «Разработка конструкций теплового и вспомогательного оборудования и компьютерных технологий их проектирования и диагностирования».

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития теплоэнергетической отрасли.

Автореферат диссертации в полной мере передает суть выполненной работы, ее актуальность, научную новизну, положения, выносимые на защиту.

Результаты проведенных автором исследований достаточно полно отражены в опубликованных 23 печатных трудах, четыре из которых входят в перечень ВАК Минобрнауки России.

Диссертационная работа Лоншакова Никиты Андреевича на тему «Повышение эффективности питательных насосов с турбинным приводом» в полной мере соответствует критериям, которым должны удовлетворять диссертации на соискание ученых степеней кандидата наук, изложенным в пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор – Лоншаков Никита Андреевич – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты.

### Официальный оппонент

Доктор технических наук, доцент

Заведующий кафедрой

«Инновационные технологии

наукоемких отраслей»

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

« 16 » сентября 2020 г.

д.

д.с. Рогалев Андрей Николаевич  
достоверно  
начальник управления по  
работе с персоналом

Н.Г. Савин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14  
Телефон: +7 (903) 788-72-37  
Адрес электронной почты: RogalevAN@mpei.ru