

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Бондаренко Дениса Андреевича

на тему «Автоматическая система управления температурой

тягового асинхронного двигателя тепловоза»

по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

на соискание ученой степени кандидата технических наук

1. Актуальность избранной темы

Системы охлаждения тяговых двигателей локомотивов рассчитаны на критический режим, при котором двигатель работает с полной отдачей мощности. Однако, такие режимы во время работы тягового двигателя встречаются редко, поэтому их оборудуют автоматическими системами управления температурой, в которых электропривод с асинхронным двигателем вместе с вентилятором охлаждения выполняет функцию исполнительного устройства. Использование существующих видов управляемого электропривода с асинхронным двигателем, разработанных в России и за рубежом, в настоящее время сдерживается в силу специфики условий работы подвижного состава.

В связи с этим научная задача разработки и исследования автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловозов и исследования его теплового состояния в зависимости от режимов его работы является актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Новые научные положения, сформулированные выводы и рекомендации обоснованы сходимостью результатов численных экспериментов на имитационных моделях с экспериментальными данными, полученными на разработанном стенде физического моделирования. Результаты исследований обсуждены на научных конференциях. Соискателем опубликовано 13 работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России опубликовано 4 работы, получены 2 патента на полезные модели, в которых изложены основные научные результаты работы.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, получены в результате применения современных методов математического моделирования электромагнитных процессов и тепловых процессов в тяговом асинхронном двигателе с использованием программного пакета Matlab-Simulink, анализа графиков переходных процессов и определения значения критериев качества процесса автоматического управления.

3. Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается удовлетворительной сходимостью результатов математического моделирования с данными экспериментальных испытаний, проведенных на разработанном стенде физического моделирования. Результаты теоретического исследования времени переходного процесса во всех выделенных элементах асинхронного двигателя физического стенда, а также определения установившегося значения температуры в этих узлах имеют хорошую сходимость с экспериментальными данными, полученными на этом стенде.

Научная новизна состоит в следующем:

- разработана имитационная математическая модель автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя;
- решена задача синтеза комбинированного автоматического регулятора температуры с астатизмом второго порядка и звеньями обратной связи, а также ПИ-регулятора, настроенного на технический оптимум;
- определены значения критериев качества процессов управления с разработанными типами регуляторов для линеаризованной и нелинейной моделей автоматической системы управления;
- разработан и изготовлен физический стенд моделирования, содержащий асинхронный двигатель мощностью 14кВт и систему его охлаждения.

4. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

- разработаны математические модели всех звеньев, входящих в автоматическую систему управления температурой тягового асинхронного двигателя, а также модель теплового состояния двигателя, позволяющая

исследовать распределение температуры в 53 узлах в различных режимах работы;

- найдены параметры комбинированного регулятора, обеспечивающие получение рациональных значений показателей качества управления в нелинейной модели системы автоматического управления температурой тягового асинхронного двигателя;
- результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО БГТУ в курсах «Электрические машины» и «Теория и конструкция локомотивов».

5. Оценка содержания диссертации, её завершенность

Рецензируемая диссертационная работа состоит из введения, основной части, представленной в пяти главах, заключения и списка использованных источников литературы, включающего в себя 143 наименования.

Во введении отмечена актуальность совершенствования тягового подвижного состава и, в первую очередь, его вспомогательного электрооборудования. Сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе выполнен обзор существующих приводов вентиляторов системы охлаждения тягового электрооборудования эксплуатируемого парка тепловозов. Отмечено, что большая часть парка не оснащена управляемым приводом вентиляторов таких систем охлаждения. Установлено, что наилучшими технико-экономическими показателями обладают электроприводы с частотно-управляемыми асинхронными двигателями, которые позволяют плавно управлять частотой вращения вала вентилятора охлаждения и, соответственно, температурой тягового асинхронного двигателя.

По первой главе можно сделать следующие замечания:

- на странице 18 приведены зависимости требуемой подачи охлаждающего воздуха электрического оборудования, используемого только на электровозах;
- имеется ряд синтаксических ошибок.

Вторая глава работы посвящена разработке эквивалентной тепловой схемы замещения теплового состояния модели тягового асинхронного двигателя. В начале автор разбивает рассматриваемый асинхронный двигатель на его основные конструктивные элементы, далее находит их тепловые сопротивления, определяет

активные источники мощности потерь и определяет их значения. Это позволяет разработать математическую модель стационарных тепловых процессов, которая дает возможность регистрировать значение температур в 53 узлах исследуемого двигателя. Для исследования динамических тепловых процессов автором определяются значения теплоемкости узлов двигателя и синтезируются соответствующие дифференциальные уравнения для их математического описания. Доказано, что наибольшая температура исследуемого двигателя достигается в пазовой части обмотки статора на расстоянии $2/3$ длины со стороны подачи охлаждающего воздуха и она быстрее всего достигнет критического значения, поэтому управление охлаждением достаточно выполнить по этому узлу, нагрев которого можно представить нелинейным однородным дифференциальным уравнением первого порядка.

По второй главе можно сделать следующие замечания:

- из рисунка 2.3, приведенного на странице 45, не ясно, какие тепловые сопротивления описывают теплопередачу между статором и ротором двигателя.

Третья глава посвящена исследованию автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза. В результате анализа режимов работы, электромеханических и тепловых характеристик асинхронных двигателей автором установлено, что преобразователь частоты, асинхронный двигатель и вентилятор охлаждения при разработке системы автоматического управления температурой целесообразно представить усилительными звеньями с постоянными коэффициентами усиления в связи с большой инерционностью объекта управления.

Автором было установлено, что для синтеза систем автоматического управления, используемых в подвижном составе, наиболее предпочтительно использовать комбинированный регулятор с двумя последовательно включенными изодромными звеньями и звеньями обратной связи. При этом часть корректирующих звеньев включаются последовательно с разомкнутой системой – это два изодромных звена, обеспечивающие структурную устойчивость автоматической системы управления температурой и нулевые ошибки по положению и по скорости, а другая часть – в обратную связь, обеспечивающую необходимый уровень запасов

устойчивости и показателей качества управления. Для определения параметров корректирующих звеньев при комбинированной коррекции линеаризованной автоматической системы управления температурой в работе автором используется метод синтеза по логарифмическим амплитудным частотным характеристикам.

Наряду с этим в последнее время широкое распространение получили ПИ-регуляторы, которые включаются последовательно с объектом управления и представляют собой параллельное включение усилительного и интегрирующего звеньев. Параметры ПИ-регулятора были определены автором методом интегральной оценки. При таком подходе обеспечивается настройка системы на технический оптимум.

Для автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя предложено выполнить сравнительное моделирование двух видов автоматических регуляторов: комбинированного и ПИ-регулятора.

Установлено, что при применении как комбинированного регулятора так и использовании ПИ-регулятора перерегулирование и время управления в замкнутой системе автоматического управления увеличивается с ростом задания на температуру. С ростом начальной температуры перерегулирование уменьшается, а время управления растет. С увеличением тока нагрузки тягового асинхронного двигателя уменьшается перерегулирование и возрастает время управления. При этом относительная разница между параметрами качества управления для линеаризованной и нелинейной системы автоматического управления температурой с комбинированным регулятором составляет: для времени переходного процесса – 14,8%, для перерегулирования – 56,9%. Относительная разница между параметрами качества управления для линеаризованной и нелинейной системы автоматического управления температурой с ПИ-регулятором составляет: для времени переходного процесса – 220,7%, для перерегулирования – 293,4%. Автором было установлено, что критерии качества процессов управления автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза с комбинированным регулятором в меньшей степени зависят от режимов ее работы, чем критерии качества процессов управления системы с ПИ-регулятором. В связи с чем рекомендуется при синтезе системы автоматического управления температурой тягового асинхронного двигателя использовать комбинированный регулятор,

состоящий из двух последовательно включенных изодромных звеньев и звеньев обратной связи.

По третьей главе можно сделать следующие замечания:

- автором не рассмотрена возможность оптимизации полученных значений параметров регуляторов.

В четвертой главе приведена конструкция и особенности стенда для моделирования динамических процессов в тяговом приводе локомотивов с электропередачей. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие результаты, полученные во второй и третьей главах.

По четвертой главе можно сделать следующие замечания:

- в разделе 4.2 не приведены значения основных критериев моделирования.

В пятой главе автором выполнена технико-экономическая оценка эффективности применения разработанной автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза мощностью 340кВт. Было установлено, что экономия топлива составит 11300кг в год на систему охлаждения тягового двигателя.

По пятой главе можно сделать следующие замечания:

- автором не рассмотрен такой экономический показатель, как срок окупаемости внедряемых устройств.

Диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, результаты и рекомендации которой могут быть использованы для проведения модернизации тепловозов и другого тягового подвижного состава, а также при создании нового подвижного состава.

6. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования

Диссертация написана грамотным языком и аккуратно оформлена, однако некоторые громоздкие рисунки могли бы быть представлены в приложении для большего удобства при чтении работы. Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и не влияют на теоретические и практические результаты диссертационного исследования.

7. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

8. Соответствие оформления диссертации и автореферата установленным требованиям

Диссертация и автореферат оформлены согласно п. 30 Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук и п. 26 Положения о присуждении ученых степеней, соответственно, также согласно требованиям ГОСТ Р 7.0.11-9 2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления» М.: Стандартинформ. – 2012.

9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в Положении о присуждении учёных степеней

Диссертация Бондаренко Дениса Андреевича на соискание учёной степени кандидата технических наук является окончанной научно-квалификационной работой, посвящённой решению актуальной научной задачи разработки и исследования автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза, содержащей частотно-управляемый электропривод вентилятора и вентилятор охлаждения как исполнительное устройство для плавного управления температурой в широком диапазоне в зависимости от режимов работы тягового двигателя, позволяющей значительно увеличить долговечность тяговых двигателей грузового и пассажирского подвижного составов и снизить расходы энергии на вспомогательные нужды.

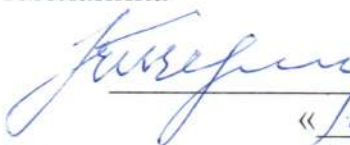
Основные результаты работы использовались: в научных проектах Российского фонда фундаментальных исследований № 14-08-31274 (2014 – 2015 гг.) и Фонда содействия инновациям № 4701ГУ1/2014 (2014 г.). Результаты теоретических и экспериментальных исследований тепловых и электромеханических процессов, разработанная и изготовленная экспериментальная установка для моделирования динамических процессов в тяговом приводе локомотивов с электропередачей используются на кафедре «Подвижной состав железных дорог» ФГБОУ ВО БГТУ при изучении дисциплин «Теория и конструкция локомотивов» и «Электрические машины». Материалы диссертации также использовались для

выполнения научно-исследовательской госбюджетной работы (номер государственной регистрации НИР: 1.02.09 (06/47)) «Разработка конструкций, математическое моделирование и испытание узлов транспортных узлов», раздел 2 «Разработка и испытания конструкций и систем тепловозов, повышающих его тяговые свойства», что подтверждено соответствующим актом о внедрении. Приведенные результаты апробации работы подтверждают теоретическую и практическую значимость работы Бондаренко Д.А.

В тексте работы присутствуют ссылки на все источники заимствования материалов или отдельных результатов.

Таким образом, диссертация соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней (п.п. 9-14), является научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи создания и исследования системы автоматического управления температурой тяговых асинхронных двигателей, что имеет важное значение для развития электротехнической отрасли знаний, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, (05.09.01 – Электромеханика
и электрические аппараты),
профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации
профессор кафедры «Электромеханика
и электрические аппараты»
ЮРГПУ(НПИ)


Виктор Гаврилович Щербаков
«16» июля 2018 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,
телефон: +7 (8635) 255-113
адрес электронной почты: svg3622@yandex.ru

Подпись Щербакова В.Г. заверяю
Ученый секретарь
ученого совета ЮРГПУ(НПИ)



Н.Н. Холодкова

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Бондаренко Дениса Андреевича

на тему «Автоматическая система управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза»

по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность избранной темы

Диссертация Бондаренко Д. А. посвящена решению научной задачи по разработке и исследованию автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза. В настоящее время сформировались тенденции к использованию регулируемых электроприводов с асинхронными двигателями вспомогательных агрегатов подвижного состава. Одним из возможных вариантов электропривода вентилятора охлаждения является плавно управляемый электропривод с асинхронным двигателем, имеющий преобразователь частоты. Такое решение позволяет улучшить технико-экономические характеристики электропривода: повысить его надежность, минимизировать удельные затраты на функционирование вспомогательных систем, в которых будет применяться этот электропривод, снизить стоимость, улучшить показатели качества работы.

В связи с этим, решенная в диссертации научно – техническая задача по разработке и исследованию автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза является актуальной, имеющей важное значение для развития железнодорожного транспорта страны.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Автором проанализировано большое количество работ (в списке литературы 143 наименования) в области моделирования электрических и тепловых процессов в тяговом асинхронном двигателе, а также рассмотрены системы охлаждения тяговых электрических машин. Установлены

недостатки существующих решений и определено направление дальнейших исследований.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, получены в результате использования современных средств математического моделирования электрических и тепловых процессов в тяговом асинхронном двигателе тепловоза, а также в системе автоматического управления его температурой с учётом основных положений теории электрических цепей, термодинамики, теории электрических машин и теории автоматического управления, являются достаточно обоснованными.

Достоверность и новизна, полученных результатов

Достоверность результатов, полученных в диссертации, подтверждается использованием апробированных методов математического моделирования с использованием программного пакета Matlab – Simulink.

Адекватность использованных методов моделирования и применения данного пакета программирования автор подтверждает сходимостью результатов моделирования с результатами исследований, полученными на разработанном экспериментальном стенде моделирования.

Научной новизной обладают следующие полученные в ней результаты:

- разработана математическая модель автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза, описывающая работу всех звеньев, входящих в её состав;
- решена задача синтеза комбинированного автоматического регулятора с астатизмом второго порядка и звеньями обратной связи управления температурой для линеаризованной модели автоматической системы управления температурой;
- разработан ПИ-регулятор с настройкой на технический оптимум;
- выполнены расчёты переходных процессов с двумя указанными типами регуляторов для линеаризованной и нелинейной моделей системы автоматического управления и показано преимущество комбинированного автоматического регулятора во всех исследованных режимах работы;

- разработан и изготовлен стенд, содержащий физическую модель тягового асинхронного двигателя, систему его охлаждения, а также автоматический регулятор охлаждения.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований, полученных автором

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

- разработаны математические модели всех звеньев, входящих в автоматическую систему управления температурой тягового асинхронного двигателя, включая модель его теплового состояния, позволяющую исследовать распределение температуры в 53 узлах двигателя в различных режимах работы;
- установлено, что наибольшая температура тягового асинхронного двигателя достигается в пазовой части обмотки статора на расстоянии $2/3$ длины со стороны подачи охлаждающего воздуха, и она быстрее всего достигнет критического значения, поэтому управление охлаждением достаточно выполнить по этому узлу, нагрев которого можно представить нелинейным однородным дифференциальным уравнением;
- разработан комбинированный регулятор с астатизмом второго порядка и звеньями обратной связи системы автоматического управления, применение которого позволяет плавно управлять температурой тягового асинхронного двигателя в широком диапазоне с достаточно стабильными значениями показателей качества управления;
- разработан стенд физического моделирования, на базе которого возможно проводить широкий спектр экспериментальных исследований температурных режимов двигателя.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и шести приложений. Объем диссертации составляет 203 страницы, из которых 27 приходятся на приложения. В приложениях приводятся листинги программ расчета

тепловых сопротивлений, теплоемкостей и мощности потерь асинхронного двигателя, фрагмент модели Simulink для исследования его теплового состояния, полученные автором значения критериев качества для нелинейной автоматической системы управления температурой с комбинированным регулятором и ПИ-регулятором соответственно при различных начальных условиях, код функции программы для решения системы нелинейных дифференциальных уравнений АСУТ с двумя типами регуляторов.

Диссертация является завершенной научной работой. Все поставленные автором задачи решены в полной мере. Результаты проведенных опытов представлены в виде графиков, таблиц и выводов по ним.

Во введении обоснована целесообразность совершенствования тягового подвижного состава, и, в первую очередь, его вспомогательного электрооборудования, показана актуальность применения электропривода вентилятора охлаждения, содержащего асинхронный двигатель и преобразователь частоты, позволяющего повысить надежность и долговечность тягового асинхронного двигателя за счет поддержания рационального теплового режима, снизить затраты энергии на функционирование вспомогательных систем. Сформулирована цель и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе автором выполнен анализ работ по созданию и совершенствованию тепловозов с тяговым асинхронным двигателем. Представлены основные зависимости, отражающие влияние температуры обмоток тягового асинхронного двигателя на параметры его работы. Проведен обзор существующих систем охлаждения тяговых двигателей локомотивов и сформулированы основные требования, предъявляемые к ним. Подробно рассмотрены основные виды приводов вентиляторов охлаждения, применяемых на тяговом подвижном составе. Сделан вывод о целесообразности использования электропривода вентилятора охлаждения, содержащего асинхронный двигатель и преобразователь частоты, так как именно этот вид привода обладает наилучшими показателями качества, а его

КПД имеет высокие значения в большом диапазоне регулирования, который позволяет плавно управлять частотой вращения вала вентилятора охлаждения и, соответственно, температурой тягового асинхронного двигателя.

Вторая глава посвящена разработке тепловой модели асинхронного двигателя, позволяющей определять значения его температуры в 53 выделенных узлах в статических и динамических режимах работы. Разработанная автором тепловая модель исследуемого асинхронного двигателя базируется на методе эквивалентных тепловых схем. Для расчета тепловых сопротивлений конструктивных узлов двигателя автором были синтезированы соответствующие расчетные формулы. Результаты математического моделирования теплового состояния асинхронного двигателя позволили сформулировать следующие выводы:

- наиболее нагретыми узлами двигателя при отсутствии охлаждения являются лобовая часть обмотки статора и обмотка ротора по всей своей длине. При этом значение температуры обмотки статора в среднем на 5 С выше температуры обмотки ротора;
- наиболее теплонагруженным узлом двигателя при использовании охлаждения является пазовая часть обмотки статора на расстоянии 2/3 его длины со стороны подачи охлаждающего воздуха. Следующим по величине нагрева узлом двигателя является обмотка (стержни) ротора на том же расстоянии; разница в температуре между пазовой частью обмотки статора и стержнями ротора составляет 2...10°С при отсутствии охлаждения и 1,5...6°С при номинальном расходе охлаждающего воздуха в диапазоне токов статора 0,5...1,1 $I_{ном}$;
- время переходного процесса для всех узлов тягового асинхронного двигателя примерно одинаково и отличается не более чем на 5...10%.

В качестве лимитирующего по нагреву узлом для определения передаточной функции асинхронного двигателя как объекта управления температурой была выбрана обмотка статора, нагрев которой можно представить нелинейным однородным дифференциальным уравнением первого порядка.

В третьей главе разработана автоматическая система управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза, содержащая: задающее устройство – пульт управления; устройство управления – микропроцессорную систему, реализующую принятый тип регулятора и преобразующую выходную координату регулятора в сигнал управления исполнительным элементом; исполнительное устройство – преобразователь частоты, асинхронный двигатель с системой скалярного управления по закону $u/f^2 = \text{const}$, приводящий во вращение вентилятор охлаждения; объект управления – тепловое состояние тягового асинхронного двигателя; измерительное устройство – датчик температуры. Для синтеза системы автоматического управления выполнена линеаризация всех его перечисленных элементов.

В качестве первого варианта автором предложено использование комбинированного автоматического регулятора, который предполагает последовательное включение двух изодромных звеньев последовательно с разомкнутой системой, обеспечивающих структурную устойчивость автоматической системы управления температурой и нулевые ошибки по положению и по скорости, и звеньев обратной связи, которые обеспечивают необходимый уровень запасов устойчивости и показателей качества управления. Данный тип регулятора обеспечивает астатизм II порядка и является наиболее предпочтительным для использования в системах автоматического управления подвижным составом. Для определения параметров звеньев, входящих в состав комбинированного регулятора, использовался метод синтеза по логарифмическим амплитудным частотным характеристикам (ЛАЧХ).

В качестве второго варианта был принят получивший в настоящее время широкое распространение ПИ-регулятор, который включается последовательно с объектом управления. Для определения параметров ПИ-регулятора был использован метод интегральной оценки. Данный тип регулятора обеспечивает настройку системы на технический оптимум.

В соответствии с полученными результатами моделирования разработанной линеаризованной автоматической системы управления температурой автором установлено, что при применении комбинированного

регулятора время управления составит $t_p = 3650 \text{ с}$, перерегулирование $\sigma = 12,3\%$, а крутизна переднего фронта переходной функции $[dh(t)/dt]_{\max} = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{с}$. При использовании ПИ-регулятора время управления составит $t_p = 1440 \text{ с}$, перерегулирование $\sigma = 8,18\%$ и крутизна переднего фронта переходной функции $[dh(t)/dt]_{\max} = 3,77 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{с}$. При использовании обоих типов регуляторов характер переходного процесса – апериодический, ошибка в установившемся режиме равна 0, колебательность равна 0.

Согласно приведенным результатам моделирования нелинейной автоматической системы управления температурой с комбинированным регулятором при разных начальных условиях ($\theta_{\text{нач}}$ и I_s^*) и различных заданий на температуру значение времени управления t_p лежит в диапазоне $738 \div 4189 \text{ с}$, перерегулирования σ в диапазоне $7,2 \div 19,3\%$, а крутизны переднего фронта переходной функции $\dot{\varphi}(t)/\dot{\varphi}$ в диапазоне $1,05 \cdot 10^{-3} \div 9,43 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{с}$. Для нелинейной системы с ПИ-регулятором значения параметров качества процесса управления лежат в диапазонах $817 \div 3178 \text{ с}$, $8 \div 24\%$ и $1,02 \cdot 10^{-2} \div 9,08 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{с}$ соответственно для времени управления, перерегулирования и крутизны переднего фронта переходной функции.

При использовании как комбинированного регулятора, так и ПИ-регулятора перерегулирование и время управления в замкнутой системе автоматического управления увеличивается с ростом задания на температуру. Увеличение начальной температуры снижает перерегулирование и вызывает рост времени управления. При увеличении тока нагрузки тягового асинхронного двигателя уменьшается перерегулирование и возрастает время управления. Однако критерии качества процессов управления нелинейной автоматической системы управления температурой с комбинированным регулятором в меньшей степени зависят от режимов её работы чем критерии качества процессов управления системы автоматического управления с ПИ-регулятором

Приведенные автором сравнительные результаты исследований линеаризованной и нелинейной систем автоматического управления температурой позволили сформулировать следующие выводы:

- относительная разница между параметрами качества управления для линеаризованной и нелинейной систем автоматического управления температурой с комбинированным регулятором составляет: для времени переходного процесса – 14,8%, для перерегулирования – 56,9%;
- относительная разница между параметрами качества управления для линеаризованной и нелинейной систем автоматического управления температурой с ПИ-регулятором составляет: для времени переходного процесса – 220,7%, для перерегулирования – 293,4%.

Приведенные результаты позволяют рекомендовать использовать комбинированный регулятор, состоящий из двух последовательно включенных изодромных звеньев и звеньев обратной связи, при синтезе автоматической системы управления температурой, так как он обеспечивает лучшие показатели качества процесса управления на линеаризованной и нелинейной моделях, а их значения в меньшей степени зависят от режимов работы самой системы.

В четвертой главе представлены структура и конструктивные особенности разработанного стенда для моделирования динамических процессов в тяговом приводе локомотивов с электропередачей. Проведены экспериментальные исследования, и выполнено математическое моделирование работы физического стенда. Расхождение результатов между теоретическими и экспериментальными исследованиями при определении времени переходного процесса во всех выделенных элементах модели тягового асинхронного двигателя не превышает 3%, при определении значения температуры в этих узлах – 6%. Такая удовлетворительная сходимость экспериментальных и расчётных данных для стенда физического моделирования подтверждает правильность математических моделей, разработанных во второй и третьей главах диссертации.

В пятой главе выполнена технико-экономическая оценка эффективности применения разработанной автоматической системы

управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза мощностью 340кВт. Установлено, что экономия потребления электроэнергии в этом случае за год работы составит 54330кВт·ч.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования

Достоинства диссертации заключаются в следующем:

- автором использованы наиболее современные средства математического моделирования, а также обработки и визуализации результатов;
- диссертация написана научным и стилистически грамотным языком, структурирована на разделы и подразделы, не имеет сложных для восприятия формулировок;
- помимо общего заключения по работе каждая глава имеет краткие выводы по своему содержанию, что упрощает её восприятие и позволяет получить ясное представление о выполненной автором исследовательской работе;
- результаты математического моделирования апробированы на разработанном стенде для моделирования динамических процессов в тяговом приводе локомотивов с электропередачей.

Диссертация заслуживает положительной оценки, однако по работе имеются следующие вопросы и замечания:

- абзац «Методы и методы исследований», приведенный на стр. 8 диссертации, следует назвать «Методы расчета и методы исследований»;
- не указано время решения системы уравнений (2.44), приведенной на стр. 65–68, используемым методом на ЭВМ?
- источники тепла из определения могут быть только активными;
- как учитывалась замедленная реакция ПИ–регулятора на возмущающие воздействия? Или в данном случае это несущественно?
- возмущающие воздействия могут быть измерены с какой-то определенной точностью. Управляющие сигналы и сигналы от измерительного оборудования зашумлены. Как с этим бороться?

- существует «Методика расчета определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта», по которой можно было оценить стоимость внедрения предлагаемого решения. Сколько стоит сама АСУ ТАД?

Указанные недостатки не снижают качества и ценности диссертационной работы и не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011

Диссертация и автореферат полностью соответствуют ГОСТ Р 7.0.11 – 2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ. – 2012.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» по пунктам 9, 10, 11 и 14

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. Полученные автором научные результаты могут быть применены для разработки автоматических систем управления температурой тягового асинхронного двигателя, снижающих затраты энергии на вспомогательные нужды.

Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями, что соответствует выполнению пункта 10 Положения.

Основные научные результаты автором достаточно полно отражены в четырех рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, что

Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями, что соответствует выполнению пункта 10 Положения.

Основные научные результаты автором достаточно полно отражены в четырех рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, что соответствует пункту 11 Положения. Также автор имеет семь публикаций в других изданиях и два патента на полезные модели.

Согласно пункту 14 Положения имеются ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, а также на научные работы, выполненные им лично и в соавторстве.

Диссертация Бондаренко Дениса Андреевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения по разработке и исследованию автоматической системы управления температурой тягового асинхронного двигателя тепловоза, а также технико-экономическое обоснование её применения, имеющие существенное значение для развития железнодорожного транспорта страны, что соответствует требованиям п. 9 Положения, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент

Хазов Максим Сергеевич, ведущий научный сотрудник,
кандидат технических наук по специальности
05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация
129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10,
тел. +7(499) 260-41-11,
email: khazov.maksim@vniizht.ru

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт
железнодорожного транспорта»

« 8 » августа 2018 г.

Подпись Хазова

Начальник отдела управления
персоналом АО «ВНИИЖТ»
Даничева Н.А.



М. С. Хазов