

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Локомотивы» Самарского государственного университета путей сообщения Балакина Андрея Юрьевича
на диссертационную работу Талахадзе Темура Зурабовича
«Повышение энергетической эффективности магистральных автономных локомотивов за счет перехода к модульным силовым установкам»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

1. Актуальность темы диссертации

Приоритетным направлением стратегических программ по развитию железнодорожного транспорта является проектирование и внедрение в эксплуатацию нового подвижного состава, отличающегося высокими показателями энергетической эффективности, а также модернизация существующего эксплуатируемого парка. Кроме того, важным направлением в деятельности компании ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») является постоянное повышение эффективности перевозочного процесса в целом, что выражается как в снижении расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), так и в экономии средств на их приобретение. Это обуславливается стратегией развития компании ОАО «РЖД», а также Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». Железнодорожный транспорт является одним из крупнейших потребителей ТЭР в Российской Федерации, расходуя около 5% электроэнергии и почти 11% дизельного топлива, причем основная доля расхода ТЭР компанией ОАО «РЖД» приходится на тягу поездов. Чтобы успешно и эффективно осуществлять перевозки по железным дорогам России, необходимо не только повышать массу поездов и пропорционально увеличивать число движущих осей и мощность локомотивов, но и решить ряд научно-технических задач, направленных на улучшение их показателей энергетической эффективности.

2. Общая характеристика диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников из 107 наименований, 2 приложений, содержит 164 страницы основного текста, 87 рисунков и 11 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, указана степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи исследования. Отмечена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Приведены методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту. Указана степень достоверности, приведена информация по апробации и публикации результатов исследований.

Первая глава посвящена анализу направлений повышения энергетической эффективности, функциональности и улучшения тягово-энергетических характеристик автономного ТПС. В качестве приоритетных направлений выделены: поосное регулирование силы тяги, энергоэффективный алгоритм управления ТЭД и применение многодвигательных силовых установок. Цель дальнейшей работы сформулирована как повышение энергетической эффективности автономных локомотивов и улучшение их тягово-энергетических показателей путем применения модульных силовых установок, основанных на принципе приведения генерируемой мощности в соответствие с мощностью, требуемую на тягу поездов.

Во второй главе выполнен анализ показателей энергетической эффективности магистральных грузовых тепловозов 2ТЭ25КМ с ЭПМ переменного тока и поосным регулированием силы тяги в различных условиях эксплуатации, полученных при помощи бортового регистратора, входящего в состав МПСУ- ТП. Получены графики скорости, силы тяги, управляющего воздействия оператора (набор позиций контроллера машиниста), мощности, а также гистограммы, показывающие распределение потребленной энергии по степени использования доступной мощности локомотива при работе на различных участках Южного полигона (Приволжская и Северо-Кавказская железные дороги). В результате автору удалось выделить и оценить вклад каждого из элементов системы преобразования энергии в конечные показатели –

коэффициент использования мощности и коэффициент полезного действия тепловоза.

В результате обработки массивов записей бортовых регистраторов получены качественные и количественные оценки, позволяющие установить зависимость показателей энергетической эффективности локомотива в различных условиях эксплуатации от массы поезда, профиля участка пути и условий движения на Южном полигоне.

1. Выделен и оценен вклад каждого из элементов системы преобразования энергии в конечные показатели энергетической эффективности – КИМ и КПД тепловоза.

2. Получены количественные характеристики потребления топлива (в энергетическом эквиваленте) в различных условиях эксплуатации в зависимости от веса поезда, профиля участка пути и условий движения. Например, для одной из поездок по данным системы АСК расход топлива за поездку составил 1567 кг. По расчетным данным, расход топлива составил 1607 кг. Относительное расхождение находится в пределах 2,5 %, что позволяет говорить о высоком уровне достоверности результатов.

3. Получены зависимости (в виде таблиц и гистограмм), показывающие распределение потребленной энергии по степени использования доступной мощности тепловоза, которые позволили дать объективную оценку использования мощности тепловоза в различных условиях эксплуатации на Южном полигоне.

4. КПД силовой установки, для условий работы на Южном полигоне, находится в пределах от 20% (равнинный профиль, порожний поезд) до 36% (движение на подъем, груженный поезд). Из проведенного анализа поездок на участке «Минеральные Воды – Прохладная» видно, что при порожнем составе массой 2468 т КПД составил 0,236; при груженом составе массой 4972 т – 0,256, а массой 5587 т – 0,263; в то время как при груженом поезде меньшей массы (4168 т), но с отключением секций – 0,275. 79. Сделан вывод, что наибольшее значение КПД имеет место для груженого состава массой 4168 т (поезд №3057) при работе

тепловоза с отключением секций (выводом избыточной мощности из тяги). Для груженого состава значение КПД тепловоза выше на 3,9 %, чем для порожнего.

5. Виден характер зависимости среднеэксплуатационного КПД тепловоза от массы поезда. Чем выше масса состава (чем более полно используется доступная мощность тепловоза), тем выше значение КПД.

6. При равнинном профиле, отключение секций позволяет более полно использовать доступную мощность работающей секции тепловоза, и как следствие увеличить значение КПД. Этот эффект ярче проявляется при порожнем составе.

Третья глава посвящена разработке решения дифференциального уравнения движения поезда, составлены уравнения баланса сил, баланса мощностей и энергетического баланса и предложена методика для нахождения полезной работы, совершаемой локомотивом с поосным регулированием силы тяги при известном профиле пути, массе поезда и заданном скоростном режиме. Она позволяет получить объективную основу для оценки эффективности использования мощности, которую потребляет силовая энергетическая установка

На основе изложенной методики составлена компьютерная модель.

1. По массивам значений скорости в зависимости от времени, записанных регистратором, определяется расстояние, пройденное локомотивом, и тем самым осуществляется привязка кривой скорости к реальному профилю пути.

2. Используя формулу (3.36), определяются силы сопротивления, действующие на поезд.

3. Дифференцируя скорость по времени и применяя уравнение (3.16), определяется сила тяги F_k (электрического торможения) локомотива.

4. По формуле (3.18) определяется мгновенная мощность локомотива на тягу P_t .

5. Интегрируя P_t по времени, находится совершенная тепловозом полезная работа.

Исходя из мощности P_t (рег), записанной МПСУ-ТП, автор получает величину полезной работы на всем участке «Разъезд 9-й км – Железный Рог»

$A_{рег} = 2239,7$ кВт·ч. Если же исходить из мощности, полученной автором расчетным путем, по предлагаемой методике, то получается $A_{расч} = 2201,3$ кВт·ч. Выполненное сопоставление результатов компьютерного моделирования с записями бортового регистратора, которое показало относительное расхождение в пределах 2 %, что позволяет говорить о хорошем уровне достоверности результатов, получаемых при помощи предлагаемой методики

В четвертой главе предлагается способ повышения энергетической эффективности тепловозной тяги путем перехода к модульным силовым энергетическим установкам. Этот способ основан на принципе приведения мгновенной мощности, потребляемой и генерируемой ДГУ, в прямое соответствие с полезной мощностью локомотива, то есть мощностью, которая необходима на тягу поезда в данный момент времени

Разработана и обоснована модульная структура тяговой системы АГМЛ, позволяющая реализовать предлагаемый способ. Определены ее параметры. Разработана ее компьютерная модель с использованием программных комплексов «Matlab Simulink» и «Универсальный механизм». Выполнено компьютерное моделирование движения грузового поезда. Изменение числа работающих дизельных двигателей производилось в зависимости от мощности, необходимой для питания ТЭД. Изменение числа активных ТЭД производилось в зависимости от мощности, необходимой на тягу поезда. Результаты сопоставлены с записями бортового регистратора. Получено, что при использовании предложенного способа повышения энергетической эффективности увеличение КПД составляет 6,2 % при сокращении расхода топлива на 19,7 %. Выполнена оценка моторесурса СЭУ согласно линейной модели. Получено, что за время одной и той же поездки затраченный моторесурс тепловоза 2ТЭ25КМ (по дизелю) составляет 3,01 моточаса, а для тепловоза с модульной СЭУ – 1,1 моточаса. Таким образом, если принять рассмотренную поездку за эталонную, то число эталонных поездок для тепловоза с модульной СЭУ на 27% больше, и как следствие срок службы тепловоза с модульной СЭУ увеличится на 27 % по сравнению с тепловозом 2ТЭ25КМ, имеющим моноблочную СЭУ

В пятой главе содержится информация по применению газотурбовозов, причем она несколько отстранена от основного направления исследования. Содержание главы носит обзорный характер со ссылками на внешние источники информации. Кроме того, рассмотрены альтернативные СЭУ для применения на АГМЛ. В качестве наиболее перспективных отмечены гибридные СЭУ и установки на основе газовых турбин. Предлагается применить подход, сводящийся к замене моноблочной силовой установки модульной структурой с применением газовых микротурбин и высокооборотных электрогенераторов.

Общие выводы по диссертации в достаточной степени отражают новые результаты, полученные в исследовании.

3. Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность и обоснованность результатов обеспечиваются:

- корректностью формулировок математических задач и моделей;
- адекватностью примененных методов и специализированных программных комплексов;
- подтверждаются сопоставлением результатов, полученных путем моделирования, с данными записей МПСУ-ТП.

4. Значимость полученных автором результатов для науки и практики

Теоретическая значимость работы заключается главным образом, в установлении зависимостей, показывающих распределение потребляемой энергии от коэффициента использования мощности магистрального грузового тепловоза в различных условиях движения на Южном полигоне и в разработанном расчетном методе, позволяющим определить полезную работу, совершаемую тепловозом на тягу поезда в реальных условиях движения и тем самым получать объективную основу для оценки энергетической эффективности тепловозной тяги. Получении и обосновании количественных оценок экономии дизельного топлива в результате применения модульной структуры СЭУ. Положительным в работе является подробный обзор работ по современному состоянию путей повышения эффективности тепловозной тяги.

Практическая значимость результатов работы заключается в получении экономического эффекта за счет снижения расхода топлива на тягу поезда. Экономия обеспечивается за счет стабилизации мгновенных значений КПД тепловоза при работе с неполной нагрузкой на уровне его номинального значения, имеющего место при полной нагрузке. Практический интерес представляет выполненный автором анализ показателей энергетической эффективности грузовых магистральных тепловозов серии 2ТЭ25КМ в различных условиях эксплуатации и разработанная методика нахождения полезной работы, совершаемой локомотивом с поосным регулированием силы тяги при известной массе поезда, профиле участка пути и заданном скоростном режиме.

5. Научная новизна работы

Научную новизну работы составляют:

- полученные характеристики энергетической эффективности АГМЛ с электрической передачей мощности переменного-постоянного тока и поосным регулированием силы тяги в различных условиях эксплуатации в зависимости от веса поезда, профиля участка пути и условий движения;
- полученные качественные и количественные результаты обработки массивов записей бортовых регистраторов, позволяющие выделить и оценить вклад каждого из элементов системы преобразования энергии в конечные показатели энергетической эффективности – КИМ и КПД тепловоза;
- полученные зависимости, показывающие распределение потребляемой энергии от КИМ в различных режимах движения;
- разработанный расчетный метод, позволяющий определять полезную работу, совершаемую АГМЛ с электрической передачей мощности и поосным регулированием силы тяги в реальных условиях движения и тем самым получать объективную основу для оценки энергетической эффективности локомотивной тяги. Этот метод положен в основу компьютерной модели;
- получены и обоснованы количественные оценки экономии дизельного топлива (до 20 %) в результате применения модульной структуры СЭУ;

- выполнен сравнительный анализ моторесурса моноблочной и модульной СЭУ, показано, что при прочих равных условиях ресурс модульной СЭУ не уменьшается (увеличивается до 25 %).

6. Полнота изложения материала диссертации в работах, опубликованных соискателем, в том числе рекомендованных ВАКом

По теме диссертации опубликовано 3 статьи в периодических изданиях, включенных в список ВАК РФ, 3 статей в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, общее количество публикаций – 25 статей.

7. Соответствие автореферата и диссертации паспорту научной специальности

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.22.07 - Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация, по следующим пунктам: п.1. – Эксплуатационные характеристики и параметры подвижного состава, повышение их эксплуатационной надежности и работоспособности; п.4. – Совершенствование подвижного состава, тяговых подстанций, тяговых сетей, включая преобразователи, аппараты, устройства защиты, схемы электроснабжения. Улучшение эксплуатационных показателей подвижного состава и устройств электроснабжения; п.8. – Тяговые и тормозные расчеты. Тяговые и тормозные качества подвижного состава. Обеспечение безопасности движения подвижного состава.

8. Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, содержит информацию об основных положениях и выводах диссертации, позволяет сделать заключение о научном уровне работы, ее содержанию и полностью отражает научные положения, результаты, основные выводы, научную новизну и практическую значимость диссертации.

9. Замечания по оформлению работы

1. Несоответствие – в первой главе поставлено 10 задач, в заключении сделано 11 выводов, на защиту выносятся 9 результатов;

2. В первой главе не проанализирована возможность отключения цилиндров дизеля;

3. Первая глава носит описательный характер, содержит необоснованные заключения;

4. Во второй главе (пункт 2.3) приводится избыточная информация по МПСУ-ТП

5. При анализе мгновенное значение расхода топлива оценивалось по ПКМ, что не отображает действительного расхода топлива;

6. Имеются отдельные неточности и опечатки (стр. 33);

7. Целесообразно по всему тексту работы использовать систему измерения СИ (например, Работа или Энергия в джоулях (Дж), а не в кВт·ч, как в МКГСС).

8. Страница 42: «Совершенная полезная работа $A_{\text{пол}}$, кВт·ч, направленная на тягу поезда, равна интегралу по времени от полезной мощности P_{T} (2.5):

$$A_{\text{пол}} = \int P_{\text{T}} dt. \quad (2.12)$$

а полная потребленная энергия $E_{\text{потр}}$, кВт·ч, равна интегралу по времени от потребленной мощности $P_{\text{потр}}$

$$E_{\text{потр}} = \int P_{\text{потр}} dt. \quad (2.13)$$

9. Не указано, куда расходуется разность между полезной мощностью и потребленной мощностью.

10. Вызывает сомнение рекомендуемый высокий уровень частоты вращения ротора микротурбины.

10. Заключение

Оценивая диссертацию Талахадзе Темура Зурабовича в целом, необходимо отметить, что указанные выше замечания не влияют на научную новизну, основные выводы и рекомендации. Диссертация выполнена на высоком научно-методическом уровне, написана технически грамотно, качественно оформлена. Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, направленной на решение важной научно-технической задачи – повышению

энергетической эффективности магистральных автономных локомотивов с электрической передачей мощности.

По теме диссертации опубликовано 3 статьи в периодических изданиях, включенных в список ВАК РФ, 3 статей в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, общее количество публикаций – 25 статей

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В целом приведенные в диссертации материалы свидетельствуют о том, что диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, содержит новые научные результаты и имеет практическую значимость.

По объему и содержанию диссертация соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Талахадзе Темур Зурабович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Официальный оппонент

Балакин Андрей Юрьевич

Кандидат технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация, доцент, заведующий кафедрой «Локомотивы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО СамГУПС)

«26» августа 2019 г. _____ Балакин Андрей Юрьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО СамГУПС)

Почтовый адрес: 443066, Россия, Самарская область, г. Самара, ул. Свободы, 2 В.

Тел. (846) 262-41-12, (846) 255-68-58

e-mail: rektorat@samgups.ru, a.balakin@samgups.ru

Подпись к.т.н., доцента Балакина А.Ю. заверяю

Проректор по научной работе,
и инновациям, к.т.н., доцент



Гаранин М.А.