

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Силюты Анатолия Геннадьевича

на тему «Повышение эффективности работы силовой установки тепловоза путем расширения области режимов работы дизеля при применении электронной системы управления» по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» на соискание ученой степени кандидата технических наук

1. Актуальность выбранной темы

В последние годы развитие тепловозной тяги на отечественных и зарубежных железных дорогах идет в направлении повышения мощности локомотивов, улучшения их тяговых и энергетических характеристик. Для решения этих задач необходимо совершенствования характеристик тепловозных дизелей, прежде всего на основных режимах работы в эксплуатации.

Решение проблемы повышения эффективности локомотива требует комплексного подхода с учетом режимов поездной работы. Современные методы повышения агрегатной мощности позволяют относительно быстро увеличить мощность двигателя, однако это не всегда может гарантировать увеличение эффективности локомотива. Наиболее важными задачами по-прежнему являются снижение эксплуатационного расхода топлива и эмиссии вредных веществ в отработавших газах. Обе задачи требуют системного подхода с обязательным анализом режимов эксплуатации. В противном случае, не смотря на улучшение отдельных режимов, суммарного эффекта может не быть.

Актуальность представленной диссертантом работы состоит в том, что автором выбран комплексный подход к решению поставленной задачи повышения эффективности работы локомотива с учетом эксплуатационных режимов. В ходе решения которой рассмотрены возможности расширения

области режимов экономичной и надежной работы дизельного двигателя и разработана математическая модель расчета его загрузки при выполнении поездной работы с учетом влияния ряда факторов.

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

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной степени обоснованы, так как при решении поставленных в работе задач принят комплексный подход, включающий в себя обобщение, анализ материалов научно-технической и справочной литературы, применение методов расчета показателей работы комбинированных двигателей, тяговых расчетов. Результаты теоретических исследований сопоставлялись с результатами испытаний силовой установки тепловоза на контрольных реостатных испытаниях.

3. Достоверность и новизна, полученных результатов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается согласованностью результатов моделирования показателей работы силовой установки и контрольных реостатных испытаний, проведенных в условиях сервисного локомотивного депо Саратов – филиал «Южный» ООО «ЛокоТех-Сервис» на реальных тепловозах, а также положительными результатами внедрения полученных автором в диссертации технических и технологических решений по улучшению удельных характеристик силовой установки.

Для оценки достоверности выводов диссертационной работы автором использованы методы математической статистики и теории вероятности, математического моделирования и планирования эксперимента.

Научная новизна полученных соискателем результатов заключается в том, что в результате проведения комплекса теоретических и экспериментальных

исследований автором показана избыточность применения систем регулирования наддува путем перепуска рабочего тела на тепловозах с высокофорсированными двигателями, оборудованных электронной системой управления частотой вращения коленчатого вала, мощностью тяговой передачи и системой наддува

4. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Практической значимостью проведенных расчетно-экспериментальных исследований является возможность упрощения комплектации дизель-генераторной установки путем исключения системы перепуска рабочего тела без ухудшения топливной экономичности при реализации алгоритмических защит силовой установки. По результатам работы внесено изменение в ТУ 3129-063-24428398-2014 «Электронная система управления впрыском топлива ЭСУВТ.03-16-00», которое исключает установку системы перепуска рабочего тела для регулирования наддува высокофорсированных дизелей.

Теоретической значимостью проведенных исследований разработанная автором уточненная математическая модель рабочих процессов совместной работы поршневой части дизеля с агрегатами наддува, которая включена в общую математическую модель определения показателей работы силовой установки при выполнении поездной операции. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

5. Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертация Силюты А.Г. является завершенной научной работой, состоит из 95 страниц основного текста, 22 рисунков, 18 таблиц и 14 страниц с пятью приложениями. Список использованных источников включает 109 наименований. Содержание диссертации соответствует заявленной научной специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и

электрификация». Разделы диссертации соответствуют разделам 1, 7 и 8 паспорта специальности.

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

Достоинством работы диссертанта является комплексная проверка работы разработанной системы управления подачей топлива, частотой вращения коленчатого вала и наддувом дизеля (ЭСУТПН), проведенная в период 2014-2016 гг. при сравнительных реостатных и эксплуатационных испытаниях тепловозов серии 2ТЭ116. Длительные испытания показали устойчивую работу силовой установки, стабильное поддержание мощностных и теплотехнических параметров в эксплуатации.

В качестве замечаний следует отметить следующее.

6.1. По ГОСТ 10150 рабочий диапазон дизеля должен находиться в пределах $-50...+45^{\circ}\text{C}$, в работе принят от -40°C .

6.2. При поиске наилучших режимов введено ограничение по $P_{\max}$ в соответствии с инструкцией по эксплуатации в пределах 135 кгс/см^2 . Коломенским заводом проведен значительный объем работ по модернизации двигателей ЧН26/26 и совершенствованию рабочего процесса из которых следует, что дизель-генератор 18-9ДГ(16ЧН26/26) может надежно работать при $P_{\max}$ до 155 кгс/см^2 , если бы автор учел это обстоятельство, то полученный эффект был бы существенно больше, тем более что электронная система топливоподачи позволяет обеспечить корректировку угла опережения впрыска. К сожалению, в диссертации вообще нет упоминания о НИР Коломенского завода в части совершенствования рабочего процесса.

6.3. Не понятно, каким образом получено снижение расхода масла на угар, поскольку он полностью зависит от состояния цилиндропоршневой группы, системы вентиляции картера и никак не связан с системами топливоподачи и управления.

6.4. На Рис.10 и 11 отношение P_k к P_i растет, а индикаторный КПД падает,

хотя при положительной работе насосных ходов с ростом указанного отношения индикаторный КПД должен возрасти.

6.5. Экспериментальные исследования в эксплуатации проведены с двигателями 1А-9ДГ исп.2 и нового 18-9ДГ, мощности которых соответственно равны 2200 и 2650 кВт. Комплектовки этих двигателей в эксплуатации в части топливной аппаратуры и систем воздухообеспечения могли существенно отличаться, поскольку Коломенский завод часто модернизировал свои дизели по ходу их серийного изготовления. В частности в эксплуатации находятся топливные кулачки, обеспечивающие скорости плунжеров ТНВД 1,62; 1,8; 2,0; и 2,23 м/с. Распыливающие отверстия распылителей так же разнятся. Это 9 отверстий по 0,4 мм; 9 по 0,39; 9 по 0,37 и даже 9 по 0,35 мм. Соответственно максимальные давления впрыска существенно отличаются. В диссертации упоминаются три типа турбокомпрессоров: 6ТК-12 Коломенского завода, 32ТК ПЕНЗОДИЗЕЛЬМАШ и ТК35В-36 СКБТ. КПД этих ТК соответственно 64, 58 и 66%, поэтому эксплуатационный расход топлива существенно зависит от уровня комплектовки двигателей. Кроме того известно, что на последних модификациях 18-9ДГ Коломенский завод применил систему топливоподачи с электронным управлением. Непонятно как была обеспечена чистота экспериментальных исследований и за счет чего получен эффект в эксплуатации.

Отмеченные замечания не снижают качество исследований, не оказывают существенного влияния на положительную оценку основных теоретических и практических результатов диссертационного исследования.

7. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

В автореферате изложено основное содержание разделов диссертации. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

8. Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ

Рукописи диссертации и автореферата соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011, а также требованиям п. 25 «Положения о присуждении ученых степеней».

9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положение о присуждении ученых степеней»

Диссертация Силюты А.Г. на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи снижения затрат топливно-энергетических ресурсов и повышения надежности силовых установок автономных локомотивов. В диссертации изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, позволяющие улучшить удельные показатели работы силовой установки магистрального локомотива имеющие важное значение для развития железнодорожного транспорта Российской Федерации, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Силюта Анатолий Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Официальный оппонент,

Рыжов Валерий Александрович, доктор технических наук, по специальности 05.04.02—«Тепловые двигатели», Заслуженный конструктор Российской Федерации, лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, доцент, заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» Коломенского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», 140402, Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408, тел.: 8(496)618-16-72; 8-800-200-16-72, E-mail: mail@polytech-kolomna.ru

«05» ИЮНЯ 2019 г.

Подпись Рыжова В.А. подтверждаю

Директор института



В.А.Рыжов

Н.А.Мурзак

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Силюты Анатолия Геннадьевича

на тему «Повышение эффективности работы силовой установки тепловоза путем расширения области режимов работы дизеля при применении электронной системы управления» по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» на соискание ученой степени кандидата технических наук

1. Актуальность выбранной темы

Улучшение технических характеристик транспортных комбинированных двигателей связано с изменяющимися условиями эксплуатации и постоянно ужесточающимися требованиями к экологическим показателям и топливной экономичности. В последние годы на железнодорожном транспорте наметилась устойчивая тенденция к увеличению объема перевозимых грузов и, следовательно, к потребной силе тяги автономных локомотивов.

Современный комбинированный двигатель представляет собой сложную техническую систему, повышение удельных и экологических показателей которого представляет собой компромиссную задачу, решение которой подразумевает наличие комплексного подхода.

Диссертантом в качестве объекта исследования выбрана дизель-генераторная установка автономного локомотива, в качестве предмета исследования – изменение показателей работы дизеля при выполнении локомотивом поездной операции.

Поставленная цель – повышение эффективности работы силовой установки автономного локомотива путем расширения области режимов работы дизеля при применении электронной системы управления подачей топлива, нагрузкой и

наддувом является актуальной и согласуется с приоритетными направлениями повышения эффективности холдинга ОАО «РЖД».

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

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной степени обоснованы, так как при решении поставленных в работе задач использованы обобщение, анализ периодической научно-технической и справочной литературы, применение методов расчета совместной работы двигателей и агрегатов наддува, методы тяговых расчетов. Результаты теоретических исследований сопоставлялись с результатами испытаний дизель-генераторной установки тепловоза при статических реостатных испытаниях.

3. Достоверность и новизна, полученных результатов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается удовлетворительным совпадением результатов моделирования показателей работы дизеля и результатов контрольных реостатных испытаний, полученных автором самостоятельно, а также внедрением результатов диссертационной работы.

Научная новизна полученных соискателем результатов заключается в разработке нового подхода, позволяющего повысить точность расчета показателей работы комбинированного двигателя, оборудованного системами перепуска рабочего тела, а также в установленной возможности упрощения комплектации дизель-генераторной установки при осуществлении электронного управления и реализации алгоритмических защит.

4. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в разработке математической модели расчета показателей поездной работы, учитывающей переходные процессы в дизель-генераторной установке и вспомогательном оборудовании, с помощью которой возможно проведение сравнительной оценки применения новых конструктивных элементов и алгоритмов управления. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Практической значимостью проведенных расчетно-экспериментальных исследований является внесение изменения в ТУ 3129-063-24428398-2014 Электронная система управления впрыском топлива ЭСУВТ.03-16-00, которое исключает установку системы перепуска наддувочного воздуха для ограничения максимального давления сгорания высокофорсированного дизеля.

5. Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертационная работа выполнена в акционерном обществе «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения с основными результатами и выводами, списка литературы из 109 наименований, пяти приложений и содержит 95 страниц основного текста, 22 рисунка и 18 таблиц.

Во введении к работе проведен общий анализ проблемы, обоснована ее актуальность для страны и современного транспортного двигателестроения. Коротко обоснована актуальность выполненной диссертационной работы, излагается научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приводится оценка достоверности полученных результатов и основные положения, выносимые на защиту.

Первый раздел диссертационной работы посвящен анализу характеристик существующих и перспективных транспортных дизельных двигателей, а также рассматриваются основные направления их совершенствования.

В первом подразделе (1.1) рассмотрены характеристики дизелей современных автономных локомотивов, выделены характерные особенности работы тепловозных силовых установок. Проведенный анализ показывает, что как отечественными, так и зарубежными фирмами представлена мощностная линейка тепловозных дизелей от 500 до 3500 кВт, удовлетворяющая современным требованиям. По удельной топливной экономичности отечественные двигатели не уступают зарубежным. Автором отмечается, что повышение удельных характеристик тепловозных дизельных двигателей увеличением массогабаритных размеров силовой установки и применением принципиально новых материалов в транспортном двигателестроении носит ограниченный характер.

Во втором подразделе (1.2) автором проведен детальный анализ достоинств и недостатков управляемых систем наддува транспортных двигателей. На железнодорожном транспорте наиболее распространенной системой являются системы перепуска рабочего тела. Сделан вывод, что существующие схемы регулирования наддува достаточно разнообразны, но во всех случаях импульсом для включения перепускных устройств служит сигнал изменения нагрузки на дизель.

В третьем подразделе (1.3) отмечено, что каждый способ регулирования решает отдельную задачу и не является универсальным для всех типов транспортных двигателей. Введение дополнительных устройств усложняет конструктивную схему и снижает надежность двигателя в целом. Автором справедливо отмечено, что окончательная оценка эффективности использования систем регулирования наддува представляет собой технико-экономическую задачу с учетом конкретных режимов и условий работы дизель-генераторной установки, для решения которой необходимо иметь возможность оценивать изменение показателей поездной работы при введении в состав тепловоза новых конструктивных элементов и алгоритмов управления.

На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследования.

Во втором разделе диссертационной работы рассмотрены особенности моделирования поездной работы магистрального локомотива при различных атмосферных условиях и способах управления подачей топлива, системой наддува.

Проведен анализ методов математического моделирования физических процессов, происходящих в комбинированном двигателе при его работе. Отмечено, что выбор той или иной базовой математической модели определяется набором исходных данных и поставленными целями расчетного исследования. Приведены допущения, принятые при разработке математической модели.

Во втором подразделе (2.2) изложены основные положения математической модели рабочих процессов совместной работы поршневой части дизеля, оборудованного устройствами перепуска рабочего тела с лопаточными машинами. При построении математической модели была разработана функциональная схема тепловозного дизельного двигателя с одноступенчатым наддувом, оборудованная различными системами перепуска рабочего тела .

Изложен методический подход к расчету переходных процессов комбинированного двигателя с одноступенчатым газотурбинным наддувом, при этом автором предложено оригинальное решение системы уравнений, которое и составляет первый пункт научной новизны работы в целом.

Приведены блок-схемы и описание алгоритмов расчета.

В третьем подразделе (2.3) автором произведена сравнительная оценка результатов моделирования показателей работы тепловозного дизельного двигателя типа 18-9ДГ с турбокомпрессором ТК35В-36 и экспериментальных данных, полученных лично автором при проведении контрольных реостатных испытаний тепловозов 2ТЭ116 №№1733, 1737 в сервисном локомотивном депо Саратов - филиал «Южный» ООО «ЛокоТех-Сервис». Установлено удовлетворительное совпадение экспериментальных данных с результатами расчета. Также автором проведена отдельная сравнительная оценка адекватности

моделирования работы устройств перепуска рабочего тела – максимальное отклонение расчетных данных составило не более 2 %.

В четвертом подразделе (2.4) изложены основные положения математической модели расчета показателей поездной работы магистрального локомотива. Автором предложено поездную операцию магистрального локомотива рассматривать как множество единичных режимов ведения поезда, суммарные характеристики которых складываются алгебраически. При этом каждому единичному режиму соответствует набор начальных условий, полученный с помощью датчика случайной величины или с помощью порождающей процедуры. Следует отметить использование оригинального критерия оценки соответствия результатов моделирования и экспериментальных данных, позволяющего достаточно просто и эффективно получать сравнительные оценки.

В третьем разделе проведена оценка эффективности электронной системы управления тепловозным двигателем.

Изложено численное исследование работы дизелей типа 16ЧН26/26 с различными способами управления силовой установкой на эксплуатационных режимах. Поставлена цель численного исследования, определены варианты для сравнения и выбран базовый. Для определения границ регулирования наддува тепловозного дизеля при работе по предложенному полю тепловозных характеристик был проведен анализ показателей работы дизеля без системы перепуска рабочего тела. Установлено, что при температуре наружного воздуха ниже минус 30°C необходимо внедрение мероприятий, обеспечивающих удаление линии рабочих режимов от ограничительной линии устойчивой работы.

Далее автором проведен анализ изменения показателей работы дизельного двигателя при работе по предложенному полю тепловозных характеристик с различными способами регулирования наддува. Отмечено количественное влияние перепуска рабочего тела на показатели работы дизеля.

Во втором подразделе (3.2) изложены результаты моделирования поездной работы тепловозов с различными вариантами управления силовой установкой. Автором справедливо отмечено, что для средней полосы России с умеренным типом климата прогнозируемое время работы системы регулирования наддува относительно невелико по сравнению с общим временем работы локомотива. Сравнительная оценка проведена для холодного типа климата. Анализ результатов моделирования позволил заключить, что суммарный расход топлива при применении систем перепуска рабочего тела независимо от варианта соизмерим с вариантом, не требующим установки устройств перепуска рабочего тела, при выполнении одного и того же объема грузовой работы.

Третий подраздел (3.3) посвящен анализу результатов эксплуатационных испытаний тепловозов, оборудованных электронными системами управления силовой установкой, которые подтвердили:

- обеспечение длительной устойчивой работы силовой установки по штатной и предложенному полю тепловозных характеристик;
- снижение среднеэксплуатационного расхода топлива в зависимости от режимов загрузки двигателя тепловоза;
- эффективность системы управления дизель-генераторной установкой, исключающей достижение предельных значений параметров, регламентируемых ТУ на поставку.

В четвертом разделе изложена методика расчета экономического эффекта от применения электронной системы управления дизель-генераторной установкой тепловоза и результаты расчета, получены количественные оценки сравнения эффективности применения той или иной системы регулирования наддува. Приведены основные нормативные документы, используемые при разработке методики проведения расчета экономического эффекта и рассмотрены эффектообразующие факторы. Дан анализ исходных данных базового и предлагаемого варианта.

Изложены основные положения методики расчета эксплуатационных расходов. При построении методики помимо экономии расхода топливно-энергетических ресурсов учитывается экономия, полученная при изменении объема технического обслуживания и текущих ремонтов. Экономия годовых расходов за счет снижения расхода запасных частей в данном расчете не учитывалась.

В пятом подразделе (4.5) приведены результаты расчета экономического эффекта от применения электронной системы управления дизель-генераторной установки тепловоза. Применение электронной системы управления дизельным двигателем обеспечит положительный экономический эффект, величина которого будет зависеть от режимов загрузки силовой установки, стоимости технического обслуживания и ремонта системы регулирования наддува на протяжении жизненного цикла, стоимости проведения неплановых ремонтов дизеля и его вспомогательного оборудования.

Диссертация Силюты А.Г. является завершенной научной работой. Содержание диссертации соответствует заявленной научной специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. Разделы диссертации соответствуют разделам 1, 7 и 8 паспорта специальности.

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

1. Формулировка первого пункта научной новизны очень громоздка.
2. В диссертации (зависимость 1) и автореферате (зависимость 1) приводится система уравнений, описывающая изменение давлений и температур при истечении рабочего тела, в которой присутствует многоточие. Его присутствие не ясно, т.к. неопределенные параметры в системе уравнения не позволят решить систему.
3. На рисунке 5 в диссертации отсутствует график изменения коэффициента запаса устойчивой работы турбокомпрессора от температуры окружающего воздуха.

4. В таблицах 7 и 8 диссертации используется понятие «удельный электрический расход топлива», но нет расшифровки физической сущности параметра.

5. В описываемой модели дизеля с наддувом достаточно упрощенно считаются параметры процесса в цилиндре. Приводятся лишь эмпирические формулы расчета индикаторного к.п.д. в зависимости от частоты вращения и коэффициента избытка воздуха. Не рассчитываются максимальное давление сгорания и коэффициент наполнения, который связывает между собой давление наддува и расход воздуха через двигатель и компрессор.

6. Не указано, как рассчитывается температура отработавших газов, говорится лишь, что она определяется на основе полного перемешивания продувочного воздуха с выпускными газами с учетом потерь теплоты от неполного сгорания топлива.

Отмеченные замечания не снижают качество исследований и не влияют на положительную оценку основных теоретических и практических результатов диссертационного исследования.

7. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

В автореферате изложено основное содержание разделов диссертации. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

8. Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ

Рукописи диссертации и автореферата соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011, а также требованиям п. 25 «Положения о присуждении ученых степеней».

**9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
«Положение о присуждении ученых степеней»**

Диссертация Силюты А.Г. на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи повышение эффективности силовых установок автономных локомотивов. В диссертации изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки по расширению области рабочих режимов силовой установки автономных локомотивов, имеющие важное значение для развития железнодорожного транспорта Российской Федерации, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Силюта Анатолий Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Официальный оппонент,
Савастенко Андрей Александрович, кандидат технических наук,
по специальности 05.04.02—«Тепловые двигатели»,
доцент кафедры «Теплотехника и автотракторные двигатели»
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Московский автомобильно-
дорожный государственный технический университет (МАДИ)»,
125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64,
тел.: 8 (499) 155-08-91, E-mail: info@madi.ru

 А.А. Савастенко

«05» июня 2019 г.

Подпись А.А. Савастенко удостоверяю:

Учёный секретарь учёного совета МАДИ, к.т.н., доц.

Зайцев С.В.

