

629.4.082.25

Ф 871

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта»

УДК 629.4.082.25

ФРЕНКЕЛЬ
Борис Семёнович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЁТА РАСХОДА ДИЗЕЛЬНОГО
ТОПЛИВА ТЕПЛОВОЗАМИ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Гомель, 2013

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» (УО «БелГУТ»)

Научный руководитель: **Гизатуллин Растам Каримович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Тепловозы и тепловые двигатели», УО «БелГУТ»

Официальные оппоненты: **Грищенко Александр Васильевич**, доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяйство», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения»

Могила Владимир Степанович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электросостав», УО «БелГУТ»

отивного хозяйства Государственного
ния «Белорусская железная доро-

часов на заседании совета по защите
адресу: 246653, Гомель, ул. Кирова,

) 95-37-91, факс +375 (232) 95-36-89.

-технической библиотеке УО «Бел-



А. В. Путято

629.4.082.25
90 871

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение необходимого объема перевозок пассажиров и грузов, при одновременном снижении расхода топливноэнергетических ресурсов – проблема, актуальность которой не вызывает сомнения. Решение этой проблемы возможно путём обновления и модернизации подвижного состава, совершенствования организации движения и вождения поездов, внедрения других инноваций, обеспечивающих топливосбережение. Оценка эффективности названных инноваций требует достоверной информации о наличии и расходе топливноэнергетических ресурсов. В то же время системы контроля и учёта расхода дизельного топлива (СКУР ДТ), применяемые в настоящее время в локомотивном хозяйстве, характеризуются низкой достоверностью измерительной, а следовательно, и учётной информации.

Очевидно, что повышение эффективности СКУР ДТ тепловозами весьма актуально и поэтому выбрано в качестве темы диссертационного исследования.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Тема диссертационного исследования включена в планы научно-исследовательской работы УО «Белорусский государственный университет транспорта», соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных исследований Республики Беларусь – энергосбережение и эффективное использование энергии. Работа выполнялась в соответствии с НИР № Т/Ю-62/2116 «Исследование нормообразующих факторов и разработка методики определения норм расхода дизельного топлива на тягу поездов», 2000 г., № ГР 1992864; № НТП/Ю-54/2440 «Разработка и анализ топливного баланса локомотивного депо с целью выявления резервов экономии топлива», 2002 г., № ГР 20012954; № Т/Ю-159/2344 «Исследование и выбор способов топливосбережения для магистральных тепловозов», 2002 г., № ГР 20003799; № Т/Ю-1086/3042 «Разработка организационно-технологических и технических мероприятий по снижению расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов», 2005 г., № ГР 20032060; № Т/Ю-1268/4550 «Исследование влияния условий движения поезда на расход топливно-энергетических ресурсов», 2007 г., № ГР 20066178; № Т/Ю-1278/4553 «Разработка автоматизированной системы оценки эффективности применения ресурсосберегающих мероприятий на магистральных локомотивах», 2007 г., № ГР 20066177.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является повышение эффективности СКУР ДТ тепловозами путём совершенствования способов контроля и учёта расхода топлива, а также повышения достоверности оценки топливосберегающих технических решений (ТСТР) для тепловозов.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- 1) разработана методика компьютерного анализа СКУР ДТ тепловозами, основанная на применении имитационной модели системы;
- 2) исследована эффективность различных вариантов построения СКУР ДТ;
- 3) разработана методика исследования достоверности оценки эффективности ТСТР для тепловозов, выполняемой различными способами;
- 4) предложены способы оценки эффективности ТСТР для тепловозов, обеспечивающие повышение её достоверности;
- 5) по результатам исследований предложен порядок разработки и поэтапного внедрения СКУР ДТ.

Объектом исследования являются тепловозы и топливное хозяйство железных дорог, *предмет исследования* – система контроля и учёта расхода дизельного топлива тепловозами.

Выбор объекта и предмета исследования обусловлен необходимостью совершенствования СКУР ДТ и отсутствием аппарата, позволяющего оценивать эффективность работы различных СКУР ДТ, а также выбирать наиболее эффективный порядок разработки и внедрения таких систем.

Положения, выносимые на защиту.

1 Методика компьютерного анализа систем контроля и учета расхода дизельного топлива тепловозами, отличающаяся применением имитационной модели системы, реализующей измерения массы дизельного топлива на объектах локомотивного депо и на тепловозах, как с нулевой погрешностью, так и выполняемые реальными устройствами с погрешностью, изменяющейся случайным образом.

2 Методика составления топливного баланса локомотивного депо, позволяющая без применения бортовых регистраторов или систем удалённого контроля принимать в расчет массу топлива, содержащегося на рассматриваемый момент времени в топливных баках тепловозов, вычисляя её по данным из маршрутных листов машиниста.

3 Способ оценки эффективности ТСТР для тепловозов по результатам стендовых или реостатных испытаний, заключающийся в многократном измерении удельного расхода топлива для каждой позиции контроллера машиниста при работе без исследуемого ТСТР и с ним, построении соответствующих графиков зависимости удельного расхода топлива от позиции контроллера, анализе их взаимного расположения и расчёте эффекта от применения ТСТР с учётом распределения времени работы тепловоза по позициям контроллера машиниста в условиях эксплуатации.

4 Методика исследования достоверности оценки эффективности ТСТР для тепловозов по отчётным данным об их поездках, заключающаяся в моделировании применения ТСТР для группы тепловозов путём изменения расхода топлива за поездку, зафиксированного в маршрутных листах машиниста, на заданную относитель-

ную величину и сравнении её с величиной, определяемой в соответствии с исследуемым способом оценки эффективности ТСТР.

5 Способ оценки эффективности ТСТР для тепловозов путем сравнения по данным из маршрутных листов машиниста группы опытных и группы контрольных тепловозов, позволяющий сократить минимально необходимое количество опытных тепловозов с 15 до 5 и время проведения эксплуатационных испытаний с 12 до 4 месяцев, обеспечив погрешность оценки не превышающую 1 %.

Личный вклад соискателя. В диссертации представлены основные результаты научных исследований, выполненных автором лично или при его непосредственном участии. Автором разработана методика компьютерного анализа СКУР ДТ тепловозами и имитационная модель системы, необходимая для реализации методики. Предложены усовершенствованный способ составления топливных балансов и способы оценки эффективности ТСТР. Самостоятельно автором проведены исследования достоверности измерительной информации в различных СКУР ДТ и возможности выявления несанкционированного расхода топлива. Проведена оценка эффективности топливосберегающих присадок к дизельному топливу по результатам эксплуатационных испытаний. Положения, выносимые на защиту, изложенные в диссертационной работе выводы и рекомендации получены автором самостоятельно.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных и республиканских научно-практических конференциях: «Проблемы безопасности на транспорте» (г. Гомель, 2000-2002, 2005, 2010 гг.), «Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса» (г. Гомель, 2001 г.), «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (г. Гомель, 2003 г.), «Наука – образованию, производству, экономике» (г. Минск, 2003 г.), «Новое в конструкции и технологии обслуживания локомотивов» (г. Санкт-Петербург, 2003 г.), «Подвижной состав железнодорожного транспорта» (г. Гомель, 2004 г.), «Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте» (г. Гомель, 2006 г.), «Современные информационные компьютерные технологии» (г. Гродно, 2008 г.), «Энергоэффективность и экологическая безопасность на транспорте, в промышленности и в строительстве» (г. Гомель, 2011 г.), «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов» (г. Минск, 2012 г.).

Опубликованность результатов диссертации. По результатам выполненных исследований опубликовано 31 печатная работа, из них 7 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК РБ (4 без соавторов), объёмом 2,35 авторских листа, 2 статьи в сборниках научных трудов (без соавторов, 1 за рубежом), 14 статей в сборниках материалов международных конференций (9 без соавторов), 7 тезисов

докладов на научных конференциях (3 без соавторов, 1 за рубежом), разработана ведомственная инструкция.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 188 страниц. Диссертация содержит 61 рисунок, 3 таблицы, 4 приложения на 77 страницах. Библиографический список состоит из 166 наименований, включая 31 собственную публикацию, и занимает 16 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе диссертационной работы приведен обзор работ по проблемам организации топливосбережения при эксплуатации тепловозов, выполнен анализ недостатков существующих СКУР ДТ и способов оценки ТСТР для тепловозов, сформулированы цель и задачи исследований.

Приведена классификация разработок, направленных на топливосбережение в тяге поездов. Указано, что существенный вклад в решение проблемы снижения расхода дизельного топлива при эксплуатации тепловозов внесли: В. Н. Балабин, А. И. Володин, Р. К. Гизатуллин, В. В. Грачёв, А. В. Грищенко, В. С. Коссов, Е. Е. Коссов, А. М. Костромин, В. Д. Кузьмич, Л. А. Мугинштейн, В. Я. Негрей, А. Э. Симсон, Е. И. Сквородников, В. В. Стрекопытов, С. И. Сухопаров, Э. Д. Тартаковский, Г. А. Фофанов, С. Я. Френкель, А. З. Хомич и др. Отмечено, что решение задачи топливосбережения при эксплуатации тепловозов требует, в частности, совершенствования СКУР ДТ.

Установлено, что наиболее существенными недостатками применяемых СКУР ДТ являются влияние человеческого фактора и значительные погрешности измерения массы дизельного топлива. Показана необходимость разработки имитационной модели СКУР ДТ, позволяющей выполнять компьютерный анализ систем.

Рассмотрены подходы к оценке эффективности ТСТР. Установлено, что в большинстве случаев оценку производят по удельному расходу топлива, приходящемуся на единицу мощности или измеритель перевозочной работы, либо по расходу топлива за определённый период времени или поездку. Отмечено, что неизвестны методы исследования достоверности оценки эффективности ТСТР для тепловозов, выполняемой различными способами.

Вторая глава посвящена разработке имитационной модели СКУР ДТ, позволяющей проводить компьютерный анализ систем контроля и учёта расхода топлива. Структурно в модели выделены уровни описания хранения дизельного топлива на складе, выдачи его при экипировке и расхода тепловозами, уровень измерений массы дизельного топлива и модуль составления топливных балансов (рисунок 1).

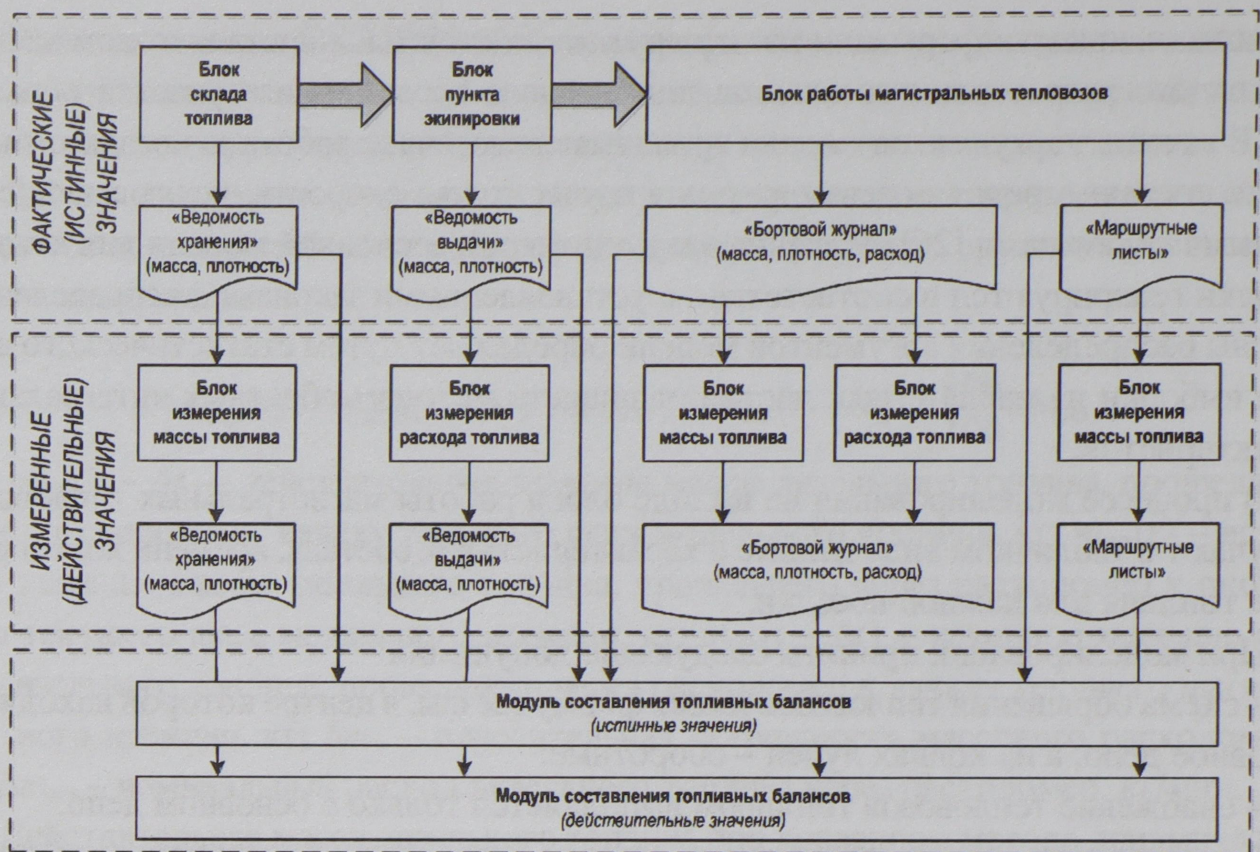


Рисунок 1 – Структура имитационной модели СКУР ДТ

Имитационная модель СКУР ДТ реализована, как дискретно-детерминированная с постоянным шагом по времени. Выходная информация первого уровня модели на каждом шаге моделирования записывается в таблицы, содержащие сведения об истинных, то есть зафиксированных в идеальных условиях идеальными измерительными приборами, значениях массы и плотности дизельного топлива, содержащегося в резервуарах топливного склада, баках тепловозов, прошедшего через раздаточные колонки и израсходованного на тягу поездов.

Разработаны блоки измерений, реализующие все методы измерений, регламентированные СТБ 8030-2006 «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Масса нефти и нефтепродуктов. Общие требования к методикам выполнения измерений» при вероятностном характере погрешности измерения. Выходные таблицы второго уровня модели содержат действительные (измеренные) значения массы и плотности дизельного топлива. Модуль составления топливных балансов позволяет оперировать как действительными значениями (используемыми на практике), так и истинными (в реальной эксплуатации неизвестными).

Имитационная модель реализована в пакете прикладных программ *Mathworks MATLAB* с использованием инструментов *Simulink*, *Statistic Toolbox* и *Curve Fitting Toolbox*.

Построение модели расхода топлива магистральными тепловозами выполняют

с использованием информации из маршрутных листов машиниста методом многофакторного регрессионного анализа для каждого исследуемого участка обращения. В качестве аргументов модели приняты перевозочная работа за поездку, число осей в составе, средняя осевая нагрузка и участковая скорость, являющиеся случайными величинами [25]. Значения аргументов регрессионной модели для каждой поездки генерируются в соответствии с установленными законами распределения. Законы распределения аргументов модели определяют путём статистического анализа выборки из маршрутных листов машиниста методом обратных интегральных характеристик.

В процессе моделирования на выходе блока работы магистральных тепловозов получают в табличном виде данные о характеристиках состава, времени хода и расходе топлива для каждой поездки.

При моделировании приняты следующие допущения:

– схема обращения тепловозов имеет форму звезды, в центре которой находится основное депо, а на концах лучей – оборотные;

– снабжение тепловозов топливом выполняется только в основном депо.

Качественная оценка адекватности модели проведена по внешнему виду полей рассеяния расхода топлива от влияющих на него факторов для исходного и смоделированного массивов, количественная – по соответствующим им линиям тренда.

На каждом шаге моделирования тепловоз может находиться в одном из трёх состояний: простой (масса топлива в баке не изменяется), экипировка (масса топлива в баке увеличивается) и поездка (масса топлива в баке уменьшается).

Масса дизельного топлива в складском резервуаре и топливном баке тепловоза на каждом шаге модельного времени изменяется на величину $\Delta m_k(\Delta t)$, определяемую в соответствии с выражением:

$$\Delta m_k(\Delta t) = \frac{\Delta V_k \cdot \rho_k(t)}{60} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где ΔV_k – производительность раздаточной колонки, м³/ч; $\rho_k(t)$ – истинная плотность дизельного топлива, перекачиваемого раздаточной колонкой, на текущем шаге модельного времени, кг/м³; Δt – шаг модельного времени, мин.

Истинную массу топлива в баке каждого тепловоза во время поездки определяют по формуле:

$$m_6(t) = m_6(t - \Delta t) - \frac{B_\phi \cdot v_y}{60 S_{yч}} \Delta t, \quad (2)$$

где B_ϕ – фактический расход дизельного топлива тепловозом за поездку, кг; v_y – участковая скорость, км/ч; $S_{yч}$ – длина участка, км.

В соответствии с СТБ 8030-2006 измерения массы нефтепродуктов выполняют прямым и косвенным методами статических или динамических измерений, а также косвенным методом измерений, основанным на гидростатическом принципе.

Действительную массу дизельного топлива, определяемую прямым методом динамических измерений посредством расходомера, например при экипировке, определяют по формуле:

$$m_{\text{дпд}}(t) = m_{\text{дпд}}(t - \Delta t) + m_{\text{иэ}}(t) - m_{\text{иэ}}(t - \Delta t) + \frac{\delta m_{\text{э}}}{100} \Delta m_{\text{иэ}}, \quad (3)$$

где $m_{\text{дпд}}(t - \Delta t)$ – действительное значение массы дизельного топлива, прошедшего через расходомер к началу текущего шага модельного времени, кг; $m_{\text{иэ}}(t)$ – истинное значение массы дизельного топлива, прошедшего через расходомер к окончанию текущего шага модельного времени, кг; $m_{\text{иэ}}(t - \Delta t)$ – истинное значение массы дизельного топлива, прошедшего через расходомер к началу текущего шага модельного времени, кг; $\delta m_{\text{э}}$ – относительная погрешность массового расходомера, %; $\Delta m_{\text{иэ}}$ – номинальный расход дизельного топлива через расходомер, кг/мин.

Действительная масса дизельного топлива при косвенном методе динамических измерений объёмными счётчиками жидкости

$$m_{\text{дкд}}(t) = m_{\text{дэ}}(t - \Delta t) + \left(\frac{m_{\text{иэ}}(t)}{\rho_{\text{иэ}}(t)} - \frac{m_{\text{иэ}}(t - \Delta t)}{\rho_{\text{иэ}}(t - \Delta t)} + \frac{\delta V_{\text{р}}}{100} \cdot \frac{\Delta V_{\text{нр}}}{60} \cdot \Delta t \right) \cdot \rho_{\text{дэ}}(t), \quad (4)$$

где $m_{\text{иэ}}(t - \Delta t)$, $m_{\text{иэ}}(t)$ – истинные значения массы дизельного топлива, прошедшего через счётчик жидкости к началу и окончанию текущего шага модельного времени соответственно, кг; $\rho_{\text{иэ}}(t - \Delta t)$, $\rho_{\text{иэ}}(t)$ – истинные значения плотности дизельного топлива, прошедшего через счётчик жидкости к началу и окончанию текущего шага модельного времени соответственно, кг/м³; $\delta V_{\text{р}}$ – относительная погрешность измерения расхода счётчиком жидкости, %; $\Delta V_{\text{нр}}$ – номинальный расход дизельного топлива через счётчик жидкости, м³/ч; $\rho_{\text{дэ}}(t)$ – действительное значение плотности дизельного топлива на текущем шаге модельного времени, кг/м³.

Действительная масса дизельного топлива при косвенном методе статических измерений

$$m_{\text{дкс}} = f_{\text{ГТ}} \left(f_{\text{ГТ}}^{-1} \left(\frac{m_{\text{и}}}{\rho_{\text{и}}} \right) + \Delta h \right) \cdot \rho_{\text{д}}, \quad (5)$$

где $m_{\text{и}}$ – истинное значение массы дизельного топлива, кг; $\rho_{\text{и}}$ – истинное значение плотности дизельного топлива, кг/м³; Δh – абсолютная погрешность измерения уровня дизельного топлива, м; $\rho_{\text{д}}$ – действительное значение плотности дизельного топлива, кг/м³.

Действительную массу дизельного топлива при измерении косвенным методом, основанным на гидростатическом принципе, определяют в соответствии с выражением:

$$m_{\text{дтс}} = \frac{1}{g} \left(g \cdot \rho_{\text{и}} \cdot f_{\text{ГТ}}^{-1} \left(\frac{m_{\text{и}}}{\rho_{\text{и}}} \right) + \frac{\delta P}{100} (P_{\text{max}} - P_{\text{min}}) \right) \frac{f_{\text{ГТ}} \left(f_{\text{ГТ}}^{-1} \left(\frac{m_{\text{и}}}{\rho_{\text{и}}} \right) + \Delta h \right)}{f_{\text{ГТ}}^{-1} \left(\frac{m_{\text{и}}}{\rho_{\text{и}}} \right) + \Delta h}, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; δP – относительная погрешность измерения гидростатического давления, %; $P_{\text{max}}, P_{\text{min}}$ – соответственно нижний и верхний пределы измерителя гидростатического давления, Па; $f_{\text{ГТ}}$ – функция связи между объёмом и уровнем дизельного топлива в ёмкости (складской резервуар или топливный бак тепловоза), задаваемая градуировочной таблицей.

Значение погрешности для каждого измерения задаётся с учётом паспортных характеристик средства измерений генератором случайных чисел с нормальным законом распределения.

В третьей главе приведены результаты исследований СКУР ДТ с различной степенью автоматизации. По результатам оценки пределов погрешности измерения массы дизельного топлива, способом, регламентированным СТБ 8030-2006, установлено, что применяемые в локомотивном хозяйстве средства и методы измерений не обеспечивают выполнение требований действующей нормативной документации. Так, погрешность измерения массы дизельного топлива превышает предельные значения для топливных баков тепловозов, более чем в 50 раз, для пунктов экипировки – более чем в 3 раза, а для резервуаров баз топлива – на 12 %. Превышение для топливных баков тепловозов объясняется применением на практике допущения о неизменности плотности дизельного топлива в течение полугодия.

В соответствии с предложенной во второй главе методикой выполнено исследование достоверности измерительной информации СКУР ДТ. Качественная оценка достоверности измерительной информации выполнена по внешнему виду гистограммы распределения, количественная – по величине математического ожидания, характеризующего систематическую составляющую, и среднеквадратичного отклонения, характеризующего случайную составляющую погрешности измерения массы дизельного топлива.

Установлено, что система с ручными измерениями имеет существенные систематические и случайные погрешности измерения. Так, для складских резервуаров типа РВС-3000 математическое ожидание погрешности измерения массы топлива

может достигать ~ 59 кг, а стандартное отклонение – ~ 766 кг. Применение стационарных уровнемеров с погрешностью измерения ± 2 мм и погружных плотномеров с погрешностью измерения ± 1 кг/м³ при организации системы с многократными измерениями и линейной интерполяцией градуировочных таблиц позволяет устранить систематическую и существенно снизить случайную ($\sigma \approx 63$ кг) составляющую. Другие рассмотренные варианты автоматизации, как и применение гидростатических уровнемеров, не оказывают существенного влияния на достоверность измерений.

Доказано, что при использовании на пунктах экипировки раздаточных колонок с массовыми расходомерами среднеквадратичное отклонение можно снизить до 0,1 кг, в то время как для системы с объёмным счётчиком и поточным плотномером этот показатель составляет не менее 3 кг.

В настоящее время на большинстве тепловозов объём топлива в баке определяют при помощи мерной рейки или мерного стекла, а значения плотности задают приказом раз в полгода. В этом случае имеют место значительная систематическая ($\mu > 50$ кг) и случайная ($\sigma \approx 70$ кг) составляющие погрешности измерения массы топлива. Оборудование топливного бака стационарным плотномером или датчиком температуры позволяет устранить систематическую и в полтора раза снизить случайную составляющую погрешности измерения массы топлива. Ещё больше снизить погрешность измерений позволяет метод, основанный на гидростатическом принципе. При этом топливный бак необходимо оборудовать устройством измерения уровня заполнения, погрешность которого должна составлять не более ± 1 мм, и устройством обработки информации, хранящим градуировочную таблицу.

Для исследования эффективности работы различных СКУР ДТ применён метод топливных балансов. Чем меньшие расхождения балансов имеет система, тем более эффективной она является. Такой метод позволяет выявить «узкие» места СКУР ДТ и выбрать рациональную стратегию её автоматизации.

Предложен способ включения в топливный баланс информации о количестве топлива в баках тепловозов и количестве топлива, израсходованного на тягу поездов, по данным из маршрутных листов машиниста. Допустив, что топливо в поездке расходуется равномерно, его массу в топливном баке вычисляют по формуле

$$m_{\text{б}}(t) = m_{\text{бн}} - \frac{m_{\text{бн}} - m_{\text{бк}}}{t_{\text{н}} - t_{\text{к}}} t, \quad (7)$$

где $m_{\text{бн}}$ – масса дизельного топлива в баке тепловоза перед отправлением, кг; $m_{\text{бк}}$ – масса дизельного топлива в баке тепловоза по прибытии, кг; $t_{\text{н}}$ – время отправления, мин; $t_{\text{к}}$ – время прибытия, мин.

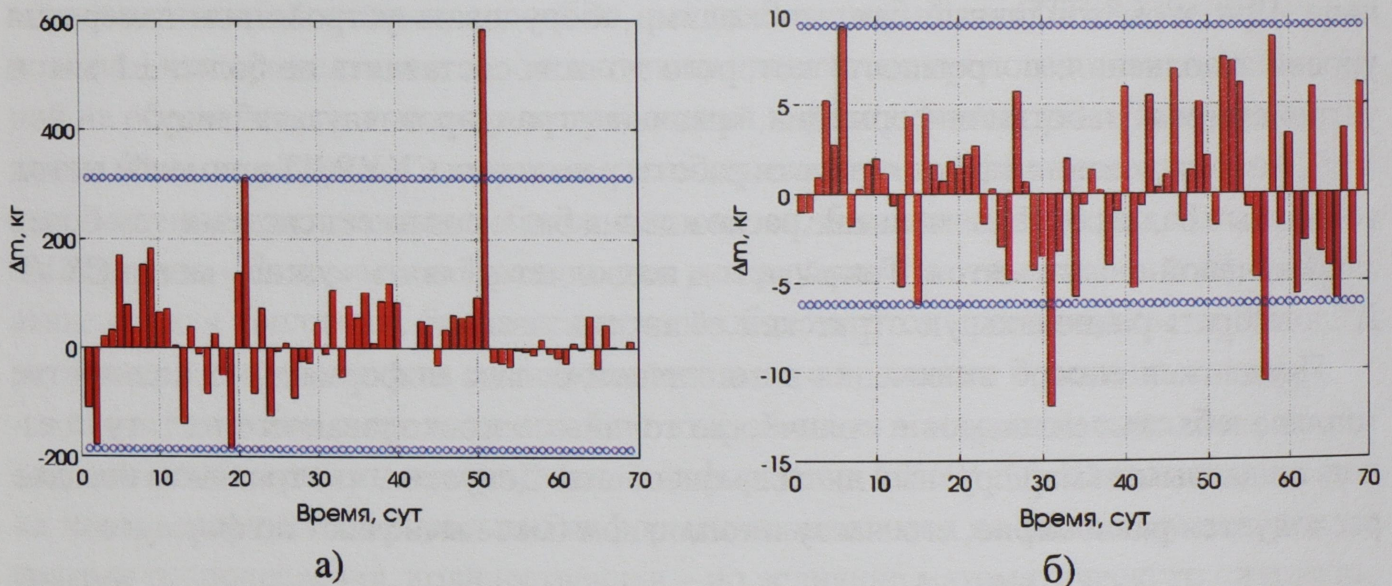
Аналогичным образом определяют количество топлива в баке в любой момент экипировки, опираясь на значения массы топлива в моменты начала и окончания

экипировки.

Установлено, что среднеквадратичное отклонение разности балансов для системы с ручными измерениями достигает: для пары склад – экипировка – $\sigma_{сэ} = 1165$ кг, для пары экипировка – тепловозы – $\sigma_{эм} = 251$ кг и для пары склад – тепловозы – $\sigma_{см} = 1159$ кг.

Автоматизация измерений в складских резервуарах и топливных баках тепловозов значительно повышает эффективность СКУР ДТ. Так, среднеквадратичное отклонение разности балансов для такой системы может достигать: для пары склад – экипировка – $\sigma_{сэ} = 47$ кг, для пары экипировка – тепловозы – $\sigma_{м} = 5$ кг, для пары склад – тепловозы – $\sigma_{см} = 47$ кг. Применение регистраторов, фиксирующих массу дизельного топлива в топливном баке тепловоза, не повышает точность составления балансов по сравнению с предложенным способом использования данных из маршрутных листов машиниста.

Важной задачей СКУР ДТ является выявление несанкционированного расхода топлива. Для этого по данным, например за предшествующий месяц, устанавливаются максимальные отклонения топливных балансов, которые на рисунке 2 показаны горизонтальными линиями. Отклонение, превосходящее установленные ранее пределы, сигнализирует о возможном несанкционированном расходе. Так, например, всплеск на 51-е сутки (см. рисунок 2, а) говорит о возможном несанкционированном отборе 600 кг топлива со склада.



а) склад – экипировка; б) экипировка – тепловозы.

Рисунок 2 – Диаграммы изменения разности балансов при несанкционированном расходе 600 кг дизельного топлива со склада

Доказано, что система с ручными измерениями при использовании метода топливных балансов может давать ложные сигналы, а может не реагировать на фак-

ты несанкционированного расхода. Минимальное количество отобранного топлива, которое можно выявить методом топливных балансов, зависит от способа и степени автоматизации СКУР ДТ. Для системы с ручными измерениями в складских резервуарах оно достигает 2,5 т, а при автоматизации измерений только в складских резервуарах его можно снизить до 250 кг. Несанкционированный расход топлива на тепловозе выявить методом топливных балансов невозможно даже при полной автоматизации измерений на топливных складах, пунктах экипировки и в баках тепловозов. Поэтому рекомендовано дополнительно измерять фактический расход топлива дизель-генератором, например, оборудовав прямую и обратную топливные магистрали тепловоза массовыми расходомерами.

Четвёртая глава посвящена исследованию достоверности оценки ТСТР для магистральных тепловозов и разработке наиболее эффективных способов оценки таких решений.

При проведении реостатных испытаний выполняют две серии измерений удельного расхода дизельного топлива для каждой позиции контроллера машиниста (ПКМ). Устанавливают

пределы области изменения удельного расхода топлива без ТСТР, соединяя линиями минимальные и максимальные значения (рисунок 3). В случае если точки, соответствующие измеренным значениям удельного расхода топлива с ТСТР, располагаются за пределами данной области, численную оценку эффективности исследуемого ТСТР выполняют для i -й ПКМ по формуле:

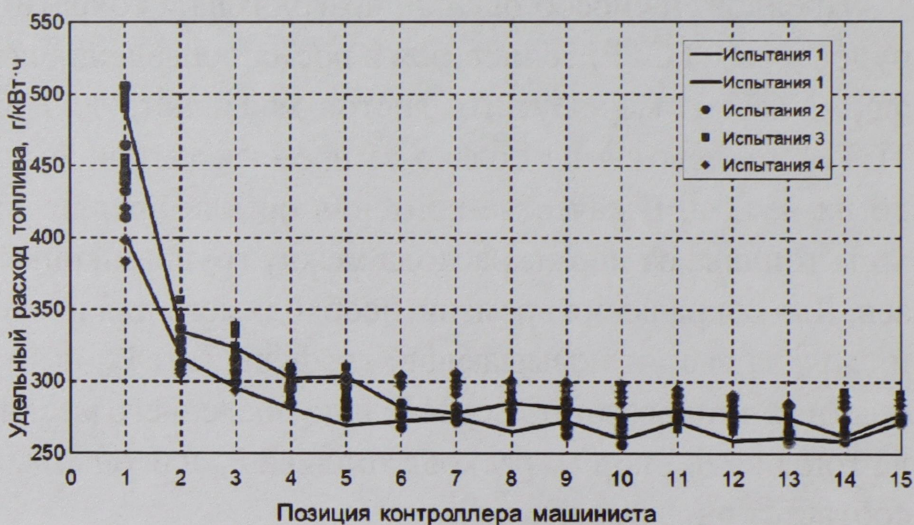


Рисунок 3 – График изменения удельного расхода топлива по позициям контроллера машиниста

$$E_i = \frac{b_i^{\text{ср бп}} - b_i^{\text{ср сп}}}{b_i^{\text{ср бп}}} 100\%, \quad (8)$$

где $b_i^{\text{ср бп}}$ – средний удельный расход топлива без ТСТР на i -й ПКМ, г/кВт·ч; $b_i^{\text{ср сп}}$ – средний удельный расход топлива с ТСТР на i -й ПКМ, г/кВт·ч.

Эффект, который может быть получен от внедрения ТСТР в эксплуатации, определяют как средневзвешенный

$$E_{\Pi} = \frac{\sum E_i B_i \alpha_i}{\sum B_i}, \quad (9)$$

где B_i – расход дизельного топлива на i -й ПКМ, г/с; α_i – среднестатистическая доля времени работы тепловоза на i -й ПКМ в эксплуатации.

Аналогичным образом проводят стендовые испытания. Данный способ оценки изложен в инструкции [31].

Предложена методика исследования достоверности оценки эффективности ТСТР по отчётным данным о поездках магистральных тепловозов. В соответствии с этой методикой имитируют работу ТСТР, изменяя на заданное значение расход топлива за поездку, зафиксированный в маршрутном листе машиниста. Способ оценки ТСТР признают достоверным, если он позволяет определить заданное изменение расхода топлива с приемлемой точностью.

Доказано, что применяемые в многолетней практике способы позволяют адекватно оценить эффективность ТСТР в том случае, если эти решения применяют не менее чем на 15 тепловозах, испытания которых продолжаются 12 и более месяцев.

Предложен способ оценки, позволяющий сократить количество опытных (оборудованных ТСТР) тепловозов и время проведения испытаний. Рассматривают информацию из маршрутных листов машиниста для опытных и контрольных (без ТСТР) тепловозов не только за время испытаний, но и за определённый период до их начала. В качестве критерия оценки предложена разность отклонений расхода топлива от нормы расхода между группами опытных и контрольных тепловозов. Для сокращения времени, необходимого для проведения испытаний, с момента их начала вводят повышающий коэффициент k_d , имитируя увеличение количества опытных тепловозов. С первого и до последнего месяца испытаний значения расхода топлива B_{Φ} , нормы расхода топлива B_n для опытных тепловозов рассчитывают в соответствии с выражением

$$B_{\Phi} = \sum_{i < N_0} B_{\Phi i} + k_d \sum_{i \geq N_0} B_{\Phi i}, \quad (10)$$

где $B_{\Phi i}$ – расход топлива опытными тепловозами в i -м месяце; N_0 – порядковый номер от начала наблюдений первого месяца испытаний; k_d – повышающий коэффициент ($k_d = \text{const}$).

Численно эффективность ТСТР определяют по разности значений критерия оценки к моменту начала испытаний и по их окончании.

Установлено, что максимальную достоверность оценки при минимально возможном времени испытания можно обеспечить при

$$k_{\text{д}} = k' \frac{\sum_{i < N_3} N_{\text{мр}i}}{N_{\text{мр}}(N_3)}, \quad (11)$$

где k' – коэффициент пропорциональности ($k' \geq 1$); $N_{\text{мр}i}$ – количество маршрутных листов машиниста в i -м месяце; $N_{\text{мр}}(N_3)$ – количество маршрутных листов машиниста в первом месяце испытаний.

Показано, что данный способ позволяет проводить достоверную оценку эффективности ТСТР на пяти опытных тепловозах, испытания которых длятся не менее четырёх месяцев, при этом погрешность оценки не превышает 1 %.

Предложенными способами проведена оценка эффективности некоторых топливосберегающих присадок к дизельному топливу, предложенных для использования на Белорусской железной дороге. Эксплуатационные испытания проводились на базе локомотивных депо Гомель, Брест, Лунинец и Волковыск. Установлено, что ни одна из исследованных присадок не оказывает влияния на топливную экономичность дизелей.

Пятая глава посвящена разработке и внедрению автоматизированной СКУР ДТ, построенной как двухуровневая информационно-измерительная система. Нижний уровень представляет собой совокупность устройств сбора информации о количестве топлива, устанавливаемых на складах топлива, пунктах экипировки и тепловозах. Верхний уровень системы, реализованный программно, обрабатывает информацию, поступающую от устройств нижнего уровня, и решает задачи контроля и учёта расхода дизельного топлива.

По результатам исследований, изложенных в третьей и четвёртой главах диссертации, предложен порядок разработки и внедрения автоматизированной СКУР ДТ. На первом этапе разрабатывают и внедряют в эксплуатацию верхний уровень системы с ручным вводом информации о результатах измерительных операций. Это позволяет отработать алгоритмы работы системы и при необходимости сформулировать новые задачи. На втором этапе автоматизируют измерительные операции. Порядок внедрения элементов СКУР ДТ, позволяющий повысить эффективность её работы даже при частичной автоматизации, следующий: складское хозяйство, тепловозы, пункты экипировки.

Программное обеспечение автоматизированной системы оценки эффективности применения ресурсосберегающих мероприятий на магистральных локомотивах (АСОЭ), являющееся составной частью верхнего уровня СКУР ДТ, разработано совместно со специалистами Конструкторско-технического центра (КТЦ) Белорусской железной дороги. С помощью АСОЭ выполнена обработка результатов эксплуатационных испытаний топливосберегающих присадок к дизельному топливу, предлагавшихся для внедрения на Белорусской железной дороге.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1 Разработана методика компьютерного анализа СКУР ДТ тепловозами, основанная на применении имитационной модели системы. Разработана имитационная модель СКУР ДТ, включающая хранение дизельного топлива на складе, выдачу его при экипировке тепловозов, работу магистральных тепловозов и расход ими топлива на тягу поездов, а также измерение массы топлива. Методика позволяет исследовать работу систем, построенных с применением различных технических средств и методов измерений. Имитационная модель СКУР ДТ реализует измерения массы дизельного топлива на объектах локомотивного депо и на тепловозах, как с нулевой погрешностью, так и выполняемые реальными устройствами с погрешностью, изменяющейся случайным образом [1, 2, 4, 8–10, 12, 15, 23, 25].

2 Исследованы пределы погрешности измерения массы дизельного топлива различными средствами и методами. Установлено, что применяемые в локомотивном хозяйстве средства и методы измерений не обеспечивают выполнение требований действующей нормативной документации. Так, погрешность измерения массы дизельного топлива превышает предельные значения, установленные СТБ 8030-2006 для топливных баков тепловозов, более чем в 50 раз, для пунктов экипировки – более чем в 3 раза, а для резервуаров баз топлива – на 12 % [5, 21, 23].

3 Исследована достоверность измерительной информации при различных степенях автоматизации СКУР ДТ. По результатам исследований рекомендованы прямой метод измерений на пунктах экипировки и косвенный метод статических измерений на топливных складах и тепловозах. Сформулированы требования к измерительным преобразователям по классам точности и способам обработки измерительной информации. Для складских резервуаров и топливных баков тепловозов рекомендовано применять систему измерения массы топлива с многократными измерениями и линейной интерполяцией градуировочных таблиц. При измерении расхода топлива на пунктах экипировки и тепловозах необходимо применять массовые расходомеры с классом точности не ниже 0,25. Статические измерения необходимо выполнять при помощи уровнемеров с основной погрешностью не более ± 2 мм для складских резервуаров и не более ± 1 мм для топливных баков тепловозов, а также стационарных плотномеров с основной погрешностью не более $\pm 1,5$ кг/м³ [5, 6, 18, 21, 23].

4 Разработана методика составления топливного баланса локомотивного депо, позволяющая без применения бортовых регистраторов или систем удалённого контроля принимать в расчет массу топлива, содержащегося на рассматриваемый момент времени в топливных баках тепловозов, вычисляя её по данным из маршрутных листов машиниста. Методом топливных балансов исследована эффективность

работы СКУР ДТ с ручными измерениями, а также с различной степенью автоматизации. По результатам исследований предложен порядок внедрения автоматизированной СКУР ДТ: склад, тепловозы, экипировка. Исследована возможность выявления методом топливных балансов несанкционированного расхода дизельного топлива. Установлено, что предложенный способ автоматизации СКУР ДТ позволяет снизить минимальное количество топлива, отобранного из складского резервуара, которое можно выявить методом топливных балансов, с 2,5 т до 250 кг. Несанкционированный отбор дизельного топлива на тепловозе выявить методом топливных балансов невозможно даже при полной автоматизации измерений на топливных складах, пунктах экипировки и в топливных баках тепловозов. Рекомендовано дополнительно измерять фактический расход топлива дизель-генератором, оборудовав, например, прямую и обратную топливные магистрали тепловоза массовыми расходомерами [6, 13, 21, 22, 28, 28].

5 Предложен способ оценки эффективности ТСТР для тепловозов по результатам стендовых или реостатных испытаний. В соответствии с предложенным способом при работе без исследуемого ТСТР и с ним для каждой позиции контроллера машиниста многократно измеряют удельный расход топлива, строят соответствующие графики зависимости удельного расхода топлива от позиции контроллера и сравнивают их взаимное расположение. Численную оценку эффективности ТСТР выполняют с учётом распределения времени работы тепловоза по позициям контроллера машиниста в условиях эксплуатации. Способ позволяет повысить достоверность оценки за счёт уменьшения влияния погрешности измерения и неравномерности работы дизель-генератора [7, 16, 31].

6 Разработана методика исследования достоверности оценки эффективности ТСТР для тепловозов по отчётным данным об их поездках. В соответствии с ней моделируют применение ТСТР для группы тепловозов путём изменения расхода топлива за поездку, зафиксированного в маршрутных листах машиниста, на заданную относительную величину и сравнивают её с величиной, определяемой в соответствии с исследуемым способом оценки эффективности ТСТР. Доказана низкая достоверность оценки ТСТР для магистральных тепловозов по отчётным данным об их поездках известными способами [7, 16].

7 Предложен способ оценки эффективности ТСТР по информации из маршрутных листов машиниста, позволяющий проводить достоверную оценку при сокращении по сравнению с известными способами минимально необходимого количества опытных тепловозов с 15 до 5 и времени проведения эксплуатационных испытаний с 12 до 4 месяцев, обеспечив погрешность оценки не превышающую 1 % [7, 17, 30].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1 Структура и требования к техническому обеспечению автоматизированной

СКУР ДТ, разработанные по результатам исследований, могут быть применены для условий любого локомотивного депо. Требования к контрольно-измерительной аппаратуре сформулированы с учётом действующей в Республике Беларусь нормативной документации и удовлетворяют аналогичным условиям, действующим в странах СНГ и Европы [3, 23].

2 Рекомендации по разработке программно-технического комплекса приняты к использованию по результатам заседаний рабочей группы по разработке и внедрению программно-технического комплекса «Единая автоматизированная система учёта дизельного топлива на Белорусской железной дороге» (акт от 09.02.2012 г. ГО «Белорусская железная дорога»).

3 Способ оценки эффективности ТСТР для тепловозов по результатам стендовых или реостатных испытаний изложен в «Инструкции по исследованию и оценке эффективности применения топливосберегающих присадок к дизельному топливу на тяговом подвижном составе Белорусской железной дороги» утвержденной приказом Начальника Белорусской железной дороги №314Н от 29 дек. 2004 г. (акт от 07.02.2012 г. ГО «Белорусская железная дорога») [31].

4 Способ оценки эффективности ТСТР по информации из маршрутных листов машиниста может применяться для исследования эффективности любых технических решений, связанных с изменением конструкции тепловозов и модификацией топлива. Совместно со специалистами ГБАС КТЦ Белорусской железной дороги разработано программное обеспечение, реализующее данный способ. Разработанное программное обеспечение может быть использовано также для оценки эффективности энергосберегающих технических решений для электрической тяги [7, 30].

5 Разработанные способы оценки эффективности ТСТР и программное обеспечение использованы для исследования эффективности некоторых присадок к дизельному топливу, предлагавшихся для применения на тепловозах Белорусской железной дороги (акт от 07.02.2012 г. ГО «Белорусская железная дорога»).

6 Результаты исследований использованы при подготовке лекций для слушателей Института повышения квалификации и переподготовки руководителей и специалистов транспортного комплекса Республики Беларусь по программе «Организация работы топливно-складского и экипировочного хозяйства», а также в учебном процессе кафедры «Микропроцессорная техника и информационно-управляющие системы» электротехнического факультета УО «БелГУТ» (справки о внедрении от 19.04.2012 г. и 25.04.2012 г. УО «БелГУТ»).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Френкель, С. Я. Снижение расхода дизельного топлива на тягу поездов / С. Я. Френкель, Ю. Г. Самодум, Б. С. Френкель // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2002. – № 1 (4). – С. 32–34.
2. Френкель, Б. С. Моделирование измерительно-учётных операций в топливном хозяйстве локомотивного депо / Б. С. Френкель // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2007. – № 1-2 (14-15). – С. 133–136.
3. Френкель, Б. С. Порядок разработки и внедрения единой автоматизированной системы учёта дизельного топлива / Б. С. Френкель // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2009. – № 2 (19). – С. 47–50.
4. Френкель, Б. С. Математическая модель движения дизельного топлива / Б. С. Френкель // Энергоэффективность. – 2010. – № 5 (151). – С. 21–23.
5. Френкель, Б. С. Оценка точности измерений в системах учёта дизельного топлива / Б. С. Френкель // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2011. – № 2 (23). – С. 104–107.
6. Гизатуллин, Р. К. Исследование достоверности измерительной информации в системах учёта дизельного топлива / Р. К. Гизатуллин, Б. С. Френкель // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2011. – № 2 (23). – С. 99–103.
7. Френкель, С. Я. Оценка эффективности топливосберегающих технических решений для тепловозов / С. Я. Френкель, Б. С. Френкель // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2012. – № 1 (24). – С. 15–18.

Статьи в сборниках научных трудов

8. Френкель, Б. С. Математическая модель движения дизельного топлива в локомотивном депо / Б. С. Френкель // Совершенствование конструкции локомотивов и системы их обслуживания : межвуз. сб. науч. тр./ С.-Петербург. гос. ун-т путей сообщения ; под ред. А. В. Грищенко. – СПб., 2004. – С. 64–72.
9. Френкель, Б. С. Моделирование работы топливного хозяйства локомотивного депо в среде LabVIEW / Б. С. Френкель // Современные информационные компьютерные технологии : сб. науч. ст. В 2 ч. Ч. 2 / Гродн. гос. ун-т им. Я. Купалы ; редкол.: Е. А. Ровба, А. М. Кадан (отв. редактор) [и др.]. – Гродно, 2008. – С. 267–270.

Материалы конференций

10. Френкель, Б. С. Математическое моделирование топливного хозяйства локомотивного депо / Б. С. Френкель // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса : тр. Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2001. – С. 117-118.
11. Френкель, С. Я. Анализ системы учёта топлива в локомотивном депо / С. Я. Френкель, Б. С. Френкель, Е. И. Каганович // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса : тр. Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2001. – С. 119-120.
12. Френкель, Б. С. Моделирование движения дизельного топлива в локомотивном депо / Б. С. Френкель // Наука – образованию, производству, экономике : материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. нац. техн. ун-т ; под ред. Б. М. Хрусталёва, В. Л. Соломахо. – Т. 1. – Мн., 2003. – С. 274–278.
13. Френкель, Б. С. Оценка эффективности систем измерения и учёта дизельного топлива в локомотивных депо / Б. С. Френкель // Подвижной состав железнодорожного транспорта : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2004. – С. 137–140.
14. Френкель, Б. С. Регистратор пространственно-временных характеристик движения поезда для тепловозной тяги / Б. С. Френкель, В. В. Калатало // Подвижной состав железнодорожного транспорта : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2004. – С. 147–149.
15. Френкель, Б. С. Генерирование случайных чисел в имитационной модели работы магистрального тепловоза / Б. С. Френкель // Проблемы безопасности на транспорте : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2005. – С. 91–92.
16. Френкель, С. Я. Оценка эффективности применения топливосберегающих технических решений при эксплуатации магистральных тепловозов / С. Я. Френкель, Б. С. Френкель, М. В. Андрейчиков // Проблемы безопасности на транспорте : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2005. – С. 94–95.

17. Френкель, С. Я. Оценка эффективности топливосберегающих технических решений по информации из маршрутных листов машиниста для пассажирских тепловозов / С. Я. Френкель, Б. С. Френкель, А. В. Ожигин // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2007. – С. 102–103.
18. Френкель, Б. С. Исследование достоверности информации о количестве дизельного топлива на объектах локомотивного хозяйства, получаемой путём измерений / Б. С. Френкель // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2007. – С. 236–237.
19. Френкель, Б. С. Особенности автоматизации измерительных и учётных операций в топливном хозяйстве локомотивного депо / Б. С. Френкель // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2008. – С. 236–237.
20. Френкель, Б. С. Пути модернизации системы измерения и учёта дизельного топлива / Б. С. Френкель // Проблемы безопасности на транспорте : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2010. – С. 150–151.
21. Френкель, Б. С. Эффективность применения систем учёта дизельного топлива с различной степенью автоматизации / Б. С. Френкель // Энергоэффективность и экологическая безопасность на транспорте, в промышленности и в строительстве : матер. Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. А. Б. Невзоровой. – Гомель, 2011. – С. 85–87.
22. Френкель, Б. С. Применение метода топливных балансов в системах учёта дизельного топлива / Б. С. Френкель // Энергоэффективность и экологическая безопасность на транспорте, в промышленности и в строительстве : матер. междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. А. Б. Невзоровой. – Гомель, 2011. – С. 88–90.
23. Френкель, С. Я. Автоматизация контроля и учёта расхода дизельного топлива в локомотивных депо / С. Я. Френкель, Б. С. Френкель // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов : матер. междунар.

науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. техноло- гич. ун-т. ; под ред. И. М. Жарского – Мн., 2012. – С. 113–117.

Тезисы докладов на конференциях

24. Френкель, Б. С. Автоматизация учёта дизельного топлива в локомотивном депо / Б. С. Френкель // Проблемы безопасности на транспорте : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. Я. Негрея. – Гомель, 2000. – С. 146–147.
25. Френкель, С. Я. Математическая модель расхода топлива магистральными тепловозами / С. Я. Френкель, Б. С. Френкель // Проблемы безопасности на транспорте : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2002. – С. 100–101.
26. Френкель, С. Я. Совершенствование системы учёта и нормирования расхода дизельного топлива в локомотивном депо / С. Я. Френкель, Б. С. Френкель, А. П. Хорошун // Проблемы безопасности на транспорте : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2002. – С. 101–102.
27. Френкель, Б. С. Специфика создания автоматизированной системы измерения и учёта дизельного топлива для локомотивного депо Гомель / Б. С. Френкель, П. А. Бабученко // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Ч. I / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; Под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2003. – С. 58–59.
28. Френкель, Б. С. Применение метода топливных балансов для оценки систем измерения и учёта дизельного топлива в локомотивном депо / Б. С. Френкель // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Ч. I / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; Под ред. В. И. Сенько. – Гомель, 2003. – С. 59–60.
29. Френкель, Б. С. О выборе средств и методов измерения количества топлива в локомотивном депо / Б. С. Френкель // Новое в конструкции и технологии обслуживания локомотивов : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. ун-т путей сообщения ; под ред. А. В. Грищенко. – СПб., 2003. – С. 31–32.
30. Френкель, С. Я. Оценка эффективности топливосберегающих технических решений при эксплуатации магистральных тепловозов / С. Я. Френкель, Б. С.

Френкель, В. А. Ходанович // Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под ред. В. М. Овчинникова. – Гомель, 2006. – С. 172–175.

Работы, подтверждающие практическую значимость результатов

31. Инструкция по исследованию и оценке эффективности применения топливосберегающих присадок к дизельному топливу на тяговом подвижном составе Белорусской железной дороги : утв. приказом Начальника Белорусской железной дороги № 314Н от 29 дек. 2004 г.; разработ. С. Я. Френкель, М. В. Андрейчиков, Б. С. Френкель, С. А. Ахрамович, Е. М. Малашевич – Мн. : Фонд службы локомотивного хоз-ва, 2004. – 14 с.

РЭЗЬЮМЭ

Фрэнкель Барыс Сямёнавіч

Павышэнне эфектыўнасці сістэмы кантролю і ўліку расходу дызельнага паліва цеплавозамі

Ключавыя словы: расход дызельнага паліва, база паліва, улік, кантроль, цеплавоз, вымярэнне, хібнасць вымярэнняў, дакладнасць, эфектыўнасць, аўтаматызацыя.

Мэта дысертацыі – павышэнне эфектыўнасці сістэмы кантролю і ўліку расходу дызельнага паліва цеплавозамі шляхам удасканалення спосабаў кантролю і ўліку расходу паліва, а таксама павышэння дакладнасці ацэнкі палівазберагаючых тэхнічных рашэнняў для цеплавозаў.

Метады даследавання. Навуковыя палажэнні, высновы і рэкамендацыі грунтуюцца на ўжыванні метадаў імітацыйнага мадэліравання, тэорыі верагоднасці і матэматычнай статыстыкі, метадалогіі ацэнкі хібнасці вымярэнняў, дадзеных з зацверджаных формаў справаздачнасці аб працы баз паліва і цеплавозаў ДА «Беларуская чыгунка».

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Прапанавана метадыка камп'ютэрнага аналізу сістэмы кантролю і ўліку расходу дызельнага паліва цеплавозамі, якая грунтуецца на ўжыванні яе імітацыйнай мадэлі. Даследавана эфектыўнасць работы сістэмы кантролю і ўліку расходу дызельнага паліва з рознымі сродкамі і метадамі вымярэнняў, а таксама іх аўтаматызацыяй. Распрацавана метадыка састаўлення паліўнага балансу лакаматыўнага дэпо з улікам інфармацыі аб колькасці паліва ў баках цеплавозаў на названы момант часу. Распрацаваны спосабы ацэнкі эфектыўнасці палівазберагаючых тэхнічных рашэнняў для цеплавозаў па выніках стендавых, рэастатных і эксплуатацыйных выпрабаванняў, якія дазваляюць істотна павысіць дакладнасць ацэнкі і скараціць мінімальна неабходную колькасць вопытных цеплавозаў і час правядзення эксплуатацыйных выпрабаванняў.

Ступень выкарыстання і рэкамендацыі. Сфармуляваныя па выніках даследаванняў рэкамендацыі па распрацоўцы і ўкараненню «Адзінай аўтаматызаванай сістэмы ўліку дызельнага паліва» прынятыя да выкарыстання на Беларускай чыгунцы. Прапанаваныя спосабы ацэнкі эфектыўнасці палівазберагаючых тэхнічных рашэнняў выкарыстаны для даследавання некаторых прысадак да дызельнага паліва.

Вобласць ужывання. Вынікі даследаванняў могуць быць ужыты пры мадэрнізацыі інфраструктуры паліўнай гаспадаркі лакаматыўных дэпо як на Беларускай чыгунцы, так і на чыгунках краін блізкага замежжа.

РЕЗЮМЕ

Френкель Борис Семёнович

Повышение эффективности системы контроля и учёта расхода дизельного топлива тепловозами

Ключевые слова: расход дизельного топлива, база топлива, учёт, контроль, тепловоз, измерение, погрешность измерений, достоверность, эффективность, автоматизация.

Цель диссертации – повышение эффективности системы контроля и учёта расхода дизельного топлива тепловозами путём совершенствования способов контроля и учёта расхода топлива, а также повышения достоверности оценки топливосберегающих технических решений для тепловозов.

Методы исследований. Научные положения, выводы и рекомендации базируются на применении методов имитационного моделирования, математической статистики, методологии оценки погрешности измерений, данных из утверждённых форм отчётности о работе баз топлива и тепловозов ГО «Белорусская железная дорога».

Полученные результаты и их новизна. Предложена методика компьютерного анализа системы контроля и учёта расхода дизельного топлива тепловозами, основанная на применении её имитационной модели. Исследована эффективность работы системы контроля и учёта расхода дизельного топлива с различными средствами и методами измерений. Разработана методика составления топливного баланса локомотивного депо с учётом информации о количестве топлива в баках тепловозов на рассматриваемый момент времени. Разработаны способы оценки эффективности топливосберегающих технических решений для тепловозов по результатам стендовых, реостатных и эксплуатационных испытаний, позволяющие существенно повысить достоверность оценки и сократить минимально необходимое количество опытных тепловозов и время проведения эксплуатационных испытаний.

Степень использования и рекомендации. Сформулированные по результатам исследований рекомендации по разработке и внедрению «Единой автоматизированной системы учёта дизельного топлива» приняты к использованию Белорусской железной дорогой. Предложенные способы оценки эффективности топливосберегающих технических решений использованы для исследования влияния на топливную экономичность тепловозов некоторых присадок к дизельному топливу.

Область применения. Результаты исследований могут быть применены при модернизации инфраструктуры топливного хозяйства локомотивных депо как на Белорусской железной дороге, так и на железных дорогах стран ближнего зарубежья.

SUMMARY

Frenkel Barys Siamionavich

Improving the efficiency of the checking and accounting system of diesel fuel consumption of diesel locomotives

Key words: consumption of diesel fuel, fuel warehouse, accounting, checking, diesel locomotive, measurement, measurement error, reliability, efficiency, automation.

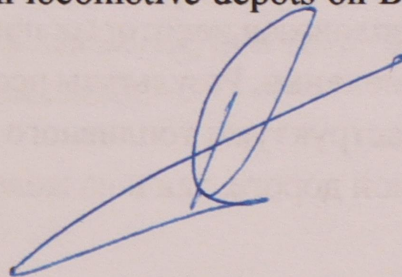
The aim of the thesis is to increase the checking and accounting system efficiency of diesel fuel consumption by fuel checking and accounting system improving, as well as improvement of the reliability of fuel-efficient technical solutions estimates for diesel locomotives.

Methods of research. Scientific positions, conclusions and recommendations are based on the application of simulation techniques, mathematical statistics, estimation methodology of measurement error, the data from the approved reporting forms of the work of fuel bases and diesel locomotives at Belarusian railway.

The received results and newness. The methods of computer analysis system for checking and accounting of the fuel consumption based on the use of its simulation model are worked out. The effectiveness of the checking and accounting system of diesel fuel with various means and methods of measurement are investigated. The technique of making the fuel balance of the locomotive depot with information about the amount of fuel in the tanks of diesel locomotives on the reported time is offered. One provides the method of effectiveness estimation of fuel-efficient technical solutions for locomotives on the results of stand, rheostat operational tests to improve significantly the accuracy of estimates and to reduce to the minimum the number of pilot diesel locomotives and time of the operational testing.

Degree of utilization and recommendations. Recommendations for the development and implementation of «United automated system of diesel fuel accounting» formulated on the results of research were admitted at the Belarusian Railways. The proposed methods evaluating the effectiveness of fuel-efficient technical solutions were used to examine the effect on the fuel efficiency diesel locomotives of some additives to diesel fuel, they are proposed for introduction on Belarusian Railways locomotives.

Field of application. The research results can be used in the infrastructure of locomotive fuel management modernization in locomotive depots on Belarusian railways and the railways of other CIS-countries.



Научное издание

ФРЕНКЕЛЬ Борис Семёнович

**Повышение эффективности системы контроля и учёта
расхода дизельного топлива тепловозами**

05.22.07 – Подвижной состав
железных дорог, тяга поездов и электрификация

Автореферат диссертации на соискание
учёной степени кандидата технических наук

Подписано в печать « 10 » января 2013 г. Формат 60 × 84 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура таймс. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 1,63. Тираж 100 экз.

Заказ №131.

Издатель и полиграфическое исполнение

Белорусский государственный университет транспорта:

ЛИ №02330/0552508 от 09.07.2009 г.

ЛП №02330/0494150 от 03.04.2009 г.

246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.