

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

На правах рукописи

Богаевский Александр Борисович

УДК 629.424.3:621.313.12

**Развитие методов моделирования технических средств
энергосбережения систем управления для тепловозных
дизель – генераторов**

05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов

Диссертация на соискание ученой степени доктора
технических наук

Научный консультант
Тартаковский Эдуард Давидович,
доктор технических наук, профессор

Харьков – 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
РАЗДЕЛ 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЬ – ГЕНЕРАТОРОВ..	15
1.1. Анализ характеристик и режимов эксплуатационной работы тепловозного дизель - генератора, существующих методов определения показателей энергосбережения и показателей совершенствования систем обеспечения энергосбережения.....	15
1.2. Особенности конструкции существующих систем управления режимами тепловозных дизель – генераторов.....	27
1.3. Современные энергосберегающие направления развития и совершенствования тепловозных дизелей и технических средств систем управления режимами.....	30
1.4. Прогрессивные технические средства систем управления режимами для тепловозных дизельных двигателе.....	36
1.4.1. Примеры цифровых регуляторов для различных железнодорожных применений	52
1.4.2. Особенности реализации требований к совершенствованию систем управления режимами тепловозных дизельных установок...	57
Выводы по разделу 1.....	61
РАЗДЕЛ 2 РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДСТВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЬ – ГЕНЕРАТОРОВ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ.....	64
2.1. Установление общности функциональных структур возможных конструктивных решений совершенствования систем управления режимами работы тепловозного дизель – генератора.....	64

2.2. Критерий минимизации эксплуатационного расхода топлива в установившихся режимах.....	69
2.3. Выбор и модификация методов анализа рабочих процессов в тепловозных дизелях для определения параметров обеспечения энергосбережения в установившихся режимах.....	72
2.4. Анализ рабочих процессов в тепловозном дизель–генераторе 588ДА на основе модифицированного метода и определения параметров энергосбережения в установившихся режимах.....	77
2.5. Определение параметров ограничения и оценка точности разработанного метода моделирования экономичной работы в установившихся режимах.....	113
2.6. Анализ рабочих процессов дизельного двигателя 4Д80Б на основе модифицированного классического метода и исследование параметров обеспечения установившихся режимов	125
2.6.1. Особенности применения при анализе справочных данных турбины и компрессора.....	125
2.6.2. Итеративный подход к определению средних установившихся значений рабочих процессов.....	129
Выводы по разделу 2.....	146
РАЗДЕЛ 3 РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДСТВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЬ – ГЕНЕРАТОРОВ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ.....	148
3.1. Применение существующих математических моделей исследования установившихся и переходных процессов для определения параметров обеспечения энергосбережения тепловозных дизель–генераторов в переходных режимах.....	149
3.2. Разработка компьютерной модели мощного тепловозного дизель - генератора с электронной системой управления.....	165
3.2.1. Идентификация структуры и параметров элементов системы	

автоматического управления.....	167
3.2.1.1. Дизель-генератор как объект управления.....	168
3.2.1.2. Электромагнитное исполнительное устройство – актуатор...	174
3.2.1.3. Гидравлический усилитель.....	181
3.2.1.4. Электронный блок и определение параметров ПИД – регулятора.....	185
3.2.2. Компьютерные модели дизель - генератора с непрерывным и цифровым ПИД–регулятором.....	189
3.2.3. Результаты компьютерного моделирования дизель–генераторной установки.....	193
3.2.4. Определение рабочей области транспортного дизеля и оценка нелинейности коэффициента избытка воздуха в ней.....	197
3.2.5. Исследование динамических режимов разгона дизель–генератора с помощью компьютерной модели.....	207
Выводы по разделу 3	216
РАЗДЕЛ 4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЬ – ГЕНЕРАТОРА.....	217
4.1. Теоретическая оценка повышения энергосбережения тепловозными дизель–генераторами за счет внедрения разработанных методов.....	217
4.2. Средства программно–алгоритмического обеспечения технических средств энергосбережения систем управления тепловозными дизель–генератором.....	222
4.3. Функции технических средств систем управления, определяемые средствами программного обеспечения.....	228
4.4. Состав технических средств энергосбережения систем управления тепловозных дизель – генераторов	233
4.5. Экспериментальные исследования электронного регулятора в	

составе тепловозного дизель – генератора.....	237
Выводы по разделу 4	252
РАЗДЕЛ 5 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ.....	254
5.1. Определение алгоритма управления изменением угла опережения впрыска топлива в мощных дизелях	254
5.2. Принципы функциональной организации технических средств энергосбережения систем управления тепловозных дизельных установок.....	261
Выводы по разделу 5	265
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	266
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	270
Приложение А Характеристики турбокомпрессора ТК30Н-17Ж.....	284
Приложение Б Материалы по итогам эксплуатационных испытаний и внедрению результатов исследований диссертационной работы.....	287

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Вопросы улучшения энергосбережения тепловозных силовых установок в условиях стремительного роста цен на дизельное топливо в Украине и других странах рассматриваются как одни из первостепенных.

Мощными средне-оборотными дизель - генераторами мощностью от 600 кВт и выше оснащенные в настоящее время тысячи магистральных, маневровых и промышленных тепловозов. В общих чертах известно, что каждая мощная дизель - генераторная установка локомотива потребляет за год несколько сот тонн энергоносителей, то есть весь парк потребляет миллионы тонн дизельного топлива за год.

Современные мощные тепловозные дизель-генераторы (ТДГ) эксплуатируются в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов и представляют собой комплексную комбинированную структуру, в состав которой входят несколько разнородных подсистем, которые постоянно взаимодействуют между собой в процессе работы. Самыми главными в них являются подсистемы топливоподачи, подачи воздуха и охлаждения. При создании такой комбинированной установки индивидуальные характеристики этих подсистем удается согласовать лишь на одном режиме, чаще всего на номинальном. Если режим функционирования ТДГ отличен от номинального, то согласованность подсистем существенно нарушается, что приводит к ухудшению экономических показателей. Обеспечить согласованность всех характеристик подсистем мощной энергетической установки тепловоза на разных режимах работы возможно лишь при применении перспективных энергосберегающих систем управления. При этом, проблема обеспечения оптимальных режимов работы должна решаться с помощью наиболее простых и эффективных средств влияния на текущие процессы в ТДГ.

В настоящее время одной из главных причин медленного внедрения современных энергосберегающих систем управления режимами ТДГ является несовершенство (практическая неразвитость) компьютерно ориентированных методов моделирования, что не позволяет в определенной мере определять оценки и параметры обеспечения повышения энергосбережения. Создание таких методов представляет собой сложную научно – техническую проблему, решение которой (даже частичное) позволит существенно улучшить состояние с энергосбережением, как на стадии исследований, организации испытаний, так и в условиях рядовой эксплуатации современных систем управления режимами функционирования ТДГ. Изложенное определяет актуальность темы исследований данной диссертационной работы.

Связь с научными программами, планами, темами. Работа выполнялась в соответствии:

- с комплексной программой обновления железнодорожного подвижного состава Украины на 2008 – 2020 годы;
- с программами внедрения наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий с короткими сроками окупаемости 2006 – 2007 лет;
- с госбюджетной научно – исследовательской работой «Научное обоснование новой электронно – управляющей системы регулирования дизель – генераторов дизель – поездов и тепловозов» (государственная регистрация № 0198U005212);
- с хоздоговорными научно – исследовательскими и опытно – конструкторскими работами с Укрзалізницею, Южной железной дорогой, тепловозо – ремонтными заводами в Полтаве, Днепропетровске, Изюме, холдинговой компанией «Лугансктепловоз», ГП «Завод им. Малышева» в период с 1994 по 2010 годы.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является развитие методов моделирования технических средств энергосбережения систем управления для ТДГ.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать влияние существующих технических средств систем управления режимами ТДГ на показатели энергосбережения и определить при этом характерные режимы работы энергетических установок, совершенствование которых позволит повысить их топливную экономичность;

- исследовать существующие теоретические методы, по которым осуществляется оценка показателей энергосбережения ТДГ в современных условиях эксплуатации на предмет определения их положительных и отрицательных особенностей;

- с целью последующей универсализации теоретических подходов к методам моделирования установить общность функциональных структур конструктивных решений совершенствования систем управления режимами работы ТДГ;

- сформулировать критерий оптимальности топливной экономичности выходя из условий работы дизель - генератора на установившихся режимах;

- разработать теоретические методы для определения регламентирующих параметров, которые позволят обеспечить энергосберегающую работу ТДГ как в установившихся, так и переходных режимах;

- теоретически оценить и практически реализовать систему управления режимами и в процессе эксплуатации на тепловозе подтвердить эффективность исследований диссертационной работы;

- на основании анализа конструктивных решений перспективных систем управления режимами ТДГ, которые непосредственно влияют на исходные параметры (частота, мощность, затрата топлива) сформулировать технико-экономические и организационные показатели, которым должен отвечать процесс совершенствования этих систем в условиях эксплуатации.

Объект исследования – процессы управления режимами ТДГ в установившихся и переходных режимах работы и технические средства обеспечения повышения их энергосбережения.

Предмет исследования – режимы работы ТДГ и пути их совершенствования на основании развития методов моделирования и современных технических средств их обеспечения.

Методы исследования. В теоретической части диссертационной работы использовались методы теории оптимального управления, теории автоматического управления, математический аппарат анализа рабочих процессов транспортных дизелей, методы компьютерного моделирования. В экспериментальной части использовались методы натурных испытаний.

Научная новизна полученных результатов.

Впервые:

- сформулирован критерий топливной эффективности, на основании которого в отличие от известных критериев определяются параметры управления установившимися режимами ТДГ, обеспечивающие минимизацию расходов топлива в пределах рабочей зоны режимов ТДГ;

- создана адекватная математическая структурная модель с системой управления установившимися и переходными режимами в которой в отличие от существующих моделей введены дополнительно модели электрического механизма подачи топлива, модели нагрузки ТДГ в режимах холостого хода и рабочих режимов, а также использован интерполятор функциональных зависимостей от частоты вращения и положения реек топливных насосов. Такая модель предоставляет возможность исследовать в переходных режимах поведение нелинейных параметров, в том числе и тех, что являются расчетными, во всей рабочей зоне режимов ТДГ, а не только в окрестности отдельной точки, с учетом инерционных характеристик агрегатов ТДГ;

- разработаны методы определения параметров обеспечения энергосбережения в переходных режимах разгона дизеля тепловоза, как по уже известным математическим моделям, так и с помощью предложенной

новой модели. Полученные на основании разработанных методов параметры настройки систем управления позволяют улучшить энергосбережение в переходных режимах (до 17 %);

- полученные в относительной форме численные оценки повышения энергосбережения в отличие от существующих аналогичных оценок позволяют еще на стадии проектирования и внедрения энергосберегающих систем определить ожидаемый результат энергосбережения в эксплуатации. Полученные численные оценки дали возможность утверждать, что внедрение перспективных систем управления даст возможность улучшить энергосбережение до 5 %.

Получил последующее развитие:

- классический метод анализа процессов в дизелях на основании сеточных моделей. Модифицированный метод в отличие от классического метода на основании использования процедур многофакторных вычислений позволяет определить параметры экономической работы тепловозного дизеля в установившихся режимах во всем рабочем диапазоне. Модифицированный метод с достаточной для инженерных исследований точностью позволяет получать массивы переменных величин с целью использования их для исследований на созданной компьютерной модели. Использование разработанного метода значительно сокращает расходы топлива на экспериментальное получение необходимых массивов данных. На основании общности функциональных структур различных конструктивных решений систем управления режимами ТДГ обоснована и показана универсальность применения разработанного метода.

Доработано:

- существующие системы управления режимами ТДГ и перспективные пути их совершенствования путем введения новых электрических (аналоговых или дискретных) исполнительных механизмов подачи топлива и гибкого использования полученных процедур, которые обеспечивают энергосбережение в процессе рядовой эксплуатации;

- технико-экономические и организационные показатели, в соответствии с которыми необходимо осуществлять совершенствование в условиях эксплуатации.

Практическое значение полученных результатов. В диссертационной работе сформулирована и расширена группа показателей, в соответствии с которыми необходимо осуществлять совершенствование управления режимами в условиях эксплуатации. Эти показатели использовались при выполнении НИОКР по созданию гаммы отечественных электронных регуляторов типа СУДМ-01 (система управления дизелем микропроцессорная).

Показана универсальность разработанных методов исследования для дальнейшего совершенствования средств управления режимами ТДГ, которая основывается на общности функциональных структур современных и перспективных средств обеспечения режимов. Созданные методы теоретического определения законов управления подачей топлива в установившихся и переходных режимах стали основой для существенного сокращения дорогих натурных экспериментов и новой базой для алгоритмического и программного обеспечения электронных регуляторов.

Электронные регуляторы СУДМ-01 прошли полный цикл эксплуатационных и приемных испытаний. Утверждены и зарегистрированы в Госстандарте технические условия ТУ В 33.1-24490245-001-2003 на электронные регуляторы, подготовлено их серийное производство.

На данное время электронные регуляторы эксплуатируются на более чем 70 тепловозах Южной и Приднепровской железных дорог, а также в составе дизель - генераторов 588ДА дизеля поезда ДЭЛ-01 производство ХК «Лугансктепловоз».

Контрольные измерения по расходу топлива на магистральном тепловозе 2ТЭ116 с электронным регулятором СУДМ-01 показали снижение затраты на 5%, что складывается в год на одну секцию тепловоза около 20 тонн

дизельного топлива в год, что подтверждено материалами внедрения, которые прилагаются к диссертационной работе:

– акт внедрения на государственном предприятии «Завод им. Малышева»;

– акт внедрения на казенном предприятии «Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению»;

– акт внедрения на государственном предприятии СТГО «Южная железная дорога»;

– акт внедрения на государственном предприятии ОАО «Днепропетровский тепловозоремонтный завод».

Личный вклад претендента. Все полученные результаты, которые выносятся на защиту, полученные автором самостоятельно и в основном выложенные в работах, опубликованных без соавторов. В совместных работах претендент:

- предложил модель электрического исполнительного органа (актуатора) как элемента системы обеспечения подачи топлива [16];

- предложил алгоритм способа определения частоты вращения для системы обеспечения частоты вращения транспортного дизеля [17];

- выложил основные преимущества применения современных подходов к обеспечению подачи топлива в мощных транспортных силовых установках [18];

- обобщил результаты испытаний электронного регулятора на отечественном тепловозном дизель – генераторе, что подтвердили его преимущества [20];

- обобщил результаты ходовых испытаний микропроцессорной системы управления дизель – поездом [21];

- предложил подход к модификации классического метода анализа процессов в мощных тепловозных двигателях [22];

- разработал метод определения законов управления в постоянных режимах [23];

- определил закон оптимальной нагрузки для тепловозного дизель – генератора [24];
- обобщил результаты расширенных испытаний тепловозного дизеля, что проводятся в соответствии с заводской методикой [25];
- показал преимущества электронных систем при обеспечении переходных режимов тепловозов [19];
- сформулировал идею и формулу изобретения [27];
- в стандарте разработал технические требования к внедряемым системам обеспечения режимов тепловозов, а также разработал методики их испытания во время производства [28];
- в пособии привел пример использования алгоритмических и аппаратных средств для создания транспортной системы обеспечения режимов [29].

Все публикации удовлетворяют требованиям ВАК Украины.

Апробация результатов диссертации. Диссертационная работа в полном объеме обсуждалась на заседании ученого совета Института машин и систем НАН Украины и Минпромполитики Украины, на заседании научно – технического совета ГП «Завод им. Малышева», на заседании кафедры автомобильной электроники Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, на расширенном заседании кафедры «Эксплуатация и ремонт подвижного состава» (ЭРПС) Украинской государственной академии железнодорожного транспорта и получила позитивную оценку. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований диссертационной работы докладывались на: XI научно – технической конференции с международным участием «Транспорт, экология – устойчивое развитие» (Болгария, Варна, 2005); XV международной научно – технической конференции «Проблемы развития рельсового транспорта» (Украина, Крым, 2005); 69–й международной научно – технической конференции «Подвижной состав и безопасность движения на транспорте» (Украина, Харьков, 2007); 3-й международной научно-технической конференции «Информационная

техника и электромеханика» (Украина, Луганськ, 2005); VI Всероссийская научно – техническая конференция «Политранспортные системы» (Новосибирск, 2009); 4-й международной научно – технической конференции «Перспективы развития автомобиле- и тракторостроения» (Украина, Харьков, 2005); международной научно-технической конференции «Проблемы мехатроники в дальнейшем развитии транспортных средств и систем» (Украина, Харьков, 2001); VIII, X, XI международных научно-технических конференциях «Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы» (Украина, Севастополь, 2005, 2007, 2008); X международной научно-технической конференции «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (Украина, Харьков, 2002); международных научно-технических конференциях «Проблемы автоматизированного электропривода» (Украина, Алушта, 1997, 1998, 1999, 2000, 2005); X международной научно-технической конференции «Автоматика и управление в технических системах» (Украина, Харьков, 2005); международной научно - практической конференции «Проблемы надежности машин и средств механизации сельскохозяйственного производства» (Украина, Харьков, 2008); научно-технических конференциях профессорско - преподавательского состава ХНАДУ (1997-2008).

Публикации. Результаты диссертации представлены в 29 научных работах, опубликованных в специализированных изданиях перечня ВАК Украины и специализированных изданиях зарубежных стран.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, выводов, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 295 страниц, в том числе 86 рисунков на 63 страницах, 46 таблиц на 34 страницах. Список использованных источников – 125 наименований на 14 страницах и приложения на 12 страницах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.

1. Володин А.И. Экономия топлива на тепловозах / А.И. Володин, Г.А. Фофанов – М.: Трансжелдориздат, 1963. – 103 с.
2. Володин А.И. Топливная экономичность силовых установок тепловозов / А.И. Володин, Г.А. Фофанов – М.: Транспорт, 1979. – 126 с.
3. Хомич А.З. Экономия топлива и теплотехническая модернизация тепловозов / А.З. Хомич, О.И. Тупицын, А.Э. Симпсон – М.: Транспорт 1975. – 264 с.
4. Кудряш А.П. Резервы повышения экономичности тепловозов 2ТЭ10Л / А.П. Кудряш, Е.Г. Заславский, Э.Д. Тартаковский – М.: Транспорт, 1975. – 64 с.
5. Косов Е.Е. Совершенствование режимов работы силовых энергетических систем тепловозов / Е.Е. Косов, Е.М. Шапран, В.В. Фурман // Издание ВНУ им. В.Даля. - Луганск: ВНУ, 2006. – 278 с.
6. Костромин А.М. Оптимизация управления локомотивом / А.М. Костромин – М.: Транспорт, 1979. – 119 с.
7. Косов Е.Е. Повышение эксплуатационных качеств тепловозных дизелей с высоким наддувом / Е.Е. Косов, А.В. Новиков, И.Л. Поварков //Электрическая и тепловозная тяга. - 1976. - № 8. – с. 42 – 43.
8. Долгих И.Д. Корректирование топливоподачи и нагрузки на давление наддува тепловозного дизель-генератора / И.Д. Долгих // Двигателестроение. – 1984. - №5. – с. 32-36.
9. Грунауэр А.А. Выбор ограничительной характеристики по давлению наддува для транспортных дизелей / А.А. Грунауэр, И.Д. Долгих, С.И. Тараканов // Двигатели внутреннего сгорания. Харьков. – 1981. - вып. 38. – с. 34-37.
10. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.

11. Богаевский А.Б. Анализ требований к управлению топливоподачей транспортных дизельных установок / А.Б. Богаевский // Вісник СНУ ім. В.Даля, Луганськ. – 2005. - №6(88). – с. 214 – 218.
12. Фомин Ю.Я. Топливная аппаратура дизелей / Ю.Я. Фомин, Г.В. Никонов, В.Г. Ивановский // Справочник. – М.: Машиностроение, 1982. – 169 с.
13. Трусов В.И. Топливные системы и экономичность дизелей / В.И. Трусов, И.В. Астахов, Л.Н. Голубков - М.: Машиностроение, 1990. – 287 с.
14. Аврунин А.Г. Регуляторы скорости дизель – генераторов / А.Г. Аврунин, Г.М. Гугель, Е.Г. Заславский – М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.
15. Грунауер О.А. Розрахунок і проектування систем регулювання ДВЗ / О.А. Грунауер, І.Д. Долгіх // Використання мікропроцесорів. – Харків: ХДПУ, 1991. – 80 с.
16. Zimmerman K.D. Einspritzunsrustung fur umweltfreundliche Dieselmotoren // Vorabson derdruck aus VDI – Berichte, 1985, №559. – p.17.
17. M. Glöckner Digital Control of Diesel Engines / M. Glöckner, I. Bach – Verlag moderne industrie, 2003. – 70 p.
18. EDR / Electronische Dieselregelung vor Daimler-Berz // Krafthand. – 1986. – №17. – p. 1250-1255.
19. Frankle G. Elektromische Dieselregelung EDR fur Nutzfahrzeug motoren / Frankle G., Kramer K. // Automobile-Industrie. – 1986. - №5. – p. 653-659.
20. Bittinger P. Electronic control of diesel fuel injection / Bittinger P. // I-Mech E. – 1985. - №237. – p. 77-87.
21. Maynard A. A new electronically controlled injection pump for diesels / Maynard A. // SAE Technical Paper. – 1985. - №850169. – p. 13.
22. Системы автоматического регулирования частоты вращения (САРЧ) судовых, тепловозных и промышленных дизелей. Общие технические требования (ГОСТ 10511-83) – М.: Госстандарт, 1983. – 15 с.
23. Государственная программа развития железнодорожного транспорта Украины (вагоны, тепловозы и электровозы, городской электротранспорт) – Киев: 1992 г.

24. Зайцев В.О. Аналіз використання паливно-енергетичних ресурсів та роботи по енергозбереженню на залізничному транспорті України за 2005 рік / В.О. Зайцев, І.В. Малишко, Є.І. Дудка – Київ: Держ. адміністрація залізничного транспорту України, 2006. – 69 с.
25. Косов Е.Е. Исследование соответствия некоторых характеристик дизелей с высоким наддувом требованиям тепловозной тяги / Е.Е. Косов, И.Л. Поварков // Вестник ВНИИЖТ. - 1975. - №3. – с. 23 – 28.
26. I. I. D'azzo Feedback control system analysis and synthesis / I. I. D'azzo, С.Н. Houpis – McGrawHill, 1984. – 824 p.
27. Интернет ресурс www.heinzmann.de.
28. Интернет ресурс www.woodward.com.
29. Интернет ресурс www.dyna.com.
30. Тополев Л. Система "Управляющее топливо" /Л. Тополев // Коммерческие автомобили. - Киев: УА Автоцентр. – 2003. - №11. – с. 30 – 31.
31. Топливная система следующего поколения // В кн. «Анализ технического уровня ДВС». – М.: Информцентр – НИИД. – 1998. - № 25. – с. 3-17.
32. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468с.
33. Богаевский А.Б. Повышение топливной эффективности мощной транспортной дизельной установки за счет применения микроконтроллерного регулятора частоты вращения и мощности / А.Б. Богаевский // Сборник докладов, XI н.-т. конф. «Транспорт, экология – устойчивое развитие», ЕкоВарна. – 2005. - с.459-463.
34. Симсон А.Э. Оптимизация систем воздухообеспечения дизелей по среднеэксплуатационному расходу топлива / А.Э. Симсон, В.Д. Сахаревич // Двигателестроение. - 1985. - №3. - с.3-5.

35. Симпсон А.Э. Двигатели внутреннего сгорания (тепловозные дизели и газотурбинные установки) / А.Э. Симпсон, А.З. Хомич, А.А. Куриц и др. – М.: Транспорт, 1980. – 384 с.
36. Александров Е.Е. Развитие систем автоматического регулирования транспортных дизелей / Е.Е. Александров, Т.Е. Александрова // Автомобильный транспорт. – Харьков: РИО ХНАДУ. - 2005. - №16. – с.333-337.
37. Богаевский А.Б. Особенности управления топливоподачей транспортных дизельных установок в условиях эксплуатации / А.Б. Богаевский // Вестник КГТУ. Транспорт. - Красноярск: ИПЦ КГТУ. – 2005. - № 39. - с.158-164.
38. Богаевский А.Б. Совершенствование управления топливоподачей транспортных дизельных установок / А.Б. Богаевский // Вестник НТУ «ХПИ». - Харьков: НТУ «ХПИ». - 2005. - №54. – с. 83 – 87.
39. Марков В.А. Характеристики топливоподачи транспортных дизелей / В.А. Марков, В.Г. Кислов, В.А. Хватов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 160 с.
40. Долгих И.Д. Разработка систем автоматического непрерывно-дискретного регулирования транспортных дизелей: : автореф. дисс. на соискание уч. степени. докт. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / И.Д. Долгих. – Харьков: ХИИТ, 1993. – 48 с.
41. Алексеев О.П. Мехатроника. Основные понятия / О.П. Алексеев, В.О. Алексеев, Ю.М. Суярко и др.// Вестник ХГАДТУ. – Харьков: РИО ХГАДТУ. - 2000. № 12,13. – с. 196-198.
42. Орлин А.С. Теория рабочих процессов поршневых и комбинированных двигателей / А.С. Орлин, Д.Н. Вырубов, В.И. Ивин и др.– М.: Машиностроение, 1971. – 400 с.
43. Портнов Д.А. Быстроходные турбопоршневые двигатели с воспламенением от сжатия / Д.А. Портнов - М.:Машгиз, 1963. - 640 с.

44. Методика расчетного исследования рабочего процесса двухтактного трехцилиндрового и шестицилиндрового (с отдельным выхлопом) двигателей с противоположно-движущимися поршнями на ЭЦВМ // Науч.-тех. отчет ХКБД. - 1973. - №1617. – 31 с.
45. Рязанцев Н.К. Согласование характеристик двухтактного транспортного дизеля и компрессора системы наддува по обеспечению устойчивой работы компрессора / Н.К. Рязанцев, Ю.А. Анимов // Вісник інж. Академії. - 2002. - №1. - с.43–50.
46. Кринецкий И.И. Основы научных исследований: Учеб. Пособие для ВУЗов / И.И. Кринецкий – Киев – Одесса: В. школа, 1981. – 208 с.
47. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн – М.: Наука, 1973. – 831 с.
48. Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы / Б.И. Швецкий – К.: Техніка, 1991. – 191с.
49. Мацевитый Ю.М. Моделирование нелинейных процессов в распределенных системах / Ю.М. Мацевитый, В.Е. Прокофьев – Киев: Наукова думка, 1985. – 304 с.
50. Мацевитый Ю.М. Решение обратных задач теплопроводности на электрических моделях / Ю.М. Мацевитый, В.Е. Прокофьев, В.С. Широков – Киев: Наукова думка, 1980. – 132 с.
51. Бойков Б.П. Турбокомпрессоры для наддува дизелей / Б.П. Бойков, В.Г. Бордунов, П.В. Иванов, Р.С. Дейч – Л.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
52. Методика определения показателей работы агрегатов наддува по параметрам, замеренным при испытаниях на дизеле. // ПО «Завод им. Малышева», Харьков, 1990. – 11 с.
53. Петриченко Р.М. Рабочие процессы поршневых машин. Двигатели внутреннего сгорания и компрессоры / Р.М. Петриченко, В.В. Оносовский – Л.: Машиностроение, 1972. – 167 с.
54. Симпсон А.Э. Газотурбинный наддув дизелей / А.Э. Симпсон – М.: Машиностроение, 1965. - 218с.

55. Симпсон А.Э. Турбонаддув высокооборотных двигателей / А.Э. Симпсон, В.Н. Каминский, Ю.Б. Моргулис и др.– М.: Машиностроение, 1976. – 288 с.
56. Виббе И.И. Новое о рабочем цикле двигателя / И.И. Виббе – Свердловск: Машгиз, 1962. – 272 с.
57. Брозе Д.Д. Сгорание в поршневых двигателях / Д.Д. Брозе – М.: Машиностроение, 1969. – 248 с.
58. Гончар Б.М. Численное моделирование рабочего процесса дизеля / Б.М. Гончар // Энергомашиностроение. – 1968. - №7. - с. 34 – 35.
59. Крушедольский А.Г. Повышение топливной экономичности четырехтактного среднеоборотного дизеля путем совершенствования системы газотурбинного наддува: : дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / А.Г. Крушедольский. – Харьков, ХИИТ, 1979. – 195 с.
60. Коваленко Н.М. Снижение удельного эффективного расхода топлива путем оптимизации конструктивных параметров среднеоборотного дизеля 6ЧН25/34 при его форсировании: :дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / Н.М. Коваленко. – Харьков, ХИИТ, 1983. – 187 с.
61. Линник А.В. Повышение эксплуатационной топливной экономичности транспортных дизелей путем автоматического регулирования числа работающих цилиндров: дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / А.В. Линник. – Харьков, ХИИТ, 1983. – 194 с.
62. Симсон А.Э. Выбор конструктивных параметров транспортных ДВС по среднеэксплуатационному расходу топлива / А.Э. Симсон, С.А. Ерощенко // Двигателестроение. – 1989. - №1. – с. 55 – 58.
63. Сергиенко Н.И. Выбор и научное обоснование технико-экономических показателей тепловозных дизелей для локомотивного парка Украины: : дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.07.

«Подвижной состав железных дорог и тяга поездов» / Н.И. Сергиенко.
– Харьков, ХарГАЖТ, 2000. – 194 с.

64. Петросянц В.А. Повышение топливной экономичности быстроходных дизелей с наддувом путем выбора рациональных конструктивных параметров турбин: : дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / В.А. Петросянц. – Харьков, ХИИТ, 1983. – 215 с.
65. Крутов В.И. Анализ работы систем автоматического регулирования / В.И. Крутов – М.: Машгиз, 1961.- 180 с.
66. Крутов В.И. Переходные процессы систем автоматического регулирования / В.И. Крутов - М.: Машиностроение, 1965. - 252 с.
67. Крутов В.И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект / В.И. Крутов – М.: Машиностроение, 1978. – 472 с.
68. Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания / В.И. Крутов – М.: Машиностроение, 1979, 4-е изд. – 614с.
69. Айзерман М.А. Теория автоматического регулирования двигателей (уравнения движения и устойчивость) / М.А. Айзерман – М.: ГИИТЛ, 1952. – 523 с.
70. Кац А.М. Автоматическое регулирование скорости двигателей внутреннего сгорания / А.М. Кац // под ред. Ю.В. Долголенко и А.И. Лурье. – М.: ГИИТЛ, 1956. – 304 с.
71. Моделювання перехідних процесів тепловозного дизеля в експлуатаційному циклі з метою встановлення шляхів зниження витрат палива. // Н.-тех. звіт. № 0199U003102. – Харків, ХарДАЗТ, 2001. – 96 с.
72. Рогачов О.І. Оптимальне керування у прикладах та задачах / О.І. Рогачов – Київ: Міносвіти України, ІСДО, 1995. – 272 с.
73. Литвинович М.Р. Система квазиоптимального управління переходним процесом енергетической установки тепловоза путем отдельного регулирования ее частоты вращения и мощности: автореф. дисс. на соискание уч. степени. канд. техн. наук: спец. 05.13.05 «Элементы и

устр. выч. техники и сист. управл»; 05.13.07 «Автом. управл. и регул., управл. технолог. процессами» / М.Р. Литвинович. – Харьков, ХПИ, 1983. – 22 с.

74. Тимановская Л.Е. и др. Моделирование переходных процессов двигателя со свободным турбокомпрессором / Л.Е. Тимановская // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: ХПИ. – 1974. - №21. – с. 53 – 57.
75. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе и др.– М.: Физматгиз, 1981. – 391 с.
76. Косов Е.Е. Влияние технических характеристик тепловозов на эффективность работы железнодорожной линии / Е.Е. Косов, В.А. Копыленко // Тр. НИИТ. – Москва: Транспорт. – 1982. – № 715. – с. 116 – 127.
77. Володин А.И. Моделирование на ЭВМ работы тепловозных дизелей / А.И. Володин – М.: Транспорт, 1985. - 216 с.
78. Куценко С.М. Управление и переходной процесс в теплоэлектромеханической системе тепловоза / С.М. Куценко, Т.В. Гулякина – Харьков: Вища школа, 1982. – 88 с.
79. Круглов М.Г. Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания / М.Г. Круглов, А.А. Меднов – М.: Машиностроение, 1988. – 350 с.
80. Белостоцкий А.М. К расчету переходных процессов четырехтактных двигателей внутреннего сгорания / А.М. Белостоцкий // Тр. МИИТ. - М.: Транспорт. – 1966. - № 251. – с. 222-232.
81. Дьяченко В.Г. Дифференциальные уравнения процессов газообмена двигателей внутреннего сгорания / В.Г. Дьяченко // Двиг. внутреннего сгорания, Харьков. – 1970. - №11. - с.17-24.
82. Егоров Я.А. Система уравнений для описания нестационарных газодинамических явлений во впускном и выпускном трубопроводах

- двигателя / Я.А. Егоров // Известия вузов. Машиностроение. - 1974. - №8. – с. 104 – 108.
83. Єрощенко С.А. Аналіз розподілу індикаторної роботи та витрата палива у тепловозному дизелі Д50 при його розгоні / С.А. Єрощенко, О.Г. Круshedольський, Н.А. Шаройко // Міжвуз. зб. наук. пр., Харків, ХарДАЗТ. - 1998. - № 32. – с. 55-62.
84. Иванова В.В. О методе расчета колебаний газа в выпускной системе двигателя / В.В. Иванова // Сб. "Газотурбинный наддув двиг. внутр. сгорания". – М.: Машгиз, 1961. – с. 131-143.
85. Круглов М.Г. Термодинамика и газодинамика двухтактных двигателей внутреннего сгорания / М.Г. Круглов – М.: Машгиз, 1963. – 345 с.
86. Круshedольський О.Г. Дослідження роботи тепловозного дизеля на змінних експлуатаційних режимах навантаження / О.Г. Круshedольський // Міжвуз. зб. наук. пр., Харків, ХарДАЗТ. - 1998.- №32. – с. 36 – 41.
87. Лукьянченко Б.С. Расчет совместной работы 4-х-тактного дизеля со свободным турбокомпрессором на режимах разгона / Б.С. Лукьянченко // Тр. ЦНИДИ, Ленинград. - 1963.- №47. – с. 27 – 41.
88. Лукьянченко Б.С. Метод расчета на ЭЦВМ разгона дизелей с газотурбинным наддувом / Б.С. Лукьянченко // Двигателестроение, Ленинград. - 1987. - №11. – с. 13-15.
89. Мурашов О.Д. Методика расчета переходных процессов тепловозного двигателя с импульсной системой турбонаддува / О.Д. Мурашов // Тр. ХИИТа - М.: Транспорт. - 1969. - № 115. – с. 21-28.
90. Мунштуков Д.А. Математическая модель нестационарного движения среды в проточной части двигателя внутреннего сгорания / Д.А. Мунштуков // Двиг. внутр. сгорания, Харьков. - 1975. - №21. – с. 67-73.
91. Симсон А.Э. Исследование импульсных систем газотурбинного наддува / А.Э. Симсон // Двиг. внутр. сгорания, Харьков. - 1972. - №15. – с.94-98.

92. Циннер К. Наддув двигателей внутреннего сгорания / К. Циннер // Перевод с немецкого, под ред. Н.Н. Иванченко – Л.: Машиностроение, 1978. – 263 с.
93. Эпштейн А.С. Расчет переходных процессов комбинированных двигателей типа Д100 / А.С. Эпштейн // Сб. "Проблемы развития комбинированных двиг. внутр. сгорания". – М.: Машиностроение, 1968. – с. 37-48.
94. Эпштейн А.С. Расчет переходных процессов четырехтактных турбопоршневых двигателей с импульсным наддувом / А.С. Эпштейн, О.Д. Мурашов // Двиг. внутр. сгорания, Харьков. - 1969. - № 9. – с. 56-65.
95. Якубов А.Д. Впускной тракт как колебательная система при резонансном наддуве тракторного дизеля / А.Д. Якубов // Двиг. внутр. сгорания, Харьков. - 1973. - №17. – с. 53-61.
96. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – 768 с.
97. Бесекерский В.А. Системы автоматического управления с микроЭВМ / В.А. Бесекерский, В.В. Изранцов – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1987. – 320 с.
98. Дьяконов В.П. MATLAB 5.3.1 с пакетами расширений. Под ред. проф. Дьяконова В.П. / В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова, В.В. Круглов – М.: Нолидж, 2001. – 880 с.
99. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ. Справочник / В.П. Дьяконов – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1989. – 240 с.
100. Зайцев Г.Ф. Основы автоматического управления и регулирования / Г.Ф. Зайцев, В.И. Костюк, П.И. Чинаев – К.: Техника, 1975. – 496 с.
101. Клепиков В.Б. Корневой метод синтеза ПИ - регулятора тока и скорости одномассовой системы подчиненного регулирования с нагрузкой типа линейного вязкого трения / В.Б. Клепиков, А.В. Осичев, Д.С.

- Абдильмалек // Проблемы автоматизированного электропривода. – Харьков, Основа, 1997. – с. 299–302.
102. Осичев А.В. Стандартные распределения корней в задачах синтеза в электроприводе / А.В. Осичев, В.О. Котляров, В.С. Марков // Проблемы автоматизированного электропривода. – Харьков, Основа, 1997. – с. 104 – 110.
103. Петров В.А. Автоматические системы транспортных машин / В.А. Петров – М.: Машиностроение, 1974. – 336 с.
104. Струнге Б.Н. Регулирование частоты вращения и мощности дизель-генераторов тепловозов / Б.Н. Струнге, П.М. Канило, И.М. Невелев – М.: Транспорт, 1976. – 112 с.
105. Тартаковський Е.Д. Оптимізація перехідних процесів тепловозних дизелів з застосуванням електронних керуючих систем / Е.Д. Тартаковський, В.О. Матяш, О.Б. Богаєвський, Д.О. Аулін // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ. - 2007. – № 86. – с. 177-181.
106. Басов А.В. Определение допустимых значений параметров объекта регулирования электронного регулятора СУДМ-01 тепловозных дизель-генераторов с электрогидравлическим исполнительным механизмом типа ТЭ / А.В. Басов, С.Г. Буряковский, С.А. Алехин, А.О. Казаковский // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. - № 45. – с. 373 – 375.
107. Богаевский А.Б. Компьютерная модель мощного транспортного дизель-генератора с электронной системой управления / А.Б. Богаевский // Открытые информационные и компьютерные интегральные технологии. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2008. – № 38. – с. 150 – 169.
108. Хомич А.З. Топливная эффективность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей / А.З. Хомич – М.: Транспорт, 1987. – 271 с.
109. Чиркин А.П. Работа тепловозных дизелей на малых нагрузках / А.П. Чиркин, А.Н. Гуревич, А.Э. Симпсон, А.П. Кудряш – М.: Транспорт, 1966. – 116 с.

110. Агулов А.Ф. Испытания дизеля 1Д80Б с электронным регулятором типа СУДМ – 01 / А.Ф. Агулов, А.В. Басов, А.Б. Богаевский и др. // Межвуз. сб. науч. трудов «Совершенствование конструкции локомотивов и системы их обслуживания», Санкт-Петербург, 2004. – с.49-56.
111. ТУ У33.2–24490245–001–2003. Системы управления дизелями микропроцессорные. Технические условия./ Богаевский А.Б., Дубровский В.З., Басов А.В. Введены с 01.09.2004. (нормативный документ).
112. Богаевский А.Б. Информационные технологии при измерении частоты вращения / А.Б. Богаевский, А.В. Басов, С.Г. Буряковский, А.Ф. Калинин // Вестник ХГПУ. – Харьков. – 1999. - № 61. – 272 с.
113. Деклараційний патент України на винахід № 62057 А 7F02D29/06. Система автоматичного регулювання паливоподачі дизель – генераторної установки транспортних засобів /Богаєвський А.Б. , Дубровський В.З., Басов А.В., Синельникова Л.Б; заявник і володар патенту ХНАДУ, Україна; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12 . – 5 с.
114. Богаевский А.Б. Определение области рабочих статических режимов мощной транспортной дизель-генераторной установки / А.Б. Богаевский // Вісник СНУ ім. В.Даля. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля. – 2005. - №8(90) ч.1. – с.184 – 188.
115. Рязанцев Н.К. Улучшение технико-экономических показателей дизель-агрегата дизель-поезда на основе микропроцессорной системы управления / Н.К. Рязанцев, А.Б. Богаевский, А.В. Басов, Л.Б. Синельникова // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ "ХПИ". - 2002. - №1. – с.55-58.
116. Богаевский А.Б. Испытания электронно-управляющей системы тепловозного дизель-генератора на моторном стенде / А.Б. Богаевский, А.Ф. Агулов, А.В. Басов и др. // Межвуз. сб. науч. праць "Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту". – Харків: ХарДАЗТ. - 2001. - №46. – с. 84-88.

117. Богаевский А.Б. Микропроцессорная система управления частотой вращения и мощностью дизель - генераторной установки / А.Б. Богаевский, А.В. Басов, О.П. Смирнов // Вестник ХГАДТУ. – Харьков: ХНАДУ. – 2001. – № 15-16. – с.153–157.
118. Богаевский А.Б. Определение параметров управления мощной транспортной дизель-генераторной установкой в переходных режимах / А.Б. Богаевский // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2005. – № 45. – с.291-293.
119. Буряковский С.Г. Применение электромагнитных исполнительных двигателей пропорционального типа в системах автоматического регулирования транспортных дизелей / С.Г. Буряковский, А.Б. Богаевский, А.В. Басов // Проблемы автоматиз. электропривода. Теория и практика. – Харьков: Основа, 1997. - с.259 – 261.
120. Богаевский А.Б. Повышение топливной экономичности и надежности мощных транспортных силовых установок при модернизации их систем управления топливоподачей / А.Б. Богаевский // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка. – 2008. – № 69. – с.347 – 352.
121. Богаевский А.Б. Принципы функциональной организации электронных регуляторов для транспортных дизельных установок / А.Б. Богаевский // Вісник СНУ ім. В.Даля. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля. - 2007. – №6(112). – с.86 – 89.
122. Богаевский А.Б. Определение алгоритма управления изменением угла опережения впрыска топлива в мощных транспортных дизелях / А.Б. Богаевский // Вісник СНУ ім. В.Даля. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля. – 2008. – №7(125) ч.2. – с.190 – 193.
123. Шокотов Н.К. Основы термодинамической оптимизации транспортных дизелей / Н.К. Шокотов – Харьков: Вища шк., 1980. – 119 с.

124. Цифровые регуляторы частоты вращения HEINZMANN. Базовая система управления Helenos II. Manual DG 95 100-e/ 01-97. – 61 с. - Интернет ресурс www.heinzmann.de.
125. Новым идеям и технологиям – зеленый свет / В.Н. Остапчук (интервью) // «Время», газета, из – во ЗАО «Время». – Харьков, 28.10.2009. – № 197 (16386) – с. 1-2 .

